

Exoskelettale Unterstützung in der Pflege –
Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens und der
Akzeptanz von Exoskeletten beim passiven Transfer Sitz-Stand.
Eine Mixed-Methods-Studie.



Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Humanwissenschaften
(Dr. sc. hum.)

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Hanna Brandt
aus
Regensburg

im Jahr
2024

Exoskelettale Unterstützung in der Pflege –
Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens und der
Akzeptanz von Exoskeletten beim passiven Transfer Sitz-Stand.
Eine Mixed-Methods-Studie.



Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Humanwissenschaften
(Dr. sc. hum.)

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Hanna Brandt
aus
Regensburg

im Jahr
2024

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

Betreuerin: Prof.'in Dr.'in phil. Andrea Pfingsten

Tag der mündlichen Prüfung: 14.10.2024

Abstract

Zielsetzung: Die übergeordnete Fragestellung der Mixed-Methods-Studie ist der Einfluss von Exoskeletten in der Pflege auf die physische Belastung und Akzeptanz von Pflegekräften. Zusätzlich werden Aspekte identifiziert, die für eine erfolgreiche Implementierung dieser Technologie in der Praxis entscheidend sind. Die Beantwortung der übergeordneten Fragestellung erfolgt zum einen über die quantitative Studie, welche die physischen Auswirkungen der Verwendung eines passiven rückenunterstützenden Exoskeletts während eines simulierten Patient*innen-Transfers mit nach vorne gebeugter und rotierter Rumpfhaltung auf die Muskelaktivität, die Körperhaltung und das subjektive Anstrengungsempfinden untersucht. Des Weiteren wird im Rahmen eines sogenannten „embedded-Designs“ eine qualitative Studie durchgeführt, deren Ziel es ist, das Wissen um die Implementierung von Exoskeletten zu erweitern. Im Rahmen der Studie werden die spezifischen Benutzer*innen-Anforderungen sowie akzeptanzbezogene und physische Aspekte für Pflegende untersucht.

Hintergrund: Es besteht Forschungsbedarf hinsichtlich des Potenzials von Exoskeletten zur Reduktion muskuloskelettaler Belastungen in typischen Arbeitsszenarien sowie bezüglich der Akzeptanz und Implementierung im Pflegebereich.

Methode: Dreiunddreißig gesunde Pflegekräfte (22 Frauen; 11 Männer) führten dreimal hintereinander einen Rollstuhl-Bett-Transfer mit einem 45 kg schweren Dummy mit Exoskelett (Exo), ohne Exoskelett (Control) und mit Exoskelett ohne Unterstützung (Exo-Off) durch. Das getragene passive Exoskelett stützte den unteren Rücken während der Rumpfbeugung. Die Muskelaktivität der Muskeln Erector spinae (ES), Quadratus lumborum (QL) und Iliocostalis (IC) wurde mittels Oberflächen-Elektromyographie aufgezeichnet und auf die elektrische Spitzenaktivität während der Ausführung der Aufgabe (maximale Muskelaktivität unter der Aufgabe) normiert. Die Rumpfhaltung und die Hüftgelenkwinkel wurden mit Hilfe von Inertialen-Messsensoren (IMU) erhoben, und die Borg CR-10-Skala diente zur Bewertung der wahrgenommenen körperlichen Anstrengung. Für die statistischen Analysen wurde eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen durchgeführt. Anschließend erfolgten leitfadengestützte Interviews und die Auswertung der Interview-Transkripte mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) und Schritten der thematischen Analyse nach Braun und Clarke (2006).

Ergebnisse: Statistisch signifikante Unterschiede in der wahrgenommenen Anstrengung traten zwischen den Bedingungen Control ($\bar{x}=7,03$) vs. Exo ($\bar{x}=4,85$) (1 vs. 2; $\bar{x}=2.18$, $SD=.33$, $\eta^2p=.46$, $p<.05$), und Exo ($\bar{x}=4.85$) vs. Exo-Off ($\bar{x}=6.36$) (2 vs. 3; $\bar{x}=1.52$, $SD=0.28$, $\eta^2p=.46$, $p<.05$). Die Ergebnisse der maximalen Hüftflexion zeigten signifikante Unterschiede zwischen

den Versuchen Control vs. Exo (1 vs. 2; rechts: $\bar{x}=+7.19$, $F=15.21$, $\eta^2p=.32$, $p<.001$; links: $\bar{x}=+9.38$, $F=20.81$, $\eta^2p=.44$, $p<.001$), und Exo vs. Exo-Off (2 vs. 3; rechts: $\bar{x}=-7.07$, $F=15.21$, $\eta^2p=.32$, $p<.001$; links: $\bar{x}=-7.50$, $F=20.81$, $\eta^2p=.44$, $p<.001$). Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen hinsichtlich der Muskelaktivität von ES, QL und IC festgestellt werden.

Die Ergebnisse der qualitativen Studie deuten darauf hin, dass es der langfristige Tragekomfort eines Exoskeletts und die Kompatibilität des Exoskeletts mit den spezifischen Aufgaben in der Pflege eine wichtige Rolle spielen, ebenso wie die Hygiene und ein körperbetontes Exoskelett eine bedeutende Rolle spielen. Gleichzeitig ist den weiteren Aspekten der Rahmenbedingungen der Pflegeeinrichtung sowie den prozessbezogenen Faktoren innerhalb der Organisation und der Implementierung eines Exoskeletts hohe Aufmerksamkeit zu schenken, die die Akzeptanz und den (körperlichen) Nutzen von Exoskeletten fördern können.

Die Ergebnisse zur übergeordneten Fragestellung der Mixed-Methods-Studie zeigen auf, dass sich das subjektive Belastungsempfinden sich auch in den Interviews wiederfindet, in denen die Pflegekräfte die körperliche Entlastung und Haltungsunterstützung positiv hervorheben und ein Gefühl der Unterstützung, Stabilität und Sicherheit sowie ein reduziertes Gefühl der körperlichen Belastung und Erschöpfung beschreiben.

Schlussfolgerung: Der Einsatz des passiven rückenunterstützenden Exoskeletts bei Pflegekräften während des simulierten Transfers reduzierte nicht die Muskelaktivität der unteren Rückenmuskulatur. Die Ergebnisse des subjektiven Belastungsempfindens und der maximalen Hüftbeugung waren signifikant. Es ist wichtig, diese verschiedenen Aspekte in ihrer Gesamtheit zu betrachten und weitere Untersuchungen durchzuführen. Die Auswirkungen des Tragens eines Exoskeletts auf die muskuloskelettale Gesundheit, die Aspekte der Implementierung und die Akzeptanz durch die Pflegekräfte müssen weiter geklärt werden, um die verschiedenen Belastungsdimensionen und Arbeitsszenarien beim Einsatz von Exoskeletten zu verstehen und zu optimieren.

Anwendung: Die mit dem passiv rückenunterstützenden Exoskelett beobachteten Veränderungen machen deutlich, dass weitere Forschung notwendig ist, bevor Empfehlungen für den Einsatz von Exoskeletten in der Praxis gegeben werden können. Konkret könnte die zukünftige Forschung verschiedene Arbeitsszenarien mit unterschiedlichen Pflegekräften und Langzeitanwendungen untersuchen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	7
1 Einleitung	8
2 Theoretischer Hintergrund.....	11
2.1 Arbeitsbelastung von Pflegefachkräften	11
2.2 Heben und Tragen von Lasten und die Belastung des unteren Rückens.....	12
2.3 Exoskelette	14
2.4 Muskuläre Aktivität messen über Elektromyographie	16
2.5 Bewegungserfassung über Motion-Capture-Verfahren.....	19
2.6 Subjektives Belastungsempfinden über die CR-10 Skala	23
2.7 Nutzen und Akzeptanz von Technologien	24
3 Mixed-Methods Forschungsdesign.....	30
3.1 Studiendesign	30
3.2 Erkenntnisinteresse und Forschungsfragen	32
3.3 Proband*innen, Ethik und Datenschutz	34
4 Vorversuche zur Validität von markerloser und sensorbasierter Bewegungserfassung ..	36
4.1 Material und Methode.....	36
4.2 Ergebnisse	39
4.3 Diskussion.....	44
5 Evaluation der Muskelaktivität des unteren Rückens, der Hüftgelenksflexion und des subjektiven Belastungsempfindens	47
5.1 Experimentelles Vorgehen, Datenerhebung und -auswertung.....	47
5.1.1 Messungen	50
5.1.2 Statistische Analyse	53
5.2 Ergebnisse	53
5.2.1 Primäre Endpunkte – Erector spinae, Quadratus lumborum und Iliocostalis....	54
5.2.2 Sekundärer Endpunkt: Veränderung des Hüftflexionswinkels.....	55

5.2.3	Sekundärer Endpunkt – Subjektives Belastungsempfinden.....	57
5.3	Diskussion der Ergebnisse	58
5.3.1	Studienlimitationen.....	62
5.4	Konklusion	62
6	Subjektive Einschätzung zum Nutzen und Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege...63	
6.1	Aufbau des Interview-Leitfadens und Pretest	64
6.2	Durchführung der Interviews und Auswertungsverfahren	68
6.2.1	Transkriptionsverfahren, Gütekriterien und Analyse der Interviewtranskripte ..69	
6.3	Ergebnisse	74
6.3.1	Pretests zum Interview-Leitfaden	74
6.3.2	Entwicklung des Code-Systems	75
6.4	Zentrale Themen und Positionen.....	77
6.4.1	Physische Faktoren.....	77
6.4.2	Exoskelett Akzeptanz	81
6.4.3	Rahmenbedingungen der Einrichtung	87
6.4.4	Prozessbezogene Faktoren.....	89
6.5	Diskussion.....	94
6.5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	94
6.5.2	Physischer Nutzen von Exoskeletten in der Pflege.....	97
6.5.3	Nutzung, Akzeptanz und Implementierung von Exoskeletten in die Pflege.....	99
6.5.4	Limitationen.....	108
7	Meta-Interferenz und Diskussion der Ergebnisse aus Quanti- und Qualitativen-Daten 110	
7.1	Limitationen.....	114
8	Konklusion.....	115
9	Ausblick und Empfehlung für die Forschung und den praktischen Einsatz von Exoskeletten in der Pflege.....	116
10	Literaturverzeichnis.....	119
11	Danksagung	138
12	Anhang.....	V

Anhang 1.....	V
Anhang 2.....	VIII
Anhang 3.....	IX
Anhang 4.....	XI
Anhang 5.....	XIV
Anhang 6.....	XV
Anhang 7.....	XVII
Anhang 8.....	XIX
Anhang 9.....	XX
Anhang 10.....	XXI
Anhang 11.....	XXIX
Anhang 12.....	XXXII
Anhang 13.....	XLV
13 Selbstständigkeitserklärung	50

Abkürzungsverzeichnis¹

mit exoskelettaler Unterstützung mit einem Widerstand	Exo
mit exoskelettaler Unterstützung ohne Widerstand	Exo-Off
ohne exoskelettale Unterstützung	Control

¹ Abkürzungen, die nur innerhalb eines Absatzes oder Abschnitts verwendet wurden, sind nicht aufgeführt und werden gegebenenfalls mehrfach eingeführt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur der Dissertationsschrift	10
Abbildung 2: Unterschiedliche Typen von Exoskeletten nach a) kinematischer Anforderung und b) Antriebsart unterteilt (Crea et al., 2021, S. 3).....	14
Abbildung 3: Überlagerung von MUAPs zu einem überlagerten Signal (Konrad, 2005, S. 9).....	17
Abbildung 4: Proband beim Heben einer Kiste; links mit reflektierenden Markern; rechts als dreidimensionales Körpermodell.....	20
Abbildung 5: IMU-basierte Messmethode; links Darstellung der animierten Person; rechts Sensorplatzierung auf dem Körper nach Karatsidis et al. (2016)	21
Abbildung 6: Markerlose Bewegungsverfolgung; Foto aus den Versuchen.....	22
Abbildung 7: Technology Acceptance Model in Anlehnung an Davis (1989, S. 24)	27
Abbildung 8: TAM I, II und III - in Anlehnung an Davis (1989), Venkatesh et al. (2003) und Venkatesh & Bala (2008).....	28
Abbildung 9: Altersverteilung der Studienpopulation.....	35
Abbildung 10: orthogonaler Aufbau der Kameras	38
Abbildung 11: Foto aus Versuch mit grüner Dummypuppe.....	39
Abbildung 12: ANNN11 Vergleich XSens-Kinect Hüftgelenkwinkel rechts.....	40
Abbildung 13: Durchschnittliches Delta der maximalen Hüftgelenksflexion von 33 Proband*innen.....	41
Abbildung 14: Bland-Altman-Plot Messwerte XSens/Kinect rechtes Hüftgelenk.....	43
Abbildung 15: Bland-Altman-Plot Messwerte XSens/Kinect linkes Hüftgelenk	43
Abbildung 16: Durchführung der Messungen in einer möglichen von sechs möglichen Szenarien	48
Abbildung 17: Simulierter Transfer mit Exoskelett beim Heben der Dummy-Puppe (links) und beim Transfer (rechts) zum Bett	49
Abbildung 18: Platzierung der Sensoren nach SENIAM-Empfehlungen; Anatomie des Rückens aus Schünke et al. (2012).....	51
Abbildung 19: Borg-Skala angelehnt an Tibana et al. (2019, S. 5).....	52
Abbildung 20: Gesamtes Code-System, F1, F2 und F3 mit den Ebenen 1 und 2, eigene Darstellung	76
Abbildung 21: Code-System zu F1, Physische Faktoren	78
Abbildung 22: Code-System zu F2, Exoskelett-Akzeptanz	81
Abbildung 23: Code-System zu F3, Rahmenbedingungen der Einrichtung.....	87
Abbildung 24: Code-System zu F3, Prozessbezogene Faktoren	90
Abbildung 25: 21 Indikatoren für den physischen Nutzen, die Akzeptanz und Implementierung von passiv rückenunterstützenden Exoskeletten in der Pflege	97

Abbildung 26: Wechselbeziehungen zwischen Kategorien	99
Abbildung 27: Wechselbeziehung von akzeptanzbezogenen Aspekten für Exoskelette in der Pflege	100
Abbildung 28: Wechselbeziehung der wirtschaftlichen und organisatorischen Aspekte	102
Abbildung 29: Wechselbeziehungen zur Implementierung von Exoskeletten in die Pflege .	104
Abbildung 30: Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren und Implementierungsaspekte in der Pflege	106
Abbildung 31: Ansprüche eines passiv rückenunterstützenden Exoskeletts in der Pflege ..	106
Abbildung 32: Erweiterung der Erkenntnisse; Wechselwirkung Pflegende, Arbeitsorganisation und Design von Exoskeletten in der Pflege	107
Abbildung 33: Joint Display zur Darstellung der Integration von quantitativen und qualitativen Ergebnissen der Studie	113
Abbildung 34: Positives Ethikvotum	VII
Abbildung 35: Einwilligungserklärung zur Studie	VIII
Abbildung 36: Aufklärungsgespräch zu Studie	IX
Abbildung 37: Einverständniserklärung für Audio- und/oder Videoaufnahmen.....	X
Abbildung 38: Teilnahme-Information	XIII
Abbildung 39: Wege- und Unfallversicherung Proband*innen	XIV
Abbildung 40: Flyer zur Rekrutierung Rückseite	XVII
Abbildung 41: Flyer zur Rekrutierung Vorderseite	XVIII
Abbildung 42: Studienprotokoll nach der SPIRIT-Checkliste und der COREQ-Guideline	XXVIII
Abbildung 43: Interviewleitfaden	XXIX
Abbildung 44: Interviewleitfaden	XXXI
Abbildung 45: Thematic Map, Themen der Ebene 2 des Kategoriensystems 1 von 2.....	XLVI
Abbildung 46: Thematic Map, Themen der Ebene 2 des Kategoriensystems 2 von 2.....	XLVII
Abbildung 47: Thematic Map, Themen der Ebene 3 des Kategoriensystems 1 von 2.....	XLVIII
Abbildung 48: Thematic Map, Themen der Ebene 3 des Kategoriensystems 2 von 2.....	XLIX

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systeme zur Nachverfolgung der Bewegung	20
Tabelle 2: Ergebnisse des t-Tests für den Vergleich XSens-Kinect max. Hüftgelenkwinkel	42
Tabelle 3: Ergebnisse des t-Tests für den Vergleich XSens-Kinect max. Hüftgelenkwinkel	42
Tabelle 4: Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (SD) und Mittelwertdifferenzen ($\Delta\bar{x}$) der ANOVAs mit Messwiederholung; Muskelaktivität.....	54
Tabelle 5: F-Werte und p-Werte der ANOVA mit Messwiederholung mit entsprechenden Effektgrößen (partielltes Eta-Quadrat (η^2_p); Muskelaktivität;	55
Tabelle 6: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (SD) der ANOVA mit Messwiederholung; Hüftflexion;	56
Tabelle 7: F-Werte und p-Werte der ANOVA mit Messwiederholung mit entsprechenden Effektgrößen (partielltes Eta-Quadrat (η^2_p); Hüftflexion;	56
Tabelle 8: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (SD) der ANOVA mit Messwiederholung; subjektives Belastungsempfinden;	57
Tabelle 9: F-Werte und p-Werte der ANOVA mit Messwiederholung mit entsprechenden Effektgrößen (partielltes Eta-Quadrat (η^2_p); subjektives Belastungsempfinden;	57
Tabelle 10: Aufbau des Interview-Leitfadens in vier Phasen.....	66
Tabelle 11: Interviewleitfaden mit Zielsetzung und theoretischem Hintergrund.....	67
Tabelle 12: Gütekriterien - Definition und Umsetzung, Datenquelle: Lincoln und Guba (1985), Korstjens und Moser (2018), Mayring und Brunner (2009)	71
Tabelle 13: Ausschnitt aus dem Codierleitfaden.....	74
Tabelle 14: Vierfeldertafel zur Berechnung der Interrater-Reliabilität.....	77
Tabelle 15: Einsatz in punktuellen Belastungssituationen.....	86
Tabelle 16: Intraindividueller Vergleich XSens - Kinect Hüftgelenkwinkel Flexion re/li über den kompletten Bewegungsablauf ohne Exoskelett.....	XVI
Tabelle 17: Pseudonymliste mit stratifizierter Randomisation	XIX
Tabelle 18: Dauer der Interviews.....	XX
Tabelle 19: Kodierleitfaden.....	XLV

1 Einleitung

Der Pflegebereich steht vor großen Herausforderungen, insbesondere durch die hohen psychischen und physischen Belastungen, denen Pflegekräfte täglich ausgesetzt sind (Institut DGB-Index Gute Arbeit & ver.di-Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft, 2018). Obwohl viele Faktoren an der Entstehung von Kreuzschmerzen (LBP) beteiligt sind, können bestimmte berufliche Tätigkeiten das Risiko erhöhen (Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften [AWMF], 2017). Zu den wichtigsten Faktoren, die LBP bei Pflegekräften verursachen, gehören Arbeitssituationen, die schweres Heben und Arbeiten mit Oberkörpervorneigung erfordern, wie z. B. das Umlagern und Transferieren von Patient*innen (Ijabadeniyi & Fasae, 2023). Die daraus resultierenden muskuloskelettalen Beschwerden belasten nicht nur die betroffenen Pflegekräfte (Techniker Krankenkasse, 2019, S. 9), sondern stellen auch ein erhebliches Problem für das Gesundheitssystem (hohe Anzahl an Arbeitsunfähigkeitstagen) und die Arbeitsorganisation (Fachkräftemangel) dar (Dehl et al., 2024).

Vor diesem Hintergrund gewinnt der Einsatz von unterstützenden Hilfsmitteln wie Exoskeletten in der Pflege zunehmend an Bedeutung, um körperliche Belastungen zu reduzieren (Hein, Pfitzer, Lüth, 2016). Exoskelette sind tragbare mechanische Assistenzsysteme, die entwickelt wurden, um die körperliche Belastung der Nutzenden zu reduzieren und den Körper gezielt zu unterstützen (Crea et al., 2021). Durch ihre Fähigkeit, die körperliche Belastung bei schweren Hebe- und Tragearbeiten zu verringern und schnell verfügbar zu sein, bieten rückenunterstützende Exoskelette ein großes Potenzial zur Verbesserung der Gesundheit und des Wohlbefindens von Pflegekräften. Aus physiotherapeutischer Sicht sind Exoskelette in der Pflege deshalb besonders vielversprechend. In Kombination mit verhaltens- und verhältnisorientierten Maßnahmen könnten Exoskelette eine präventive Maßnahme gegen arbeitsbedingte Beschwerden und Verletzungen darstellen, indem sie die mechanische Belastung des Körpers reduzieren und gleichzeitig die natürliche Bewegung unterstützen (Argubi-Wollesen & Wollesen, 2023, S. 97). Der Wert von gesunden älteren Mitarbeiter*innen wird auch für Unternehmen, aufgrund der gesellschaftlichen Herausforderungen, immer wichtiger werden (Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2024).

Um ein langfristiges Gesundheitsverständnis zu gewährleisten, spielt die Integration von Prävention und Gesundheitskompetenz in die Ausbildung von Pflegekräften eine wichtige Rolle, um ein Gesundheitsverständnis für den Beruf zu entwickeln (Bischoff et al., 2023b). Physiotherapeut*innen mit ihren vielfältigen Kompetenzen im Bereich der menschlichen Bewegung können dabei helfen, diese Gesundheitskompetenz und das Empowerment aufzubauen und für das Thema Prävention und Gesundheitsförderung zu sensibilisieren (Kemper, 2019). Langfristig kann dies zu einer Verbesserung der Arbeitsfähigkeit, Lebensqualität und Teilhabe der Pflegenden sowie zu einer Reduktion von Fehlzeiten führen (AWMF, 2017).

Die Zielsetzung dieser Arbeit lässt sich wie folgt skizzieren: Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird zunächst eine Analyse der körperlichen Belastung beim Benutzen eines passiven rückenunterstützenden Exoskeletts vorgenommen, wobei die Muskelaktivität, der Hüftflexionswinkel sowie das subjektive Belastungsempfinden als Parameter herangezogen werden. Ziel ist es, die Frage zu beantworten, ob Exoskelette einen Einfluss auf die körperliche Belastung haben. Des Weiteren wird untersucht, ob Pflegenden Exoskelette akzeptieren würden und welche Aspekte für eine erfolgreiche Implementierung in die Pflege von entscheidender Bedeutung sind. Dazu werden zunächst die Arbeitsbelastungen von Pflegekräften aufgezeigt (2.1), und in diesem Zusammenhang die körperliche Belastung beim Heben und Tragen dargestellt (2.2). Kapitel 2.3 skizziert unterschiedliche Arten von Exoskeletten. Im darauffolgenden Kapitel werden verschiedene Methoden beschrieben, die es ermöglichen, körperliche Unterschiede beim Tragen oder Nicht-Tragen von Exoskeletten festzustellen. Dabei handelt es sich um die Muskelaktivität (2.4), die Bewegungserfassung (2.5) und subjektives Belastungsempfinden (2.6). Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Begriffe Akzeptanz und Nutzen (2.7.2-7) im Kontext von der Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege.

In dem darauffolgenden Kapitel 3 wird das methodische Vorgehen beschrieben. Im Rahmen eines Mixed-Methods-Ansatzes wird die übergeordnete Frage beantwortet: *Wie beeinflusst der Einsatz von Exoskeletten in der Pflege die physische Belastung und Akzeptanz von Pflegekräften, und welche Aspekte sind für eine erfolgreiche Implementierung dieser Technologie in der Praxis entscheidend?* Dazu werden zunächst das Studiendesign (3.1), das Erkenntnisinteresse und die Forschungsfragen

(3.2) und danach die Erhebung, Ethik und Datenschutz (3.3) der Teilnehmenden detailliert beschrieben.

In Kapitel 4 werden die Methode, die Ergebnisse und Diskussion des Vorversuchs zur Validität von Messinstrumenten der Bewegungserfassung präsentiert. Anschließend folgt die Präsentation der quantitativen Studie (5), der Prozess des experimentellen Vorgehens (5.1) und der Ergebnisse (5.1.2) sowie der anschließenden Diskussion (5.3). Abgeschlossen wird mit einer Konklusion der Ergebnisse (5.4).

In Kapitel 6 wird die qualitative Studie präsentiert, der Aufbau des Interview-Leitfadens und Pretest abgebildet (6.1), das Vorgehen der Durchführung der Interviews beschrieben (6.2) und die Ergebnisse (6.3) wie auch zentralen Themen und Positionen aufgezeigt (6.4). in Kapitel 6.5 erfolgt die abschließende Diskussion der Ergebnisse der qualitativen Studie.

Die übergeordnete Diskussion der Gesamtergebnisse der Mixed-Methods-Studie findet in Kapitel 7 statt. Den Schluss bildet das Kapitel 8. Hier sind die Umriss der genannten Aspekte zur Implementierung und zum Nutzen von Exoskeletten in der Pflege noch einmal zusammenfassend dargestellt. Kapitel 9 der Dissertationsschrift schließt mit einem Ausblick und Empfehlungen für die Forschung. Eine Visualisierung der beschriebenen Struktur zeigt Abbildung 1.

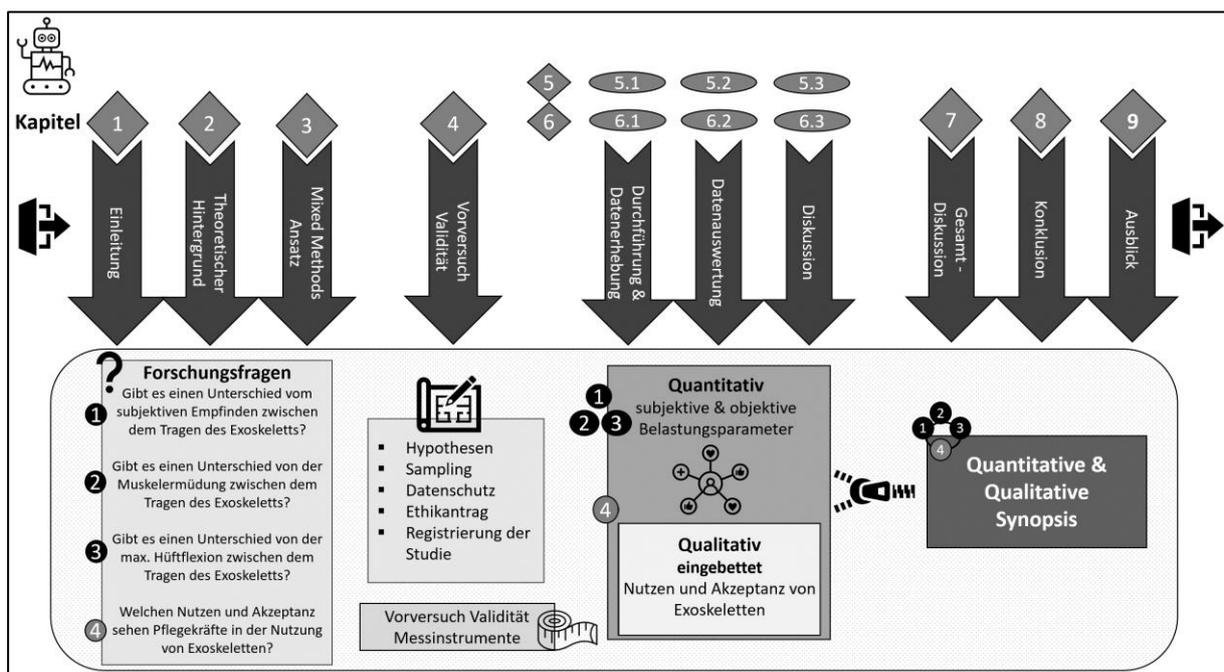


Abbildung 1: Struktur der Dissertationsschrift

2 Theoretischer Hintergrund

Die Arbeitsbelastung und deren Folgen durch u.a. muskuloskelettale Erkrankungen von Pflegekräften stellt ein zentrales Thema in der Physiotherapie sowie Gesundheits- und Arbeitswissenschaft dar. Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte der Arbeitsbelastung von Pflegekräften, die physiologischen und biomechanischen Auswirkungen des Hebens und Tragens von Lasten, die Funktion und Vorteile von Exoskeletten, die Methoden zur Messung der Muskelaktivität und Bewegungsmuster sowie das subjektive Belastungsempfinden und die Akzeptanz von Exoskeletten theoretisch dargestellt.

2.1 Arbeitsbelastung von Pflegefachkräften

Die Anzahl der Pflegebedürftigen steigt aufgrund der älter werdenden Gesellschaft von Jahr zu Jahr - 2020 werden Menschen in Deutschland durchschnittlich 20 Jahre älter sein als zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2019, S. 17–19). Angesichts sinkender Geburtenraten wird laut Hochrechnungen des statistischen Bundesamts die Gesamteinwohnerzahl in Deutschland auf unter 75 Millionen zurückgehen und gleichzeitig sich der Anteil der über 80jährigen in der Bevölkerung verdreifachen. Das statistische Bundesamt (ebd.) geht von einem Wachstum der Anzahl an Pflegebedürftigen von derzeitigen 2,7 Millionen auf 4,7 Millionen bis 2050 aus. Dies würde eine Verdoppelung der Pflegebedürftigen darstellen.

Das Missverhältnis zwischen der Zahl der zu Pflegenden und der Zahl der Pflegekräfte führt zu einer Überlastung der vorhandenen Pflege- und Betreuungskapazitäten und stellt eine gesellschaftliche und politische Herausforderung dar. Diese Überbeanspruchung des Pflegepersonals bildet sich laut des Gesundheitsreports der Techniker Krankenkasse (2019, S. 27–30) auch in den über dem Durchschnitt liegenden Zahlen an Fehlzeiten von Berufstätigen in der Krankenpflege ab. In den Jahren 2000 bis 2018 liegen allgemein in allen Jahren die Fehlzeiten deutlich über den Fehlzeiten bei Berufstätigen im Allgemeinen. Nach ICD-10-Diagnosen fallen die höchsten Fehlzeiten der Arbeitsunfähigkeit (AU) auf „Psychische Störungen“ und „Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems“ zurück. Die Anzahl der ermittelten AU-Tage mit Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems liegen bei Berufstätigen in Krankenpflegeberufen bei TK-Versicherten bei durchschnittlich 446 Tagen je 100

Versicherungsjahre (Techniker Krankenkasse, 2019, S. 30) im Vergleich zu 261 AU-Tagen je 100 Versicherungsjahren für Berufstätige. Dies entspricht einer um 70 Prozent höheren Fehlzeitenrate und deutet auf eine erhebliche Belastung des Bewegungsapparates hin. Bei genauerer Betrachtung der differenzierten Diagnoseschlüssel der ICD-10-Klassifikation ist die Anzahl der Fehltage, welche sich durch Häufigkeit und Dauer der Erkrankung definiert, am häufigsten auf „Akute Infektionen der oberen Atemwege“(J06), „Rückenschmerzen“(M54) und „Depressive Episoden“(F32) zurückzuführen. Insbesondere in der Altenpflege ist die Diagnose „Rückenschmerzen“ besonders häufig - bei absteigender Sortierung steht die Diagnose auf Platz eins (Techniker Krankenkasse, 2019, S. 39).

2.2 Heben und Tragen von Lasten und die Belastung des unteren Rückens

Kreuzschmerzen gehören weltweit zu den häufigsten Muskel-Skelett-Erkrankungen und treten bei 50 bis 80 Prozent der Menschen mindestens einmal im Leben auf. Nach Erkrankungen der oberen Atemwege und Kopfschmerzen sind Kreuzschmerzen weltweit die dritthäufigste Ursache für Arztbesuche (GBD Low Back Pain Collaborators, 2023). Obwohl viele Faktoren an der Entstehung von Kreuzschmerzen beteiligt sind, können bestimmte berufliche Tätigkeiten das Risiko erhöhen. Physische und psychische Faktoren in der Arbeitsumgebung können bei der Entstehung von Kreuzschmerzen eine Rolle spielen, aber auch individuelle Faktoren wie Alter, Geschlecht, genetische Dispositionen und arbeitsbedingte Faktoren wie die Dauer der belastenden Tätigkeit, beeinflussen die Entstehung von LBP (AWMF, 2017). Im Pflegebereich ist die Lebenszeitprävalenz (50% bis 80%) und Jahresprävalenz (40 bis 50%) von LBP höher als in anderen Berufen und stellt weltweit die zweithäufigste Ursache für Fehlzeiten und Arbeitsausfälle dar (Budhrani-Shani et al., 2016; Edlich et al., 2004). Die Prävalenz für Kreuzschmerzen liegt bei 20% bis 50,8% bei deutschen Pflegekräften (Frey et al., 2018).

Zu den wichtigsten Faktoren, die LBP bei Pflegekräften verursachen, gehören Arbeitssituationen, die schweres Heben und Arbeiten mit Oberkörpervorneigung erfordern, wie z. B. das Umlagern und Transferieren von Patient*innen (Ijabadeniyi & Fasae, 2023). Hilfsmittel wie Gleitmatten, Haltegurte sowie Patient*innenlifter stellen eine Möglichkeit dar, die körperliche Belastung von Pflegefachkräften bei repetitiven Pflegetätigkeiten zu reduzieren (Hein, Pfitzer, Lüth, 2016). Die daraus resultierende Reduzierung der Hebekräfte, die das Pflegepersonal bei der Patient*innen-

Handhabung erfährt, kann dazu beitragen, Beschwerden und Erkrankungen durch Überlastung zu vermeiden. Die Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) empfiehlt daher den Einsatz von Patient*innenliftern, um körperliche Belastungen beim Umgang mit Patient*innen zu vermeiden (Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege [BGW], 2017). Freiberg et al. (2016) untersuchten in einem systematischen Review die Wirksamkeit des Einsatzes kleiner (nicht-technischer) Hilfsmittel (z. B. Gleittücher und Laufgurte) bei der Patient*innen-Handhabung und deren Einfluss auf das Auftreten von muskuloskelettalen Beschwerden und stellten fest, dass die aktuelle Evidenzlage für deren präventiven Einsatz unzureichend ist..

Die hohe Anzahl an Arbeitsunfähigkeitstagen und der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften ist einerseits als ernsthaftes Problem anzusehen, kann andererseits aber auch einen Anreiz darstellen, Ideen zur Unterstützung von Pflegefachkräften weiterzuentwickeln. Eine aktuelle Möglichkeit die körperliche Belastung von Pflegefachkräften bei immer wiederkehrenden Tätigkeiten in der Pflege zu entlasten stellen Hilfsmittel wie Gleitmatten, Haltegurte sowie Patientenlifter dar (Hein, Pfitzer, Lüth, 2016, 79f.). Der Einsatz von diesen Hebehilfen ist gleichzeitig bei Pflegekräften oft umstritten, da sie aus Sicht der Pflegenden den Arbeitsprozess verlangsamen und ihre Handhabung nicht zuletzt wegen des hohen Platzbedarfs oft als umständlich empfunden wird (Koppelaar et al., 2013, S. 537). Eine Alternative und technische Weiterentwicklung zu diesen Hilfsmitteln könnten körpernah getragene Unterstützungssysteme wie exoskelettale Systeme darstellen, die flexibler eingesetzt werden können, weil sie weniger Platz als bspw. ein Hebekran einnehmen und einfach in der Handhabung sind (Elprama et al., 2022). Im Gegensatz zu anderen (nicht-technischen) Hilfsmitteln wurden Exoskelette für statische Haltepositionen, z. B. mit nach vorne geneigtem Oberkörper und physischer Belastung des unteren Rückens, bereits in mehreren Studien untersucht (Bär et al., 2022; Bosch et al., 2016; Luger et al., 2021). Sie bieten das Potenzial, die körperlichen Belastungen beim Heben und Tragen von Lasten signifikant zu verringern (ebd.) und somit die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Pflegekräften nachhaltig zu verbessern. Im folgenden Abschnitt wird daher detailliert auf die Funktionsweise und die Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten eingegangen.

2.3 Exoskelette

Seit einigen Jahren werden Exoskelette für den Einsatz an Industriearbeitsplätzen, in der Logistik oder Handwerk produziert und in verschiedenen Studien hinsichtlich der muskuloskelettalen Entlastung getestet (Baltrusch et al., 2019; Bosch et al., 2016; Koopman et al., 2019; Looze et al., 2016). Exoskelette sind tragbare, externe Geräte, die entwickelt wurden, um den Körper bei Belastungen zu unterstützen oder rehabilitieren. Ursprünglich inspiriert durch die Biologie und die Natur, insbesondere durch das Skelett und die Bewegung von Arthropoden, haben sich Exoskelette von konzeptionellen Ideen zu technologischen Hilfsmitteln entwickelt (Kese et al., 2000). In der medizinischen Rehabilitation von Schlaganfallpatient*innen oder inkompletten Querschnittspatient*innen finden diese Systeme zur Unterstützung und zum Wiedererlernen des Gehens bereits seit mehreren Jahren ihren Einsatz (Federici et al., 2015; Kalita et al., 2020). Seit 2010 werden Exoskelette für den Gebrauch, an gewerblichen Arbeitsplätzen produziert und in unterschiedlichsten Studien im Hinblick auf die muskuloskelettale Entlastung unter Laborbedingungen getestet. In mehreren Studien wurden Exoskelette für statische Halteposition mit z.B. vorgeneigtem Rumpf und der körperlichen Belastung des unteren Rückens untersucht (Bosch et al., 2016; Dos Anjos, Gallo, Giustetto, Monferino, Micheletti, Di Pardo, Gazzoni, 2019; Koopman et al., 2019; Miura et al., 2020). Sie unterscheiden sich in ihrem kinematischen Aufbau (a) und der Art des Antriebs (b) (Abbildung 2) (Crea et al., 2021).

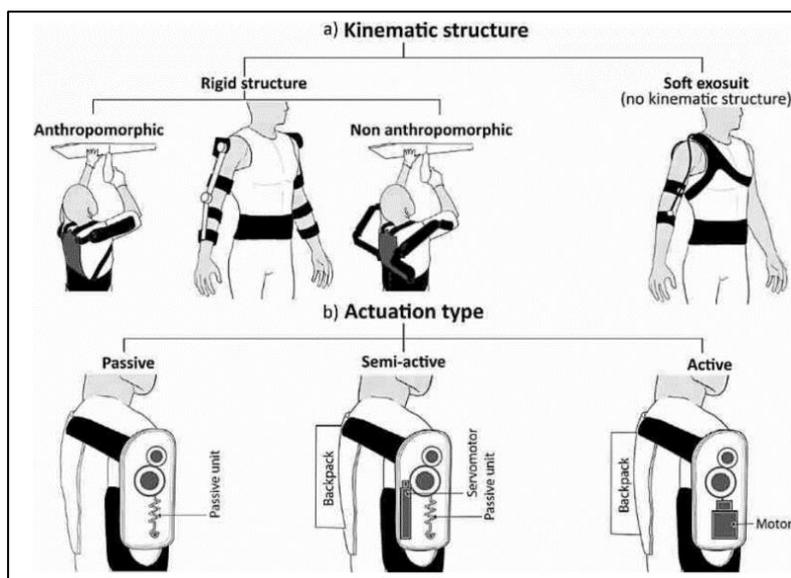


Abbildung 2: Unterschiedliche Typen von Exoskeletten nach a) kinematischer Anforderung und b) Antriebsart unterteilt (Crea et al., 2021, S. 3)

Die kinematische Struktur lässt sich in zwei Typen unterteilen: steife, starre und weiche Elemente. Die steifen, starren Exoskelette bestehen aus stabilen Materialien wie z.B. Federelementen aus Stahl, die besonders hohen Belastungen und mechanischen Beanspruchungen standhalten können. Sie werden weiter unterteilt in Exoskelette, die an die Körpermaße angepasst werden können (anthropomorph) und nicht anpassbare Exoskelette (nicht anthropomorph). Die weichen Exoskelette bestehen aus überwiegend elastischen Textilien, wodurch sie besonders flexibel und leicht sind. Gleichzeitig sind sie robust genug, um mechanischen Belastungen standzuhalten. Eine weitere Unterscheidung stellt der Antriebs-Typ dar, der in passiv, semi-aktiv und aktiv unterteilt wird (Abbildung 2, b). Das passive Exoskelett basiert auf rein mechanischen Elementen wie Federn oder Dämpfern, die die Bewegung des Nutzenden unterstützen. Im Gegensatz dazu verfügen aktive Exoskelette über motorisierte Komponenten, die durch elektrische, hydraulische oder pneumatische Antriebe die Nutzenden in ihrer Bewegung unterstützen. Der semi-aktive Antriebs-Typ stellt eine Mischform aus aktiven und passiven Elementen dar (Crea et al., 2021). Das in dieser Studie untersuchte Exoskelett ist ein passives, rückenunterstützendes Exoskelett, welches durch eine Annäherung von Beinschalen und Brustauflage, wie es bei einer Vorbeugung des Oberkörpers der Fall ist, einen am Oberschenkel befindlichen Expander auseinanderzieht und dabei ein Moment in entgegengesetzter Richtung (Extensionsmoment) erzeugt. Dieses Moment ist abhängig vom Hüftbeugewinkel und hat bei einem Winkel von circa 60° sein Maximum von 40 Nm erreicht.

Zu den am weitesten verbreiteten Exoskeletten zählen Systeme mit diesen eben genannten passiven Komponenten, die Energie z. B. über weiche elastische Bänder oder federähnliche Strukturen speichern und wieder abgeben (Toxiri et al., 2019). Die Ergebnisse von Arjmand et al. (2011) und Koopman et al. (2019) weisen auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Reduktion der EMG-Amplitude und der körperlichen Entlastung des unteren Rückens bei der Nutzung von Exoskeletten mit statischer Rumpfvorneigung unter Laborbedingungen hin. Die genannten Effekte wurden hauptsächlich über die muskuläre Aktivität durch Elektromyographie (EMG) des unteren Rückens sowie über eine muskuloskelettale Simulation zur Berechnung der einwirkenden Kräfte erfasst (Dos Anjos, Gallo, Giustetto, Monferino, Micheletti, Di Pardo, Gazzoni, 2019).

In einer Studie von Miura et al. (2020) wurde der Einsatz von passiven Exoskeletten für den Transfer eines Dummies in den Stand mit ausschließlich jungen, männlichen Probanden untersucht. Eine Untersuchung, die eine Drehung und einen Transfer der Person in einen Rollstuhl einschließt, wurde bislang noch nicht berücksichtigt. In vielen Studien werden die Ergebnisse in Laborsituationen und mit überwiegend männlichen Probanden gewonnen. Eine Übertragung der Ergebnisse auf die Pflege, in der weltweit über 80 % der Beschäftigten Frauen sind (Boniol et al., 2019), ist jedoch schwierig zu leisten und kann zu Verzerrungen der Studienergebnisse führen (Cochrane Deutschland, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften [AWMF], 2016). Bislang existieren noch keine Studien, welche die Auswirkungen dynamischer Bewegungen mit exoskelettaler Unterstützung in routinemäßigen Arbeitsbelastungen und Bewegungsmustern in der Pflege untersucht haben. Des Weiteren liegen keine Erkenntnisse darüber vor, ob diese Art der technischen Unterstützung von den Pflegenden akzeptiert wird und welcher Nutzen von den Pflegenden wahrgenommen wird. Die Ergebnisse von Elprama et al. (2022) veranschaulichen die Komplexität und Vielfalt möglicher Einflussfaktoren, die auf die Industrie einwirken. Dazu zählen physiologische, arbeitsbezogene, politische, umsetzungsbezogene und psychosoziale Faktoren.

Im Folgenden wird unter dem Begriff Exoskelett das in dieser Studie verwendete passive rückenunterstützende Exoskelett ‚Paexo Back‘ der Firma Ottobock verstanden (Ottobock SE & Co. KGaA, 2023). Nun folgt eine Beschreibung der Messungen, die durchgeführt werden können, um die Wirkung von Exoskeletten auf den menschlichen Körper zu verstehen und zu quantifizieren. Die Messung der Muskelaktivität spielt eine zentrale Rolle bei der Beurteilung der Effektivität und des Einflusses von Exoskeletten auf die physiologischen Funktionen des Nutzenden.

2.4 Muskuläre Aktivität messen über Elektromyographie

Die Elektromyographie (EMG) ist ein diagnostisches Verfahren, bei dem die elektrische Aktivität des Muskelgewebes gemessen und aufgezeichnet wird. Diese Technik wird häufig in der klinischen Neurophysiologie zur Diagnose von Muskel- und Nervenerkrankungen sowie in der Sportwissenschaft, Biomechanik oder Physiotherapie zur Untersuchung der Muskelaktivität und -kontrolle eingesetzt (Campanini et al., 2020; Clarys, 2000; Radecka & Lubkowska, 2020). Die

Elektromyographie beruht auf der Messung der elektrischen Potenziale, die von Muskelzellen während der Kontraktion erzeugt werden. Diese Potenziale entstehen durch die Depolarisation und Repolarisation der Muskelzellmembranen und können mit Elektroden gemessen werden. Eine Muskelzelle erzeugt als Folge von Ionenbewegungen über die Zellmembran ein elektrisches Potenzial, das Ruhepotenzial dieser Muskelzelle liegt bei ca. -80 bis -90 mV (Konrad, 2005, S. 6). Wird diese Zelle durch einen Nervenimpuls erregt, depolarisiert sich die Zellmembran und erzeugt ein Aktionspotenzial. Die Einheit zwischen dem Motoneuron und der Gesamtheit der von diesem Neuron innervierten Muskelfasern wird als motorische Einheit bezeichnet; bei der Innervation dieser motorischen Einheit wird ein Summenaktionspotenzial erzeugt, das auch als ‚Motor Unit Action Potential‘ (MUAPs) bezeichnet wird (Saitou et al., 2000). Die Überlagerung der MUAPs wiederum bildet das sogenannte Interferenzsignal (s. Abbildung 3), welches das ungefilterte und unbearbeitete ‚Rohsignal‘ darstellt und als ein EMG-Signal mittels einer Software aufgezeichnet werden kann (ebd.).

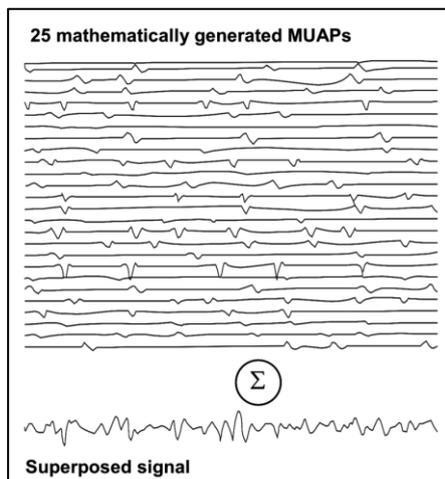


Abbildung 3: Überlagerung von MUAPs zu einem überlagerten Signal (Konrad, 2005, S. 9)

Grundsätzlich wird die Elektromyographie (EMG) in zwei Messmethoden unterschieden: die intramuskuläre Messung mittels Feindraht-/Nadelelektroden und die Oberflächen-EMG-Messung (oEMG) mittels bipolarer oEMG-Elektroden. Die intramuskuläre Messung wird vor allem in der medizinischen Diagnostik neuromuskulärer Erkrankungen eingesetzt und zeigt eine hohe Präzision des zu untersuchenden Muskels (Konrad, 2005, S. 15). In der Biomechanik und Kinesiologie hat sich die oEMG-Messung als Messverfahren etabliert, bei dem die Sensoren über Klebestreifen direkt auf die Haut des zu untersuchenden Muskels positioniert werden

(Roy et al., 2007). Während bei EMG-Untersuchungen mit Feindraht schnelle Bewegungen für die Proband*innen schmerzhaft sein können, bietet die nicht-invasive Methode des oEMG den weiteren Vorteil einer einfacheren Handhabung. Im Vergleich zur invasiven Methode ist die oEMG-Messung anfälliger für Störsignale des untersuchten Muskels (ebd.). Die oEMG-Signale sollten daher idealerweise mit dem höchsten Informationsgehalt abgeleitet und mit dem geringsten Anteil an Störsignalen aufgezeichnet werden. Störsignale können z.B. erhöhtes Fettgewebe oder physiologische ‚Cross Talks‘ sein, bei denen ein Anteil von 10 bis 15 % des EMG-Signals von eng benachbarten Muskeln abgeleitet werden kann, sofern die EMG-Elektroden an eng beieinander liegenden Muskeln angebracht werden (DeLuca, 1997, S. 137f.). Die Positionierung der Elektroden sollte daher anhand anatomischer oder gut tastbarer Orientierungspunkte erfolgen (Hermens et al., 2000, S. 369). Zur Verbesserung der Signalqualität sind nach Basmajian und DeLuca (1985) und Roy et al. (2007, S. 456) folgende Punkte zu beachten:

- Hautvorbereitung: Um den Hautwiderstand gering zu halten, wird die Haut desinfiziert und rasiert.
- Elektrodenabstand: von mindestens 2 cm
- Platzierung der Elektroden im Verlauf der Muskelfasern und am zentralen Punkt des Muskelbauches

Aufgrund des großen Einflusses der Messbedingungen kann die Variabilität der in Mikrovolt gemessenen Amplitudenwerte der EMG-Messungen reduziert werden, indem die Amplitudenwerte in der weiteren Datenverarbeitung auf einen Referenzwert normiert werden. Ein Verfahren ist die maximale Muskelaktivität unter der Messung, bei der auf den prozentualen Anteil der maximal erreichbaren Innervationskapazität innerhalb der ausgeführten Bewegung Bezug genommen wird (Diong et al., 2022, S. 7f.). Eine weitere Methode, die auch in der vorliegenden quantitativen Studie (siehe Kapitel 5) zur Aufbereitung und Analyse der EMG-Signale verwendet wurde, ist die Amplitudenanalyse, bei der die Amplitude des EMG-Signals proportional zur Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten und der Stärke der Muskelkontraktion ist (DeLuca, 2008b, S. 62; Lawrence & DeLuca, 1983) und die mit Hilfe des Root-Mean-Squares (RMS) zur einer Glättung des Signals verwendet wird (Konrad, 2005, S. 27). Je mehr motorische Einheiten rekrutiert werden und je stärker die Kontraktion ist, desto größer ist die Amplitude des EMG-Signals. Die Amplitudenanalyse kann daher

Hinweise auf die Stärke der Muskelkontraktion und die Beteiligung verschiedener Muskelfasern bei unterschiedlichen Aktivitäten geben (DeLuca, 2008a, S. 62). In der Sportwissenschaft und Arbeitsmedizin wird die Amplitudenanalyse eingesetzt, um festzustellen, welche Muskeln während einer Übung am stärksten beansprucht werden und wie sich die Amplitude aufgrund von Muskelermüdung über die Zeit verändert (Pfeifer et al., 2003). So können beispielsweise auch in der Physiotherapie Übungsprogramme optimiert und muskuläre Unter-/Über- oder Fehlbelastungen frühzeitig erkannt werden (Harvey et al., 1999). In Untersuchungen zur Wirkung von Exoskeletten auf die Rückenmuskulatur ist die Elektromyographie eine etablierte Methode, die in den Studien von Bosch et al. (2016) und Ulrey und Fathallah (2013) eingesetzt wurde, um festzustellen, dass passive Exoskelette in statischen Rumpfbeugehaltungen zu einer reduzierten Muskelaktivität des M. erector spinae führen (17% bzw. 24%). Darüber hinaus haben mehrere Studien gezeigt, dass die Muskelaktivität durch das Tragen eines passiven Rücken-Exoskeletts während dynamischer Hebeaufgaben reduziert werden kann (Luger et al., 2023; Luger et al., 2021; Schwartz et al., 2021).

Eine weitere biomechanische Messmethode zur Analyse von Bewegungsabläufen ist die Bewegungserfassung (Kinematik) über das sogenannte Motion-Capture-Verfahren, das im folgenden Kapitel vorgestellt wird.

2.5 Bewegungserfassung über Motion-Capture-Verfahren

Das folgende Kapitel wurde in einer ähnlichen Form in der Zeitschrift „pt – Zeitschrift für Physiotherapeuten“ von Brandt et al. (2023) veröffentlicht.

Zu den etablierten Messsystemen in der Biomechanik gehören vor allem die markerbasierte Methode und zunehmend aufgrund der verbesserten Messgenauigkeit im Vergleich zum Goldstandard (Vicon) auch die inertielle Messmethode. Motion-Capture-Verfahren zeichnen Bewegungen auf und übertragen sie in eine computerverwertbare Form, indem Schlüsselpunkte im dreidimensionalen Raum verfolgt werden (Menache, 2000). Diese Systeme zur Nachverfolgung werden auch als Ortungssystem/Tracking-System bezeichnet und dienen der Beobachtung von Personen oder Objekten in Bewegung und liefern eine zeitlich geordnete Folge von Positions- bzw. Bewegungsdaten zur weiteren Verarbeitung (Kolahi et al., 2007). Grundsätzlich können zwei unterschiedliche Technologien zur Erfassung und

Darstellung von Bewegungen eingesetzt werden: optische und nicht-optische Systeme (s. Tabelle 1). Nicht-optische Systeme erfassen Daten über elektromagnetische, elektromechanische, akustische oder inertielle Systeme. Optische Systeme werden in markerlose und markerbasierte (passive und aktive) Systeme unterteilt (Field et al., 2009, S. 1700).

Optische Systeme	Nicht optische Systeme
Passive Marker (i)	Elektromagnetisch (a)
Aktive Marker (ii)	Mechanisch (b)
Markerlos (iii)	Inertial (c)

Tabelle 1: Systeme zur Nachverfolgung der Bewegung

Passive und aktive markerbasierte Bewegungserfassung ist eine Technologie, die häufig in Bereichen wie Filmproduktion, Videospieldentwicklung und biomechanischer Forschung eingesetzt wird, um Veränderungen der Bewegungsqualität beim Gehen, z.B. von Menschen mit Amputationen, festzustellen (Ludwigs et al., 2010). Bei der markerbasierten Bewegungserfassung werden spezielle Markierungen, auch Marker genannt, an bestimmten (Gelenk-) Punkten des zu verfolgenden Objekts/Person positioniert (Field et al., 2009). Diese Marker können entweder reflektierende Kugeln, LED-Leuchten oder andere spezielle Markierungen sein. Die Position und Orientierung der reflektierenden Marker werden von speziellen (Infrarot-)Kameras erfasst. Aus der Analyse der Markerpositionen und der Orientierung im Raum werden die Daten in Körpermodelle umgewandelt und in einer dreidimensionalen Bewegung wiedergegeben (ebd.) (Abbildung 4).

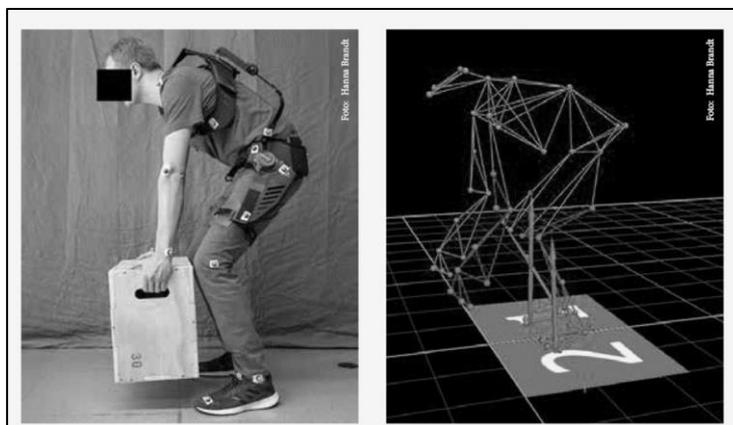


Abbildung 4: Proband beim Heben einer Kiste; links mit reflektierenden Markern; rechts als dreidimensionales Körpermodell

Die aus Animationsfilmen bekannte inertielle markerlose nicht-optische (IMU-basierte) Messmethode (Tabelle 1; c) setzt sich aufgrund der verbesserten Messgenauigkeit zunehmend in der Forschung durch. Bei der inertial-markerlosen nicht-optischen Messmethode werden Sensoren am Körper angebracht (Abbildung 5), ähnliche Sensoren sind beispielsweise in Smartwatches oder Smartphones integriert. Beschleunigungs- und Lagesensoren liefern u.a. die Informationen über die Bewegung eines Objekts oder einer Person im Raum (Fraunhofer IFF, 2024).

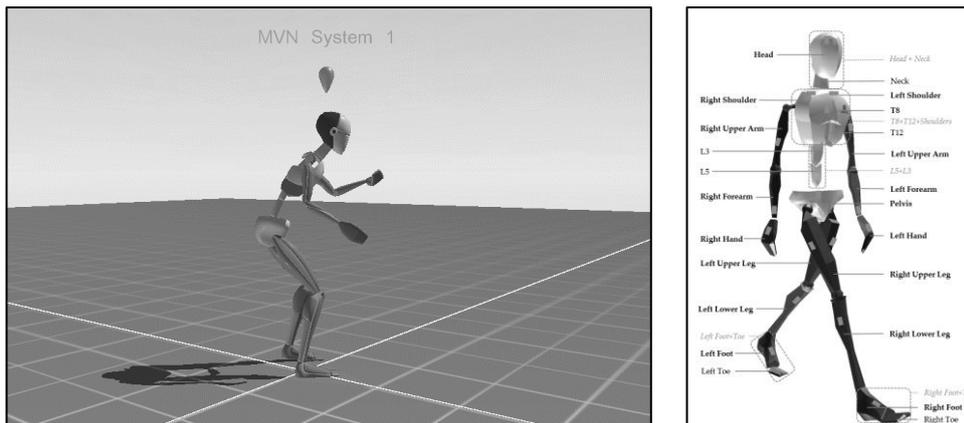


Abbildung 5: IMU-basierte Messmethode; links Darstellung der animierten Person; rechts Sensorplatzierung auf dem Körper nach Karatsidis et al. (2016)

Eine weitere Entwicklung sind markerlose, optische Bewegungsmessungen, z.B. mit einer Kinect-Kamera. In Verbindung mit Spielkonsolen können sie eine interaktive Plattform bilden, um u.a. vorgegebene Fitnessübungen nachzuvollziehen, das sogenannte ‚Exergaming‘. Markerloses optisches Bewegungstracking mit speziellen Kameras ist eine Methode, um die Bewegung von Personen oder Objekten in einer Szene zu verfolgen, ohne auf sichtbare physische Marker zurückgreifen zu müssen. Dabei werden Personen vor einer Kamera positioniert und neuronale Netze erzeugen Skelettmodelle, indem sie Personen und ihre Gelenke erkennen, zuordnen und verfolgen. Anstelle von Markern verwenden diese speziellen Kameras Bild- und Tiefenanalyse-Technologien, um die Bewegungen zu verfolgen. Die Informationen aus der Bild- und Tiefenanalyse ermöglichen es, Bewegungen in natürlichen Umgebungen zu verfolgen (Wade et al., 2022).



Abbildung 6: Markerlose Bewegungsverfolgung; Foto aus den Versuchen

Einige Beispiele für Bildanalyse-Technologien sind:

- Computer Vision-Algorithmen, die verwendet werden, um Merkmale in einem Bild zu identifizieren und zu verfolgen, wie z.B. Konturen, Kanten, Farben oder Texturen (Heinrich et al., 2022).
- Feature-basiertes Tracking, das verwendet wird, um bestimmte Merkmale von Personen in einem Bild, wie z.B. Augen, Nase, Mund, mit der Kamera zu verfolgen (Fauzi et al., 2024).

Ein Beispiel für eine Tiefenanalyse-Technologie:

- Tiefenkameras, die die Entfernung von Objekten in einer Szene messen, und verwendet werden können, um die Bewegung von Personen oder Objekten zu verfolgen (Microsoft, 2020).

Durch die Kombination dieser beiden Technologien kann die Genauigkeit und Robustheit der Bewegungsverfolgung verbessert und z.B. durch künstliche Intelligenz ergänzt werden (Field et al., 2009; Wade et al., 2022). Die Kombination von Tiefenanalyse- und Bildanalyse-Technologien in einer Kamera bietet den Vorteil, kostengünstig, kompakt, benutzer*innen-freundlich und portabel zu sein. Zur Beurteilung von Bewegungen könnte diese Technologie z.B. auch bei der Untersuchung von ergonomischem Heben und Tragen während einer pflegerischen Intervention eingesetzt werden und somit eine praktikable und zuverlässige Analysemöglichkeit bieten. Das Kamerasystem könnte eine Ergebnismessung durchführen, indem es Gelenkwinkel erfasst und einen Vorher-Nachher-Vergleich eines Bewegungsausmaßes ermöglicht. Objektive Parameter wie Gelenkwinkel, die

auf unphysiologische Körperhaltungen hinweisen, könnten zur Untersuchung und Analyse von körperlichen Arbeitsbelastungen im individuellen Arbeitsfeld dienen und so die physiotherapeutische Ergonomie-Beratung unterstützen oder z.B. auf Überbelastungen hinweisen. Dies bedarf jedoch weiterer Forschung, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von markerlosen Tracking-Systemen in der angewandten Physiotherapie und konkreten Behandlungs- und Untersuchungsszenarien nachweisen. Eine Orientierung für ein solches System wird bereits durch einen markerbasierten Ansatz gegeben, der durch eine Analyse der Arbeitsbelastung in konkreten Arbeitsplatzsituationen in der Industrie auf Fehlbelastungen hinweist (Rubio & Quiles, 2021; Tröster et al., 2022).

Neben den technologischen Entwicklungen und den Möglichkeiten, Überbelastungen über Tiefenbildkameras und künstlicher Intelligenz zu erfassen, widmet sich das folgende Kapitel dem subjektiven Belastungsempfinden über die Category Ratio Scale (CR-10 Skala).

2.6 Subjektives Belastungsempfinden über die CR-10 Skala

Die subjektive Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung (Ratings of Perceived Exertion=RPE) stellen einfache und indirekte Skalen (im Vergleich zur Elektromyographie) zur Erfassung der Muskelermüdung bei Aktivitäten am Arbeitsplatz, in der Rehabilitation oder beim Sport dar. Eine Skala zur Ermittlung des subjektiven Empfindens der wahrgenommenen Anstrengung kann anhand der Borg CR-10-Skala gemessen werden (Borg, 1990). Die psychometrischen Eigenschaften der Borg CR-10-Skala wurden in verschiedenen Studien belegt (Garcin et al., 2005; Lamb et al., 2017; Lea et al., 2022) und im Allgemeinen als alters- und geschlechtsunabhängig, zuverlässiges und valides Messinstrument eingestuft. Die Sensitivität und Spezifität zur Bewertung der muskulären Ermüdung der Rückenmuskulatur zeigt sehr gute Ergebnisse (Waongenngarm et al., 2022).

Die Einteilung der Anstrengungsgrade erfolgt anhand einer fünfstufigen Skala, wobei die Wertebereiche wie folgt definiert sind (Borg, 2008):

- Skalenwert 0 bis 2: keine, sehr schwache und schwache Anstrengung
- Skalenwerte 3 bis 4: mittlere Anstrengung
- Skalenwert 5 bis 6: starke Anstrengung
- Skalenwert 7 bis 8: sehr starke Anstrengung

- Skalenwerte 9 bis 10: größere Anstrengung

In mehreren Studien (Frey Law et al., 2010; Iridiastadi & Nussbaum, 2006; Troiano et al., 2008) konnte ein moderater bis starker Zusammenhang zwischen den subjektiv wahrgenommenen Bewertungen (Anstrengung) und objektiven Messungen der Muskelermüdung über EMG nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu objektiven Messungen der Muskelermüdung, welche sich beispielsweise durch eine Abnahme der Kraft oder Veränderungen in der Elektromyographie äußern, bieten subjektive Bewertungen der Anstrengung eine kostengünstige, einfache und nicht-invasive Schätzung der Muskelermüdung (Büsch et al., 2022). Trotz bestehender moderater bis starker Korrelationen zwischen RPE und objektiven Messungen der Muskelermüdung zur Erfassung der muskulären Ermüdung der Rückenmuskulatur bei gesunden Proband*innen (Waongenngarm et al., 2022), befürworten Frasier et al. (2024) die Verwendung von RPE zur Abschätzung des aktuellen Ermüdungsstatus der Muskulatur bei spezifischen Arbeitsaufgaben der oberen Extremität. Die CR-10-Skala ist ebenfalls ein Instrument zur Erfassung der wahrgenommenen Anstrengung bei der Untersuchung unterschiedlicher Arbeitsbelastungen mit Exoskeletten in der Industrie dar (Hensel & Keil, 2018; Madinei et al., 2020; So et al., 2020; Vries et al., 2021).

Neben den Aspekten der Biomechanik und der Verwendung quantitativer Messinstrumente zur Evaluierung des ergonomischen Hebens und Tragens sowie der muskulären Ermüdung unter der Verwendung von Exoskeletten, spielt auch die Akzeptanz von Exoskeletten eine entscheidende Rolle bei der Integration dieser in Arbeitsabläufe. Im Folgenden werden bekannte Akzeptanzmodelle vorgestellt und die bisherige Forschung zur Akzeptanz von Exoskeletten beschrieben.

2.7 Nutzen und Akzeptanz von Technologien

Die Einführung von technischen Innovationen nimmt in der Pflegeprofession eine tragende Rolle ein (NANDA 2010), die Untersuchung der Akzeptanz neuer Technologien in der Pflege ist hingegen wenig erforscht, und bietet Entwicklungspotenzial. Dethloff (2004) und Quiring (2006) gehen davon aus, dass lediglich jene Technologien, die von Nutzer*innen akzeptiert werden, auch dauerhaft angewandt werden. Eine daraus resultierende Schlussfolgerung könnte demnach sein, Anwender*innen interaktiv in den Prozess des Implementierens von neuer Technik zu involvieren. Quiring (2006) stellt zwei unterschiedliche Perspektiven der

Akzeptanzforschung auf: 1.) Die erklärende Perspektive, in der die Interaktion zwischen Einführung und Auswirkung einer neuen Technologie untersucht wird (Nutzen), und 2) Die gestaltende Perspektive, bei der die Benutzung im Vordergrund steht und Informationen hierzu untersucht werden sollen. Beide Aspekte, Nutzen und Benutzung, stehen auch in den folgenden Abschnitten im Vordergrund. Einleitend wird im ersten Schritt der Begriff der Akzeptanz näher erläutert, folgend Akzeptanzmodelle vorgestellt und abschließend ein Überblick über die Integration von Exoskeletten in der Pflege gegeben.

Definition Akzeptanz und Akzeptanzmodelle

Der Begriff der Akzeptanz wird in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich definiert, gleichzeitig können Synonyme für Akzeptanz wie Annahme, Zustimmung, Anerkennung, Bejahung, Einwilligung oder Billigung genannt werden (Hüsing et al., 2002; Schubert & Klein, 2021). Die sozialwissenschaftliche Akzeptanzforschung stellt die Nutzer*innen-Perspektive in den Fokus und zielt darauf ab, Gründe für die Annahme bzw. Ablehnung einer bestimmten Innovation durch die Nutzer*innen zu erforschen (Manz, 1983). Der Begriff der Akzeptanz wird in Einstellungs-, Verhaltens- und Handlungsakzeptanz unterschieden (Rengelshausen, 2000). Während die Einstellungsakzeptanz durch die affektive (gefühlsmäßige) und kognitive (verstandesmäßige) Bewertung beschrieben wird und das subjektive Empfinden der Nutzer*innen in den Vordergrund stellt, definiert sich die Verhaltens- und Handlungsakzeptanz dadurch, dass die Interaktion der Nutzer*innen mit einer technologischen Innovation im Vordergrund steht (Nistor, 2018; Rengelshausen, 2000).

Schäfer und Keppler (2013) sowie Dockweiler (2016, S.257) beschreiben die Akzeptanz innerhalb einer Personengruppe als vielschichtigen Prozess, der in Wechselwirkung zwischen Akzeptanzsubjekt, Akzeptanzobjekt und dem Akzeptanzkontext steht. Durch eine positive oder negative Wechselwirkung zwischen Subjekt (Akzeptanzsubjekt; hier: Pflegende) und Objekt (Akzeptanzobjekt; hier: Exoskelett) innerhalb der jeweiligen Rahmenbedingungen (Akzeptanzkontext; hier: Labor/Pflegeeinrichtung) folgt die Annahme oder Ablehnung. Um Technik langfristig erfolgreich in die Versorgungspraxis zu implementieren, ist eine Nutzer*innen-Perspektive unter Berücksichtigung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen der

drei Wirkorte aus Akzeptanzobjekt, Akzeptanzsubjekt und Akzeptanzkontext der Technikakzeptanz erforderlich (ebd.) und setzt in der vorliegenden Arbeit bei der Stufe 1 (Einstellungsakzeptanz) und 2 (Entscheidungsakzeptanz) nach Dockweiler (2016) an. Dockweiler (2016) beschreibt ein dreistufiges Akzeptanzmodell:

- Stufe 1: Einstellungsakzeptanz (Phase vor der tatsächlichen Nutzung),
- Stufe 2: Handlungsakzeptanz (Phase der Entscheidungsfindung) und
- Stufe 3: Nutzungsakzeptanz (Phase der tatsächlichen Nutzung).

Input-Modelle beschreiben wie z.B. das „Technology Acceptance Model“ (TAM) die Einflussfaktoren der Akzeptanz, weniger die Darstellung des Einwirkens der Einflussfaktoren auf die Akzeptanz. Im Folgenden Abschnitt wird das Input-Modell anhand des TAM von Davis (1989) und der Weiterentwicklung von Venkatesh und Bala (2008) näher betrachtet.

Technologieakzeptanzmodell

Die Modelle von Davis (1989) und Venkatesh und Bala (2008) entziehen sich einer direkten Messung (Jokisch, 2009, S.240), die Operationalisierung der Konstrukte wurde durch die Erstellung des Interviewleitfadens (s. Kapitel 6.1) und die Auswertung (s. Kapitel 6.4) der Interviews messbar gemacht.

Das aus der Wirtschaftsinformatik stammende „Technology Acceptance Model“ (TAM) von Davis (1989) basiert auf der Annahme, dass die Nutzung von Technologien von zwei Variablen abhängt: dem wahrgenommenen Nutzen und der wahrgenommenen Benutzer*innen-Freundlichkeit, die zusammen die Nutzungsintention und das Nutzungsverhalten beeinflussen (Abbildung 7) Der wahrgenommene Nutzen wird durch die subjektive Bewertung der Technologie in Bezug auf die Arbeitserleichterung definiert.

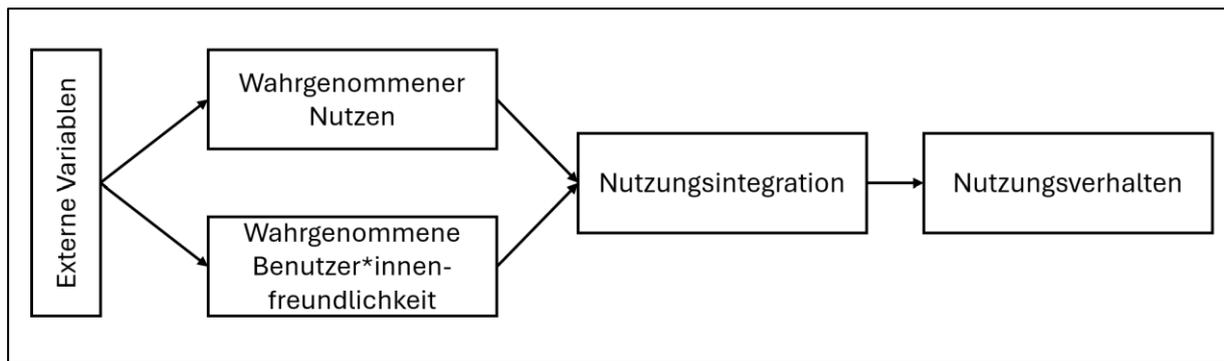


Abbildung 7: Technology Acceptance Model in Anlehnung an Davis (1989, S. 24)

Venkatesh et al. (2003) identifizieren in einer Weiterentwicklung des TAM I weitere Variablen, die die Technologieakzeptanz beeinflussen. Die darauf aufbauende Erweiterung (TAM II) beinhaltet nun eine spezifischere Definition der externen Variablen, die auf den Nutzen und die Benutzer*innen-Freundlichkeit einwirken. Dazu gehören u.a. das Image des Systems, subjektive Normen, die Freiwilligkeit der Systemnutzung und die Relevanz des Systems für die eigene Arbeit (hier im Vergleich zu bestehenden Hebehilfen in der Pflege), die Ergebnisqualität und die Wahrnehmbarkeit der Ergebnisse (z.B. reduzierte körperliche Anstrengung). Weitere sechs Variablen wurden in der letzten Erweiterung in das TAM III integriert (Venkatesh & Bala, 2008). Die Weiterentwicklung des Modells konzentriert sich nicht mehr nur auf das „Wie“ und „Warum“, sondern zeigt weitere direkte Einflussfaktoren auf, die die Akzeptanz beeinflussen können. In Abbildung 8 wird die Entwicklung der Modelle mit den zusätzlichen sechs Faktoren: Selbstvertrauen bei der Nutzung, die wahrgenommene externe Kontrolle, spielerischer Umgang mit dem System, die wahrgenommene Leichtigkeit bei der Nutzung, die Systemangst und die Bedienbarkeit des Systems, abgebildet (Venkatesh & Bala, 2008).

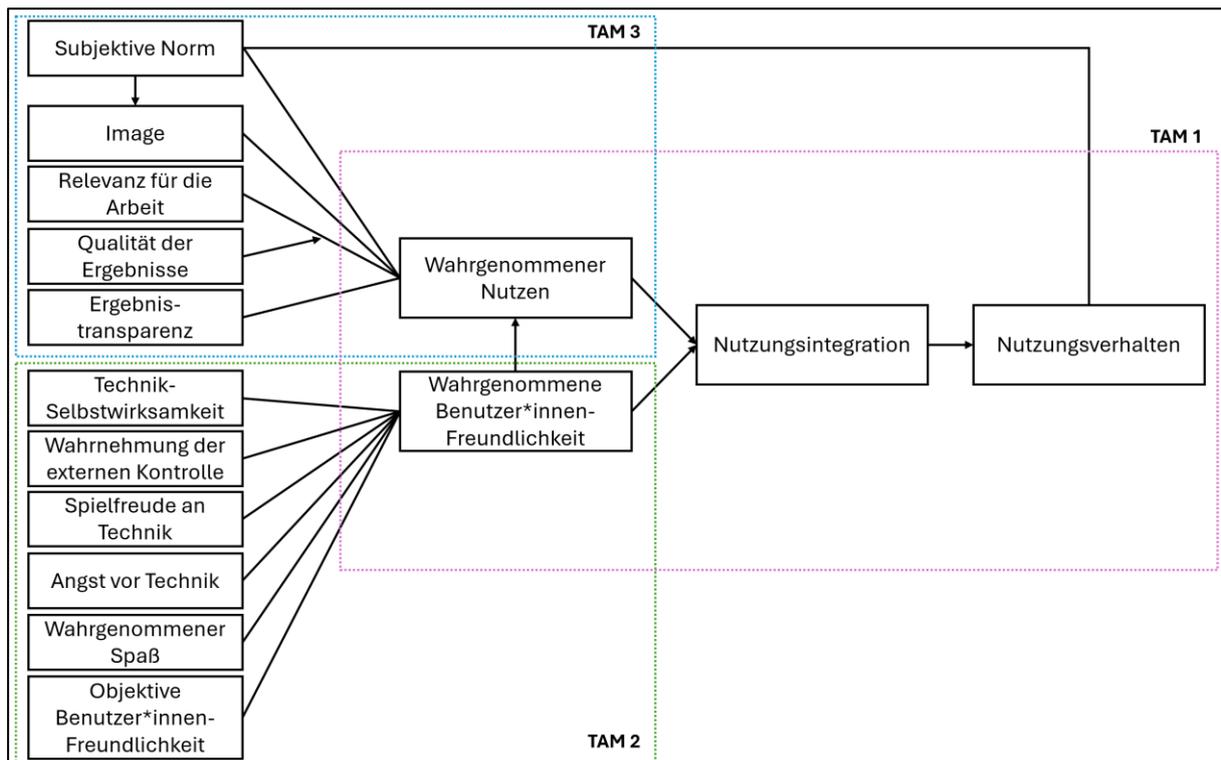


Abbildung 8: TAM I, II und III - in Anlehnung an Davis (1989), Venkatesh et al. (2003) und Venkatesh & Bala (2008)

Neben dem TAM III dient die „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (UAUT) als theoretisches Konstrukt für den Interviewleitfaden und hat weitere ergänzende Determinanten, die die Verhaltensabsichten der Nutzer*innen beeinflussen können (Venkatesh et al., 2003). Die Theorie integriert Faktoren aus dem TAM-Modell und erweitert dieses um vier weitere Faktoren: Leistungserwartungen der Nutzer*innen an das System (1) (hier: Erwartungen der Pflegenden an das Exoskelett), Aufwandserwartungen der Nutzer*innen bezüglich der Praktikabilität (2) (hier: praktischer Einsatz des Exoskeletts in der Versorgung von Gepflegten) sowie Variablen der Rahmenbedingungen der Organisation (3) (hier: Pflegeeinrichtungen) und soziale Einflüsse (4) (hier: Geschlecht, Arbeitserfahrung, Alter). Die Variablen wie das Geschlecht, Alter, Erfahrung und die Freiwilligkeit der Nutzung beschreiben und beeinflussen diese vier Variablen (Venkatesh et al., 2003) und wurden ebenfalls erhoben (s. Kapitel 3.3 Beschreibung der Stichprobe), allerdings nicht weiter in der Auswertung betrachtet. Die vorgestellten Modelle bilden das Fundament der Forschungsfragen und für den Übertrag, welche bisherigen Erkenntnisse in der pflegerischen Versorgung mit der Integration von rückenunterstützenden Exoskeletten vorliegen. Hierzu bildet der folgende Abschnitt einen kurzen Überblick.

Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege

Laut Interviews mit Pflegefachkräften von Zöllick et al. (2020b, S. 216) sehen diese den Einsatz von Technik zur körperlichen Unterstützung als Entlastung in ihrer pflegerischen Arbeit. Andere robotische Systeme, die soziale und emotionale Unterstützung bieten sollen, werden weniger akzeptiert und als keine Hilfe und Unterstützung im Pflegealltag verstanden (ebd.). Merda et al. (2017, 135 f.) bestätigen in einer schriftlichen Befragung von 576 Pfleger*innen die positive Einstellung gegenüber technischen Assistenzsystemen. Der Fragebogen erfasste die Benutzer*innen-Freundlichkeit und den Einsatzort (ambulante Pflege, stationäre Altenpflege und Krankenhaus) von technischen Assistenzsystemen, spezifizierte allerdings nicht den Einsatz der körperlichen, technischen Assistenz, sodass keine Rückschlüsse auf den möglichen Nutzen und die Praktikabilität von Exoskeletten oder anderen speziellen technischen Hilfsgeräten in der Pflege gezogen werden können.

Argubi-Wollesen und Wollesen (2023, S. 106) und Fosch-Villaronga und Özcan (2020, S. 959) sprechen den Bedarf an Akzeptanzforschung für rückenunterstützende Exoskelette in der Pflege an, sowohl auf Seiten der Pflegenden als auch der Gepflegten an und weisen auf die Notwendigkeit von nutzer*innengetriebener Entwicklungen hin, um den Entwicklungsprozess und die spezifischen Anforderungen an ein Exoskelett im Pflegealltag zu gestalten und zu erfassen. Die spezifischen Anforderungen von rückenunterstützenden Exoskeletten in der Pflege werden durch spezifische hygienische Richtlinien und Sicherheitsaspekte in Bezug auf die Pflegenden und Gepflegten (u.a. keine scharfen Kanten) bei der Handhabung von Gepflegten relevant (Rayssiguie & Erden, 2022). Vallée (2024) sieht in der Untersuchung der Benutzer*innen-Freundlichkeit und Akzeptanz von Exoskeletten bei Pflegenden großen Forschungsbedarf und zeigt in seiner Übersichtsarbeit unterschiedliche Faktoren auf, um zum Beispiel die Praxistauglichkeit und Integration in die tägliche Praxis sicherzustellen. Potenzielle Chancen und Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Exoskeletten von Pflegekräften stellen u.a. auch Aspekte der Benutzer*innen-Freundlichkeit dar. Weitere beeinflussende Faktoren können laut Vallée (2024, S.4) folgende sein:

- Komfort des Exoskeletts
- der Kompatibilität mit Aufgaben und Arbeitsabläufen in der Pflege

- die Benutzer*innen-Erfahrung und Schulung
- Nutzer*innen-zentrierter Designansatz
- Langfristige Auswirkungen auf die Work-Life-Balance
- Reduzierte arbeitsbezogene Verletzung
- Einfluss auf die Versorgung von Gepflegten

Die von Vallée (2024), Rayssiguie und Erden (2022) und Argubi-Wollesen und Wollesen (2023) aufgezeigten spezifischen Anforderung für rückenunterstützende Exoskelette zeigen den spezifischen Forschungsbedarf im Feld der Pflege auf. Zum anderen kann ein spezifisches Design dazu führen, den Anforderungen der Tätigkeiten und somit auch die Akzeptanz und den Nutzen zu erhöhen.

Nachdem der theoretische Hintergrund zur Arbeitsbelastung von Pflegekräften, der Prävention von Rückenschmerzen und der Messinstrumente von muskulären Belastungen aufgezeigt wurde sowie ein Überblick über Akzeptanzmodelle und den Forschungsbedarf zur Untersuchung der akzeptanzbezogenen Aspekte von Exoskeletten in der Pflege dargelegt wurde, erfolgt nun die Einordnung des theoretischen Hintergrunds in die Beschreibung des Studiendesigns und das methodische Vorgehen, um die Forschungsfragen zu beantworten.

3 Mixed-Methods Forschungsdesign

Die Studie wurde auf die Ausrichtung des thematischen Schwerpunkts auf den quantitativen Teil gelegt und stellt eine experimentelle Querschnittsstudie dar, in dem primär der Einfluss des Tragens eines passiven Exoskeletts auf den unteren Rücken auf physiologische, biomechanische und subjektive Ergebnisse untersucht wurde. Die direkt im Anschluss erfolgte qualitative Erhebung mittels leitfadengestützter Interviews diente der Erkenntniserweiterung und sollte die quantitativen Ergebnisse komplementieren. Die detaillierte Darstellung des methodischen Vorgehens, sowohl des quantitativen als auch qualitativen Teils werden in den jeweiligen Kapiteln (5 und 6) separat voneinander vorgestellt.

3.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine Mixed-Methods-Studie, bei der primär quantitative und sekundär qualitative Daten erhoben wurden. Im Forschungskontext eines Mixed-Methods-Designs werden quantitative mit qualitativen

Daten kombiniert und miteinander verknüpft, in der vorliegenden Studie wurde ein paralleles, eingebettetes („embedded“) Mixed-Methods-Design gewählt (QUAN->qual) (Creswell & Clark, 2010, S. 10; Greene et al., 1989, S. 271). Die primären Forschungsdaten (quantitative Methode) sollen durch sekundäre Forschungsdaten der leitfadengestützten Interviews (qualitative Methode) komplementiert werden und dienen zum einen der Erweiterung der Erkenntnisse (Greene & Caracelli, 1997, S. 14) in Bezug auf die Aspekte der Akzeptanz und Implementierung von Exoskeletten in der Pflege. Zum anderen dienen sie der Ergänzung (Greene et al., 1989, S. 271f.) der Ergebnisse in Bezug auf den physischen Nutzen.

Die Ergebnisse werden getrennt voneinander dargestellt, analysiert und diskutiert (Kapitel 5 und 6) und in Kapitel 7 übergeordnet in einer gemeinsamen Schlussfolgerung aus der Integration der beiden Teilstudien, auch Meta-Interferenz genannt (Teddlie & Tashakkori, 2009, S. 152), zu einem Fazit zusammengeführt und in einem „Joint Display“ dargestellt (Creswell & Clark, 2010; Guetterman et al., 2015). Das „Joint Display“ wurde nach 14 Kriterien von Fetters und Guetterman (2021, S. 260) erstellt. Bazeley (2018, S. 69f.) schlägt für die Zusammenführung und Schlussfolgerung der quantitativen und qualitativen Daten vor, immer wieder auf die ursprüngliche Fragestellung und Daten zurückzuführen und die Ergebnisse der Teilstudien integriert darzustellen. Die Frage nach den Gütekriterien beantwortet Bazeley (2018) mit einem logischen und für die Forschenden nachvollziehbaren methodischen Vorgehen, ohne eindeutige Kriterien vorzugeben.

Die Grundlage bildet die explorative Datenerhebung mit der experimentellen Querschnittsstudie, bei der die Muskelaktivität, das subjektive Belastungsempfinden und der Hüftflexionswinkel als erstes erhoben wurden. Die Erweiterung der Erkenntnisse durch die direkt im Anschluss stattgefundenen leitfadengestützten Interviews besteht darin, dass bisher wenig Erkenntnisse (s. theoretischer Hintergrund Kapitel 2.7) über den physischen Nutzen, die Akzeptanz und die Implementierung von Exoskeletten in der Pflege vorliegen. Vor diesem Hintergrund verfolgte die Forscherin die Idee, Exoskelette nicht nur anhand quantitativer Parameter für Pflegende zu erheben und zu bewerten, sondern gleichzeitig zu untersuchen, inwieweit Pflegende im Allgemeinen Exoskelette akzeptieren würden, um unterschiedliche Perspektiven zur Beantwortung der Forschungsfragen zu berücksichtigen (Kuckartz, 2017, S. 161). Das methodische Vorgehen wurde vorab im Studienprotokoll (vgl. Anhang 10)

festgehalten und orientierte sich an den SPIRIT- und COREQ-Guidelines zur Berichterstattung von quantitativen und qualitativen Studien (Chan et al., 2013; Tong et al., 2007). Gerade im Hinblick auf die übergeordnete Mixed-Methods Fragestellung zu physischen und akzeptanzbezogenen Aspekten kann ein Methodenmix zur Beschreibung der Implementierung von Exoskeletten durch verschiedene methodische Zugänge untersucht und analysiert werden, um der Komplexität des Themas gerecht zu werden. Die Komplexität des Themas drückt sich unter anderem auch in den verschiedenen Forschungsfragen und Hypothesen aus, die im folgenden Kapitel näher beschrieben werden.

3.2 Erkenntnisinteresse und Forschungsfragen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, gibt es bisher nur wenige Veröffentlichungen zum Thema Exoskelette in der Pflege. Da sich die bisherige Forschung hauptsächlich mit Exoskeletten in der Industrie beschäftigt hat und es sich dabei eher um quantitative als um qualitative Studien handelt, liegt das Erkenntnisinteresse der durchgeführten Studie in Folgendem:

- Exploration biomechanischer Parameter (Muskelaktivität, subjektives Belastungsempfinden, maximaler Hüftbeugewinkel) während des Transfers
- Exploration akzeptanzorientierter Aspekte zur Implementierung von Exoskeletten in der Pflege
- Exploration physischer Aspekte durch die Wahrnehmung der Pflegenden beim Tragen eines Exoskeletts während des Transfers
- Analyse der biomechanischen Parameter, der Wahrnehmung und Erfahrung der Pflegenden beim Tragen des Exoskeletts
- Analyse der akzeptanzbezogenen Aspekte zur Implementierung von Exoskeletten in der Pflege
- Entwurf zur Berücksichtigung verschiedener Aspekte der körperlichen Belastung beim Transfer mit Exoskeletten und Ansätze zur Implementierung von Exoskeletten in der Pflege

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird zunächst eine Analyse der körperlichen Belastung vorgenommen, wobei die Muskelaktivität, der Hüftflexionswinkel sowie das subjektive Belastungsempfinden als Parameter herangezogen werden. Ziel ist es, die Frage zu beantworten, ob Exoskelette einen

Einfluss auf die körperliche Belastung haben. Des Weiteren wird untersucht, ob Pflegende Exoskelette akzeptieren würden und welche Aspekte für eine erfolgreiche Implementierung in die Pflege von entscheidender Bedeutung sind. Die Ziele ermöglichen es zu untersuchen, wie Exoskelette potenziell in der Pflege eingesetzt werden können. Für ein zielgerichtetes Vorgehen wurde entsprechend folgende zentrale Fragestellung für die quantitative Untersuchung formuliert:

F: Gibt es einen Unterschied beim Tragen eines Exoskeletts mit Unterstützung (Exo), mit Exoskelett ohne Unterstützung (Exo-Off) und ohne Exoskelett (Control) beim simulierten Transfer von Pflegekräften zwischen der Muskelaktivität, dem subjektivem Belastungsempfinden und maximalen Hüftbeugewinkel?

Die qualitative Untersuchung zielt darauf ab, das Wissen, um die Implementierung von Exoskeletten, zu erweitern. Dabei stehen die spezifischen Benutzer*innen-Anforderungen sowie akzeptanzbezogene und physische Aspekte für Pflegende im Zentrum der Untersuchung:

F1: Welche physischen Faktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F2 Welcher Akzeptanzfaktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F3: Welche Aspekte werden aus Sicht der Pflegenden erwartet, um Exoskelette in der Pflegepraxis zu implementieren?

Die Ergebnisse der vier Forschungsfragen werden in den Kapiteln 5 und 6 dargestellt, analysiert und diskutiert und in Kapitel 7 in der Mixed-Methods-Studie zu einer Meta-Interferenz der übergeordneten Fragestellung zusammengeführt und beantwortet:

„Wie beeinflusst der Einsatz von Exoskeletten in der Pflege die physische Belastung und Akzeptanz von Pflegekräften, und welche Aspekte sind für eine erfolgreiche Implementierung dieser Technologie in der Praxis entscheidend?“

Im folgenden Kapitel werden das Sampling, die Rekrutierung sowie das ethische und datenschutzrechtliche Vorgehen beschrieben.

3.3 Proband*innen, Ethik und Datenschutz

Die Messungen wurden unter standardisierten Laborbedingungen durchgeführt, die Daten wurden pseudonymisiert aufgezeichnet und gespeichert. Die Speicherung erfolgte auf einem passwort- und zugriffsgeschützten Server der OTH Regensburg, zu denen nur die Forscherin und die Betreuenden Zugriff hatten. Personenbezogene Daten (insb. Namen und Kontaktdaten) wurden nicht mit den erhobenen Daten aus qualitativen und quantitativen Befragungen oder Messdaten gemeinsam in einem Datensatz gespeichert, sondern in einer Schlüsseltabelle der Studien-ID zugeordnet. Personenbezogene Daten dienen einzig zur Kontaktierung der Proband*innen für das Member-Checking vor der Datenauswertung der leitfadengestützten Interviews (s. Kapitel 6.2). Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt (Nummer: 20-2134-101, siehe Anhang 1), im Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS00030006) registriert und basierte auf den Leitlinien der Guten Klinischen Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2019). Die Stichprobengröße wurde a priori (ANOVA: repeated measures, within factors) mit G*Power (Faul et al., 2007) unter der Annahme einer mittleren Effektgröße ($F=0,25$) und einem Alpha-Niveau von 0,05 bei 80% Power ($\beta=0,8$) berechnet. Diese Annahmen führten zu einer Stichprobengröße von 33 Proband*innen. Die Stichprobe ($n=33$) wurde für beide Studien identisch gewählt (Schreier et al., 2023, S. 354), welche sich bei einem parallelen Design (quantitative und qualitative Datenerhebung zum fast gleichen Zeitpunkt) anbietet (Tashakkori et al., 2021).

Es wurden 33 Pflegende (22 Frauen, 11 Männer; Durchschnittsalter $37\pm 12,66$ Jahre) im Zeitraum August bis Dezember 2021 mittels Flyer (s. Anhang 7), E-Mails und direkter Ansprache von Pflegeeinrichtungen und Kliniken rekrutiert. Die Altersverteilung der 20- bis 29-Jährigen beträgt 40% und stellt damit den größten Anteil der Studienpopulation dar, gefolgt von den 30- bis 39-Jährigen mit 33%. Der geringste Anteil (9%) entfällt auf die 40- bis 49-Jährigen und 18% auf die 50- bis 59-Jährigen (Abbildung 9).

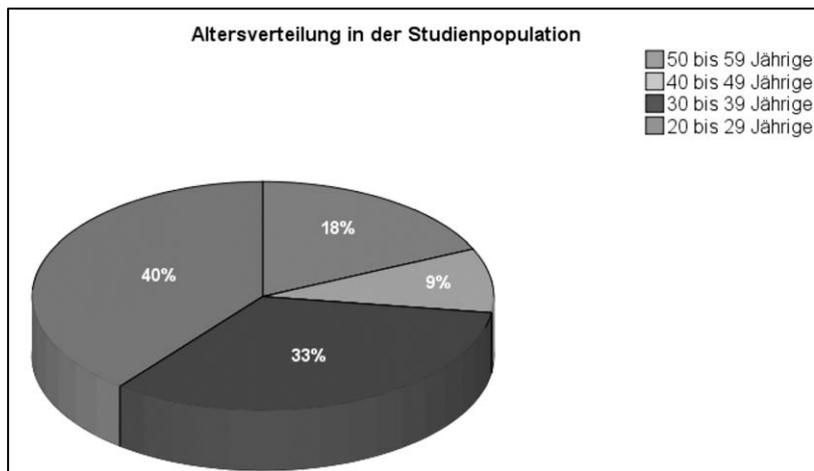


Abbildung 9: Altersverteilung der Studienpopulation

Einschlusskriterien waren: erfahrene Pflegekräfte mit mindestens 3 Jahre Berufserfahrung, eine Körpergröße von 160 bis 190 cm und ein statistisch normales Gewicht (BMI: 18,5 bis 30 kg/m²), keine medizinisch diagnostizierten oder aktuellen unteren Rückenschmerzen und keine neurologischen Symptome oder Erkrankungen. Diese Einschlusskriterien wurden gewählt, um sicherzustellen, dass das Exoskelett ohne gesundheitliche Risiken verwendet wird, dass die Aufgabe ohne gesundheitliche Beeinträchtigungen ausgeführt werden kann und dass das Exoskelett optimal angepasst werden kann. Obwohl bei der Rekrutierung der Stichprobe keine a priori Stratifizierung vorgenommen wurde, repräsentiert die in dieser Studie untersuchte Population (22 weibliche und 11 männliche Pflegefachkräfte) die überwiegend weiblich Berufsgruppe (Bundesagentur für Arbeit, 2023).

Rekrutierung

Für die Rekrutierung der Pflegenden wurden ein Flyer, eine Website (<https://physiotherapie.rchst.de/exoskelettstudie/>) und ein interaktiver Terminkalender erstellt. Mit Hilfe dieser Medien wurden verschiedenste Pflegeeinrichtungen (Krankenhäuser, Verbände, Pflegeheime) zunächst telefonisch und später per E-Mail kontaktiert und die Informationen weitergeleitet.

Die interessierten Proband*innen wurden in einem Telefonat über Art, Zweck und Ablauf der Studie aufgeklärt. Anschließend wurde ein Informationsblatt zum Ablauf der Studie (siehe Anhang 4), eine Anfahrtsbeschreibung und ein Link zum Terminkalender, der vorab mit möglichen Laborterminen synchronisiert wurde, schriftlich per E-Mail zugesandt. Nach der Terminvereinbarung wurde eine

automatische E-Mail zur Bestätigung des Termins generiert und zwei Tage vor dem Termin eine Erinnerungsmail verschickt.

Die teilnehmenden Proband*innen wurden zunächst begrüßt und erhielten zu Beginn der Studie ein Tablet mit verschiedenen Dokumenten zum Ziel der Studie, zum zeitlichen Ablauf, zur Freiwilligkeit der Teilnahme, zur Möglichkeit des folgenlosen Abbruchs, zur Vorgehensweise der Datengenerierung und -speicherung sowie zum Datenschutz. Die Begrüßung der Proband*innen erfolgte standardisiert und schloss mit der Frage nach Unverständlichkeiten und einer darauffolgenden Einwilligungserklärung zur Teilnahme ab (siehe Anhang 2 und 3).

4 Vorversuche zur Validität von markerloser und sensorbasierter Bewegungserfassung

Das folgende Kapitel wurde in einer ähnlichen Form in der Zeitschrift „pt – Zeitschrift für Physiotherapeuten“ von Brandt et al. (2023) veröffentlicht.

Microsoft hat Azure Kinect Kameras mit einem Self-Development-Kit (SDK) für die Körperverfolgung auf den Markt entwickelt, welches auf einem Deep Learning Ansatz und neuronalen Netzwerk basiert. Insgesamt wurde der Prozess seitens einer studentischen Hilfskraft aus dem Fachbereich Informatik begleitet und ein Code auf Basis eines „github-Repository“ entwickelt.

4.1 Material und Methode

Im Rahmen einer Nebenfrage der Doktorarbeit wurde das markerlose Tracking der Hüftgelenksbewegung bei Pflegekräften untersucht. Im Rahmen der Untersuchung wurde eine quantitative Bewertung der Bewegung durchgeführt, um festzustellen, ob ein Unterschied in der Erfassung des Hüftgelenkwinkels durch die markerlose Bewegungserfassung (Microsoft, 2020) im Vergleich zu einem inertialen, marklosen Messsystem (XSens Technologies BV, 2022) festgestellt werden kann.

Zum Einsatz kamen zwei orthogonal zueinander positionierte Kinect-Kameras (frontale (Sub-) und sagittale (Master-) Kamera), deren Bilder unabhängig voneinander ausgewertet wurden, der Messaufbau ist in Abbildung 10 dargestellt. Durch einen initialen Sprung konnten die Motion Capture Systeme der markerlosen nicht-optischen Methode (XSens) mit der markerlosen optischen Methode (Azure Kinect DK) in der Datenverarbeitung zeitlich synchronisiert werden. Die Datenauswertung wurde auf

eine Kamera reduziert und die Bewegung ohne Exoskelett untersucht, um mögliche zusätzliche Bewegungsartefakte durch die Bewegungserfassung der Azure Kinect Kamera zu vermeiden.

Microsoft stellt für das Skelett-Tracking der Azure Kinect ein Body Tracking Self-Development-Kit (SDK) zur Verfügung, das für Windows und Linux sowie die Programmiersprachen C und C++ verfügbar ist. Das SDK ist in der Lage, mehrere Personen mit jeweils 32 Gelenken gleichzeitig zu verfolgen. Im Gegensatz zur Skelettdefinition der früheren Kinect-Generation umfasst die aktuelle Definition mehr Gelenke im Gesicht, wie beispielsweise die Ohren und Augen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde der Fokus auf die Forschungsfrage gelegt, ob sich Unterschiede in der Erfassung der maximalen Hüftbeugung (rechtes (re) bzw. linkes (li) Hüftgelenk) zwischen den beiden Messmethoden (XSens und Kinect-Kamera) feststellen lassen. Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgte auf Basis folgender Hypothesen:

Die Nullhypothese beruht auf der Annahme, dass es keinen Unterschied zwischen den Differenzen der Werte (μ_D) des gemessenen maximalen Hüftgelenkwinkels, der Xsens- und Kinect-Aufnahmen, gibt und kein Effekt existiert:

$$H_0: \mu_D = 0 \quad (\alpha = .05)$$

Die Alternativhypothese hingegen geht von einem Unterschied (Differenz der Werte ist ungleich Null) aus:

$$H_1: \mu_D \neq 0 \quad (\alpha = .05)$$

Insgesamt wurden 198 Daten von 33 Proband*innen mit drei unterschiedlichen Testszenarien, frontaler (sub) und sagittaler (Master) Kamera aufgenommen. Um die Hypothese zu untersuchen, wurden von den 198 Daten 33 Datensätze der Masteraufnahmen bereinigt und ausgewertet. Die Daten der Xsens-Aufnahmen umfassen insgesamt 99 (33 Proband*innen, mit 3 unterschiedlichen Testszenarien), davon wurden äquivalent zu den Kinect-Aufnahmen 33 Datensätze bearbeitet und

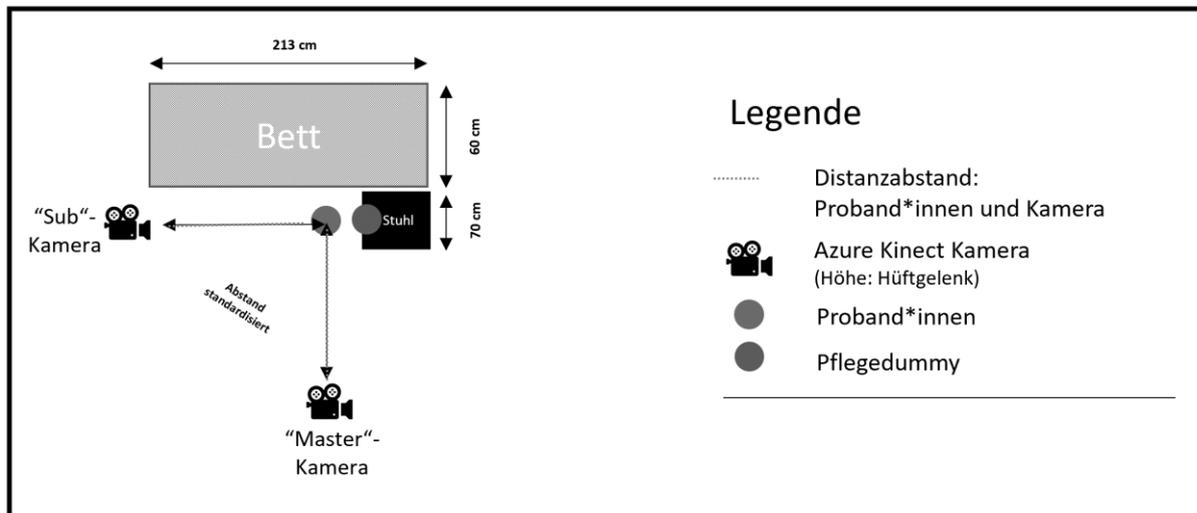


Abbildung 10: orthogonaler Aufbau der Kameras

Datenbereinigung

Da die Azure Kinect Kamera über keine Auswertungssoftware verfügt, mussten die Rohdaten manuell in SPSS (IBM Corp., 2020) durch folgende Schritte bereinigt und gefiltert werden:

- Die Datenstruktur der Kinect Aufnahmen definierte sich über die Variablen: Timestamp, „bodyIndex“ (0=Dummyspuppe) und „bodyIndexCorrected“ (1=Person) und den Hüftgelenkwinkel links(li) und rechts (re).
- Nur die erfassten Daten der Variable „bodyIndexCorrected“ (1) zur weiteren Analyse wurden gefiltert, bereinigt (Software bedingte Datenartefakte wie z.B. Hüftgelenkwinkel über 125°) und weiterverwendet.
- Alle Daten vor dem initialen Sprung wurden gelöscht.
- Software bedingte Datenartefakte (Hüftgelenkwinkel über 125°) wurden gelöscht
- Fehlenden Datenpunkte wurden unter der Annahme eines gleichmäßigen, linearen Bewegungsablaufs mit einer linearen Interpolation ergänzt.
- Aufgrund der unterschiedlichen Hertz (HZ)- Frequenz der beiden Systeme (Kinect 30Hz; XSens 60Hz) wurde eine neue Variable erstellt. Jeder zweite Wert wurde als fehlend angegeben. Anschließend erfolgte eine weitere lineare

Interpolation, so dass die gleiche Datenmenge vorliegt und die Daten vergleichbar sind (Walz, 2020, S. 29).

Um eine falsche Objekterkennung zu vermeiden, in dem die Kamera die Dummy-Puppe als Subjekt erfasst hat und zwischen den eigentlichen Studienteilnehmenden nicht unterscheiden konnte, musste zusätzlich ein grüner Anzug (Abbildung 11) zum Greenscreen Filtern der Dummy-Puppe übergezogen werden.



Abbildung 11: Foto aus Versuch mit grüner Dummpuppe

4.2 Ergebnisse

Zur deskriptiven Beschreibung der Daten wurde zunächst exemplarisch ein Liniendiagramm mit einem Bewegungszyklus des Transfers erstellt. Entsprechend dem Eindruck bei der Bereinigung ist grafisch zu erkennen, dass sich die Datenqualität der Kinect-Kameras stark von den Messdaten der XSens-Aufnahmen unterscheidet (vgl. Abbildung 12).

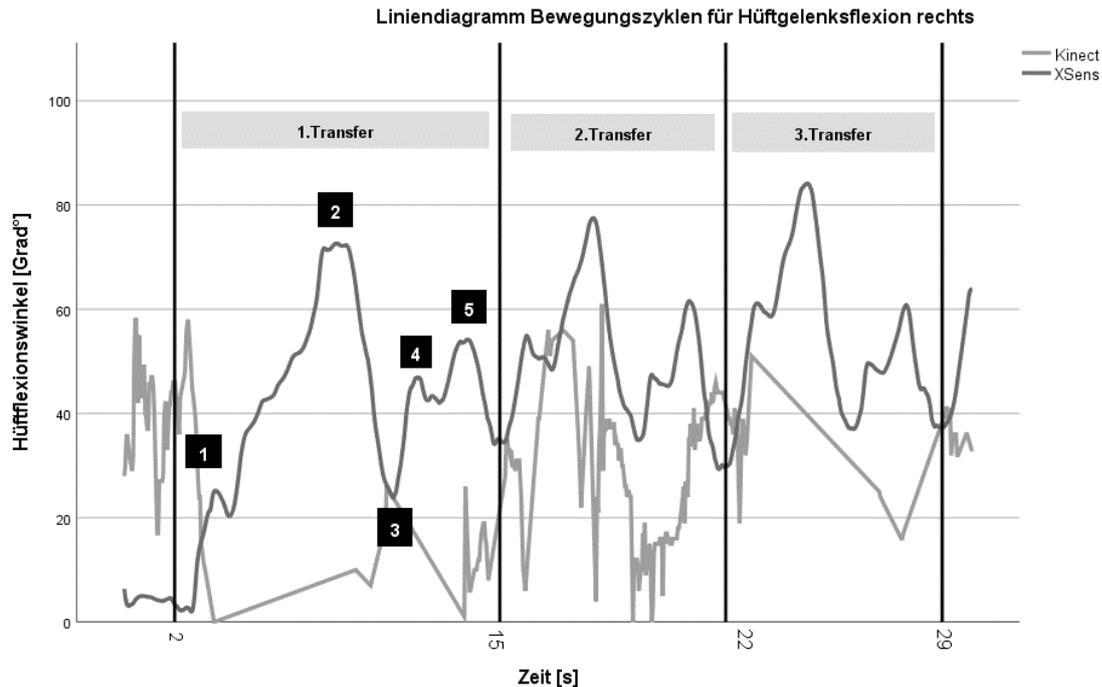


Abbildung 12: ANNN11 Vergleich XSens-Kinect Hüftgelenkwinkel rechts

In der Abbildung 12 ist der Bewegungszyklus der drei Transfers (zeitliche Verlauf in Sekunden [s], X-Achse) und von der Hüftgelenksflexion (Grad [°], Y-Achse) beispielhaft von ANNN11 dargestellt. Die dunkelgraue Linie stellt den Verlauf der XSens-Daten, dar, die schwarzen Linien dienen der Übersichtlichkeit und Trennung eines jeweiligen Transfers, die hellgraue Linie stellt den Bewegungszyklus der Kinect-Daten dar. Der gesamte Bewegungszyklus wird anhand der XSens-Daten exemplarisch erläutert. Der Bewegungsumfang des rechten Hüftgelenks während des Transfers bewegt sich bei ANNN11 zwischen 0° und 84°. Der erste kleine Peak zu Beginn der drei Transfers (1), ist durch die Positionierung der Arme und Beine der Dummpuppe vor dem Transfer zu erklären. Die Maxima der Hüftbeugung während der drei Transfers vom Rollstuhl zum Bett (2) liegen im Mittel bei 78° (1.Transfer = 84°, 2. Transfer = 77°, 3.Transfer = 72°), die darauffolgende Hüftbeugung beim Transfer zum Bett steigert sich pro Wiederholung (1.Transfer = 23°, 2. Transfer = 34°, 3.Transfer = 37°) und liegt im Mittel bei 31°. Die erste Kurve (4) stellt das Absetzen der Dummpuppe auf dem Bett dar (1.Transfer = 46°, 2. Transfer = 47°, 3.Transfer = 49°; $\bar{x}=47^\circ$), der folgende, höhere Ausschlag (5) zeigt das Anheben der Dummpuppe, wobei diese Person sich nicht aufgerichtet hat, sondern in Hüftflexion geblieben ist und sich noch tiefer gebückt hat,

um die Dummpuppe zu heben (1.Transfer = 54°, 2. Transfer = 61°, 3.Transfer = 60°; $\bar{x}=58^\circ$).

Ausgehend von der zentralen Fragestellung, ob ein signifikanter Unterschied ($\alpha=0.05$) in dem Erfassen des maximalen Hüftgelenkwinkels zwischen den Messmethoden XSens und Kinect Kameras existieren, wurden die Bewegungsdaten weiter verdichtet betrachtet.

In der Abbildung 13 ist das durchschnittliche Delta in Grad (°) auf der X-Achse der beiden Messungen mit Kinect und XSens jeweils separat für das linke (blau) und rechte (grün) Hüftgelenk dargestellt. Die Mittelwerte der Abweichung von XSens und Kinect des rechten Hüftgelenks zeigen eine durchschnittliche Abweichung von 16.01° (\bar{x}) mit einer Schwankung um den Mittelwert von $\pm 9.22^\circ$ (Standard Deviation = SD) und des linken Hüftgelenks eine durchschnittliche Abweichung von 11.37° (\bar{x}) und einer SD von $\pm 10.17^\circ$.

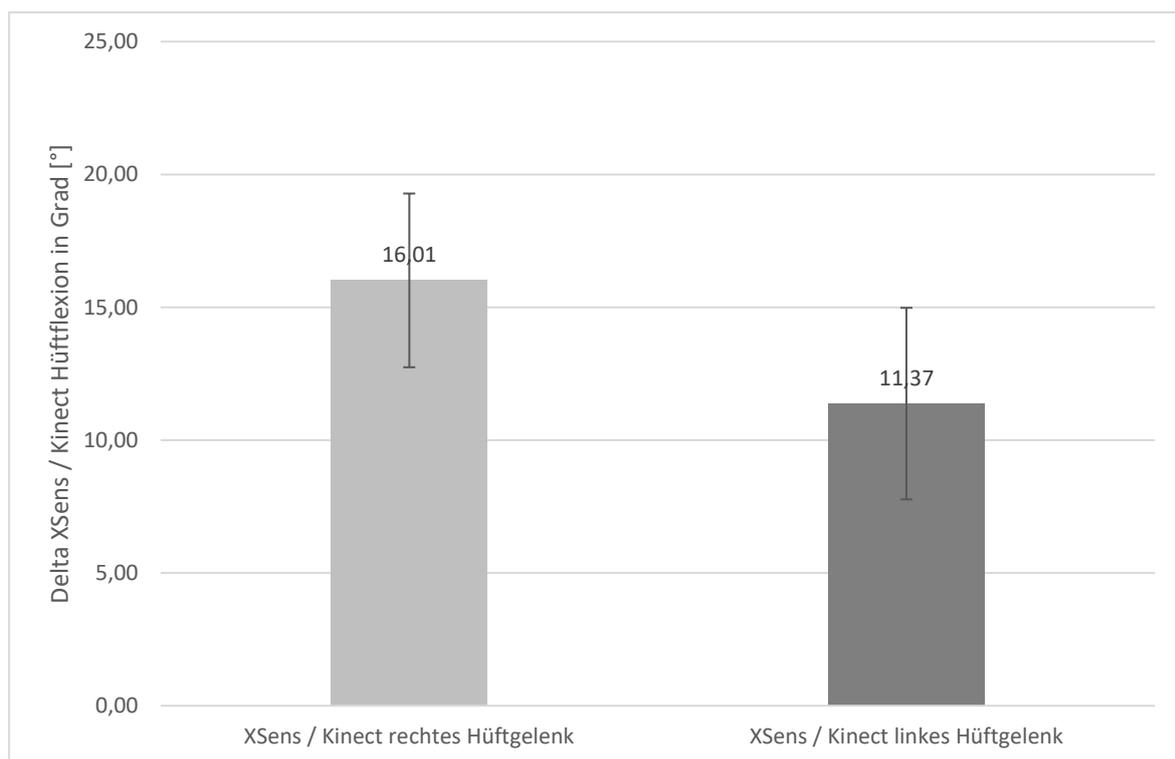


Abbildung 13: Durchschnittliches Delta der maximalen Hüftgelenksflexion von 33 Proband*innen

Wie aus der Tabelle 2 zu entnehmen, unterscheiden sich die Mittelwerte der beiden Variablen XSens rechts ($\bar{x}=52.39$, $SD=14.74$) und Kinect rechts ($\bar{x}=57.92$, $SD=14.10$) im Mittel um 5.53°. Die beiden Variablen XSens links ($\bar{x}=52.62$, $SD=12.67$) und Kinect links ($\bar{x}=53.35$, $SD=16.05$) hingegen zeigen eine geringe Abweichung (0.72°). Die

Standardabweichungen liegen bei beiden Paaren hoch (Paar 1: SD:17.83; Paar 2: SD:15.37) (Tabelle 3). Um die Bedeutsamkeit der Ergebnisse des Mittelwertunterschieds zu beurteilen, wurden die Effektstärken nach Cohen (1992, S.157) berechnet. Die Effektstärke liegt bei $r = 0.3$ (Paar 1; XK re) und $r = 0.05$ (Paar 2; XK li) und entspricht damit einem mittleren und kleinen Effekt. Die Bewertung der Effektstärke nach den allgemeinen Konventionen von Cohen dient lediglich als Orientierung und gibt einen ersten Anhaltspunkt. Andere Studien (Albert et al., 2020; Andreas Elm, 2014; Ma et al., 2020; Ryselis et al., 2020) mit ähnlichen Fragestellungen zur Validierung von Motion Capture Verfahren, stellen lediglich die Ergebnisse ohne die Darlegung von Effektberechnungen dar.

	\bar{x}	SD	SEM
<i>Max. Hüftflexion XSens rechts</i>	52.39	14.74	2.56
<i>Max. Hüftflexion Kinect rechts</i>	57.92	14.10	2.45
<i>Max. Hüftflexion XSens links</i>	52.62	12.67	2.20
<i>Max. Hüftflexion Kinect links</i>	53.35	16.05	2.79

Tabelle 2: Ergebnisse des t-Tests für den Vergleich XSens-Kinect max. Hüftgelenkwinkel

Bei der Auswertung der 33 Proband*innen zeigt der zeitsynchrone Vergleich der maximalen Hüftbeugungen (rechts/links) der beiden Messmethoden (Xsens/Kinect) kein signifikantes Ergebnis (Paar 1: $t = -1.78$, $p > 0.05$; Paar 2: $t = -.27$, $p > 0.05$). Anhand des durchgeführten t-Test für abhängige Stichproben (Tabelle 3) muss, aufgrund des statistischen Ergebnisses ($p > 0.05$ für Paar 1, Paar 2), die H_0 -Hypothese angenommen werden und die Alternativhypothese ($H_1: \mu_D \neq 0$ ($\alpha = .05$)) verworfen werden.

	Differenz \bar{x}	SD	SEM	95%-CI untere	95%-CI obere	T	d	p
<i>Paar 1: Max. Hüftflexion XSens/Kinect rechts</i>	- 5.53	17.83	3.10	-11.85	0.79	-1.78	0.3	0.084
<i>Paar 2: Max. Hüftflexion XSens/Kinect links</i>	-0.72	15.37	2.68	-6.17	4.73	-0.27	0.05	0.789

*Signifikanz-Niveau, p-Wert ($\alpha \leq 0.05$); λ großer Effekt ($d \geq 0.8$); μ mittlerer Effekt ($d \geq 0.5$); σ kleiner Effekt ($d \geq 0.2$).

Tabelle 3: Ergebnisse des t-Tests für den Vergleich XSens-Kinect max. Hüftgelenkwinkel

Bei der Betrachtung der Tabelle 3 fällt die bereits beschriebene Variabilität durch die großen Konfidenzintervalle (95 % CI oben/unten) der gemessenen Hüftgelenkwinkel auf. Diese Variabilität soll durch eine Darstellung im Bland-Altman-Plot jeweils für das linke und rechte Hüftgelenk nochmals verdeutlicht werden:

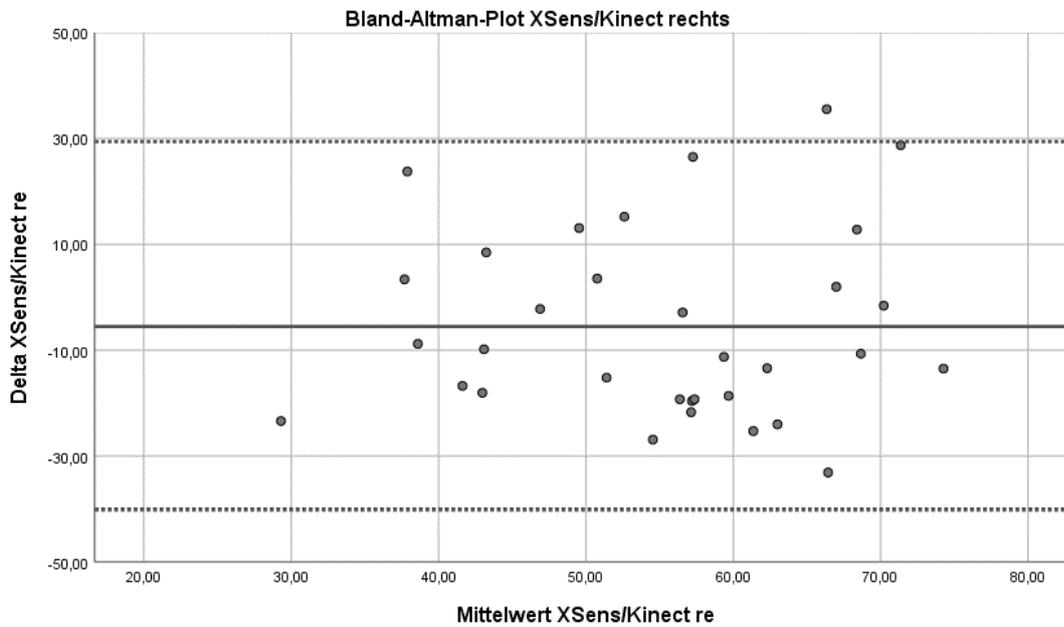


Abbildung 14: Bland-Altman-Plot Messwerte XSens/Kinect rechtes Hüftgelenk

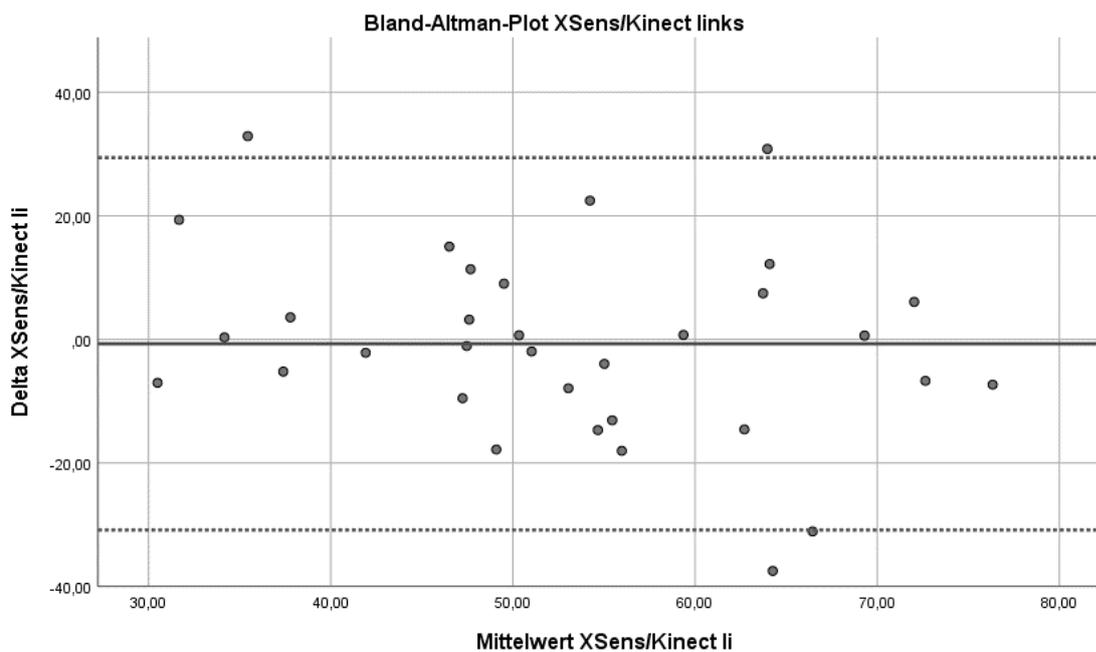


Abbildung 15: Bland-Altman-Plot Messwerte XSens/Kinect linkes Hüftgelenk

Auf der y-Achse der Abbildung 14 und Abbildung 15 sind die Differenzen (Delta) der Einzelmessungen der Xsens und Kinect Daten dargestellt. Auf der x-Achse ist der Mittelwert der Einzelmessungen aufgetragen. Die dunkelgraue Linie zeigt den Mittelwert der Differenzen bei XK li (-5.53) und XK re (-0.72), der Mittelwertsunterschied entspricht dem systematischen Fehler und steht für einen tolerablen Messbereich, welcher sich durch die (+/-) Standardabweichung der Differenz (re: 17.83; li: 15.37), addiert mit dem Mittelwert der Differenz (re: -5.53; li: -0.72) und multipliziert mit 1.96 (unter Prüfung der Normalverteilung) ergibt. Die gestrichelten Linien bilden das 95%-Konfidenzintervall und beschreibt den zufälligen Fehler, dabei ergibt sich für XK re der Schwankungsbereich zwischen 29.41 $(-5.53 + 17.83 * 1.96)$ und $-40.48 (-5.53 - 17.83 * 1.96)$ und für XK li der Schwankungsbereich $29.40 (-0.72 + 15.37 * 1.96)$ und $-30.85 (-0.72 - 15.37 * 1.96)$.

Die Darstellung für das rechte Hüftgelenk des Messsystems Xsens/Kinect zeigt im Vergleich zum linken Hüftgelenk des Messsystems Xsens/Kinect mehr Abweichungen außerhalb des 95%-Konfidenzintervalls. Insgesamt ist die Streuung bei beiden Vergleichen sehr groß, auch die Differenz des Mittelwertes zum „wahren“ Wert zeigt Abweichungen.

4.3 Diskussion

In dieser Studie wurde die Azure-Kinect Kamera bei der Schätzung menschlicher Körperhaltung während des Transfers Bett-Rollstuhl untersucht und mit zeitlich synchronisierten Messdaten des Motion-Capture-Systems von XSens verglichen. Gegenstand der Bewertung war die Übereinstimmung des rechten und linken maximalen Hüftgelenkwinkels.

Bei der Erfassung des maximalen Hüftbeugungswinkels können sowohl Über- als auch Unterschätzungen des Gelenkwinkels festgestellt werden. Sofern die Daten der maximalen Hüftbeugung im Detail betrachtet werden, so bestätigt sich die Vermutung, dass klinisch relevante Unterschiede vorliegen. Mit Standardabweichungen beider Messmethoden von XSens/Kinect re $\pm 17,83$ und XSens/Kinect li $\pm 15,37$ (Tabelle 3) sind die Abweichungen groß und die Stichprobengröße relativ klein ($n=33$). Dies steht zunächst im Widerspruch zu den Teststatistiken mit der Bestätigung der H_0 -Hypothese und der damit verbundenen Aussage, dass kein Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Messmethoden besteht.

m Vergleich zu den festgestellten kleinen und mittleren Effekten und anderen Autor*innen (Robert-Lachaine et al., 2020) scheint jedoch nur eine Abweichung von $\pm 5^\circ$ als Schwankungsbereich der Messungen von Gelenkwinkeln des menschlichen Körpers mit optischen Messsystemen für Bewegungsanalyseysteme akzeptabel zu sein, während Ito et al. (2022) eine solche Abweichung von $\pm 5^\circ$ als nicht trivial beschreiben und die Validität des Kniegelenkwinkels eines markerlosen Systems im Vergleich zu einem markerbasierten System untersuchten. Die Autor*innen stellten fest, dass der Algorithmus für maschinelles Lernen die konsistenteste Perspektive auf das Gelenkzentrum beim Kniegelenk erhält (ebd.).

Zur eindeutigen Beantwortung der Forschungsfrage sind weitere Untersuchungen, auch im intraindividuellen Vergleich, und eine größere Stichprobe zur Minimierung der Streuungen notwendig.

Übertrag in die praktische Anwendung

Das experimentelle Design der hier vorgestellten Azure Kinect-Validierungsstudie bietet viele Vorteile, die sich auf ein reales Szenario in der Pflege übertragen lassen. Die beiden Kinect-Kameras erfordern keine zeitaufwändige Platzierung von Markern oder Sensoren und kein spezielles Fachwissen zur Platzierung von Markern. Beispielsweise könnten ambulante oder stationäre Pflegeeinrichtungen in abgelegenen ländlichen Gebieten diese Art von Kameras platzieren, um eine digitale ergonomische Beratung zu erhalten oder um Forschern die Datenerhebung zu erleichtern, ohne dass für jeden Einsatz zusätzliches Personal anreisen muss. Neben dem hier skizzierten konkreten Anwendungsfall könnten solche Kameras auch in anderen Umgebungen eingesetzt werden, in denen der Einsatz von aufwendigeren und meist teuren Motion-Capture-Systemen, z.B. 3D-Mehrkamerasystemen wie Vicon oder IMU-basierter Bewegungserfassung über z.B. XSens, räumlich oder monetär nicht möglich ist. Dazu gehören u.a. die ambulante Physiotherapie, Rehabilitationskliniken, Fitnesscenter oder Feldtests in der Forschung.

Zukünftige Forschung

Ziel sollte es sein, diese Messergebnisse nicht als Zufallsprodukt zu betrachten, sondern als Anregung, einen Standard für die Genauigkeit der Bewegungserfassung des Hüftgelenks mit Kinect-Kameras zu generieren und als Anlass zu nehmen, das neuronale Netz zur Bewegungserkennung zu verbessern und weiter zu erforschen.

Aufgrund der hier dargestellten Unterschiede und der ungenauen Schätzung des Gelenkwinkels, insbesondere bei den Kinect-Kameras, sollten vortrainierte neuronale Netze verbessert werden, um eine genauere Schätzung vornehmen zu können. Zukünftige Studien sollten daher mehrere Codes (neuronale Netze) zur Unterstützung der Bewegungserfassung kombinieren und die Ergebnisse miteinander vergleichen. Zum jetzigen Zeitpunkt war jedoch eine Pilotvalidierungsstudie erforderlich, um die Qualität der Körperverfolgung mit den Xsens-Sensoren im Bewegungsmuster des Transfers zu vergleichen und zu bewerten. Mit verbesserten Skelett-Tracking-Algorithmen stellen andere Autor*innen bereits das Potenzial dieser kostengünstigen Variante der Bewegungserfassung mit Hilfe von künstlicher Intelligenz dar (Bashirov et al., 2021; Puchert & Ropinski, 2021).

Limitationen

Die größeren Abweichungen können u.a. durch Ungenauigkeiten bei der Schätzung der Körperpositionen bei Weichteilbedeckung - sogenannte Weichteilartefakte - erklärt werden. Die Analyse und Bewertung der Ungenauigkeit der Datenerfassung bei Körperverdeckung deckt sich mit den Daten von Kim et al. (2020, S. 7), die das Hinknien und Aufstehen mit Xsens und Kinect Daten verglichen und auf Unterschiede in den Kniegelenkwinkeln untersucht haben. Die Autor*innen stellen in ihren Ergebnissen ähnliche Beobachtungen fest und weisen Unterschiede innerhalb der Bewegungsdaten nach, sofern es zu Körperverdeckungen kam. Neben dem Bias der Weichteilverdeckung generiert die Kinect-Kamera keine exakte anatomische Position der Gelenke und kann daher die Bewegungspositionen der Gelenke noch nicht exakt und zuverlässig bestimmen.

Ein weiterer kritischer Aspekt betrifft die lineare Interpolation der fehlenden Datenpunkte, die durch das „Nichterkennen“ der Kinect-Kamera entstanden sind. Durch die lineare Interpolation wurden künstlich Datenpunkte erzeugt, die in dieser Form von der Kamera nicht erfasst wurden und keinen Bezug zum realen Bild der gemessenen Proband*innen haben. Es handelt sich hierbei lediglich um eine Annäherung an die Bewegungsdaten der Proband*innen.

5 Evaluation der Muskelaktivität des unteren Rückens, der Hüftgelenksflexion und des subjektiven Belastungsempfindens

Im Hinblick auf die Untersuchung der körperlichen Belastung wurden die Ergebnismessungen mittels sEMG, subjektivem Belastungsempfinden und Bewegungsanalyse genutzt, um die Belastung der Lendenwirbelsäule von Pflegekräften und deren Wahrnehmung mit und ohne Exoskelett zu untersuchen. Gerade im Bereich der Pflege kann die Untersuchung spezifischer Arbeitsplatzsituationen und der dabei auftretenden körperlichen Belastungen zur (Weiter-)Entwicklung von Hilfsmitteln am Arbeitsplatz beitragen oder ein Bewusstsein für ergonomischere Bewegungsabläufe oder/und veränderte Umgebungsbedingungen im Sinne der Prävention schaffen.

In der folgenden Ergebnisdarstellung liegt der Fokus auf der Beschreibung der Unterschiede in den primären und sekundären Outcomes aus den Messungen der Muskelaktivität, der Hüftflexion und des subjektiven Belastungsempfindens mit Exoskelett mit Unterstützung (Exo), mit Exoskelett ohne Unterstützung (Exo-Off), ohne Exoskelett (Control).

5.1 Experimentelles Vorgehen, Datenerhebung und -auswertung

Jede Versuchsperson nahm an einem einzigen Tag an den Experimenten teil, die etwa 4 Stunden dauerten. Die Verfahren umfassten den simulierten Patient*innen-Transfer unter drei Versuchsbedingungen (Exo, Exo-Off, Control). Die drei Versuchsbedingungen wurden gewählt um den Einfluss des Exoskeletts allein auf die Körperhaltung und Muskelaktivität ohne eine Unterstützung (Exo-Off), im Vergleich zur Unterstützung mit Hilfe des Exoskeletts (Exo) und einer natürlichen Bewegung ohne Hilfsmittel (Control) zu untersuchen.

Das Exoskelett wurde individuell angepasst und eingestellt, und die Versuchspersonen hatten 10 Minuten Zeit, sich mit den Bewegungen (Oberkörper nach vorne lehnen) mit und ohne Unterstützung des Exoskeletts vertraut zu machen. Danach wurde das Exoskelett abgelegt und die Versuchspersonen wurden in die simulierte Patient*innen-Transferaufgabe eingeführt. Vor der Durchführung des Experiments wurden die Versuchspersonen gebeten, die Transferaufgabe zu üben. Während des Übens erhielten die Proband*innen gegebenenfalls verbale Anweisungen, um einen ergonomischen Hebestil anzuwenden (Ammann, 2013). Diese kurze Ergonomie

Schulung sollte zu einer rückschonenden Körperhaltung beitragen und die Versuchsbedingungen vergleichbarer machen.

Die Transferaufgabe wurde in drei Sätzen zu je drei Wiederholungen mit fünfminütigen Pausen zwischen den jeweiligen Testbedingungen (Exo, Exo-Off, Control) durchgeführt. Die Aufgabe bestand aus vier Bewegungen: (1) Greifen des Dummys (45 kg) aus einer Stuhlhöhe (45 cm) mit Hüft- und Kniebeugung aus einer aufrechten Oberkörperposition; (2) Anheben des Dummys unter Aufrichtung des Oberkörpers und Drehung des gesamten Körpers um 90° nach links; (3) Absetzen des Dummys; (4) Wiederaufnehmen des Dummys ohne Unterbrechung; (5) Transfer zurück auf den Stuhl unter Drehung des gesamten Körpers um 90° nach rechts; (6) Absetzen des Dummys mit Hüft- und Kniebeugung. Die Proband*innen durften die Bewegungen in ihrer individuellen Geschwindigkeit ausführen. Der experimentelle Ablauf bei der Durchführung der Messungen ist in Abbildung 16 dargestellt.

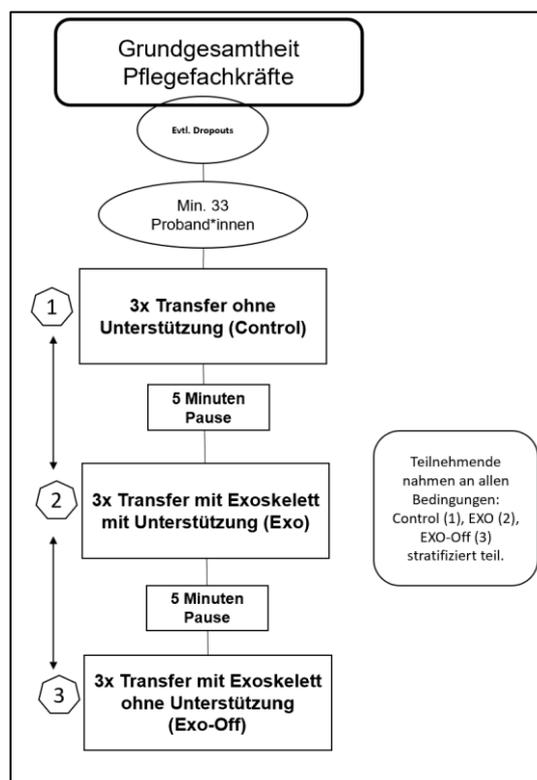


Abbildung 16: Durchführung der Messungen in einer möglichen von sechs möglichen Szenarien

Dummy

Der Dummy (Rescue Randy, HELPI, Zirndorf, Deutschland) war einer realen, schlanken weiblichen Person nachempfunden, hatte eine Größe von 167 cm und ein Gesamtgewicht von 45 kg (Nettogewicht von 25 kg). Der Dummy war mit einem T-

Shirt, einer kurzen Hose und einer 20 kg schweren Gewichtsweste bekleidet und hatte keine Ähnlichkeit mit den biomechanischen Funktionsprinzipien von Gelenken. Beispielsweise war das Kniegelenk in alle Richtungen beweglich, so dass kein Gewicht auf den Boden übertragen wurde und das gesamte Gewicht des Dummys transferiert, werden musste. Um Beschwerden und/oder funktionelle oder strukturelle Schäden zu vermeiden, wurden die empfohlenen Grenzwerte für den Gesundheitsschutz von Beschäftigten bei schweren Lasten von Gegenständen mit gelegentlichem Heben als Orientierung herangezogen (Empfehlung von 25 kg; Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2019, S. 2)), für die Pflege gibt noch keine speziellen Richtwerte (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung [DGUV], 2018). Internationale und europäische Richtwerte, die das manuelle Bewegen von Gegenständen in der Industrie beschreiben, liegen im Bereich von 23 bis 25 kg (ISO 11228-1) (Deutsches Institut für Normung e.V.), wobei Gegenstände über 25 kg mit zusätzlichen Hilfsmitteln transportiert werden sollten (Galinsky & Lu, 2016).

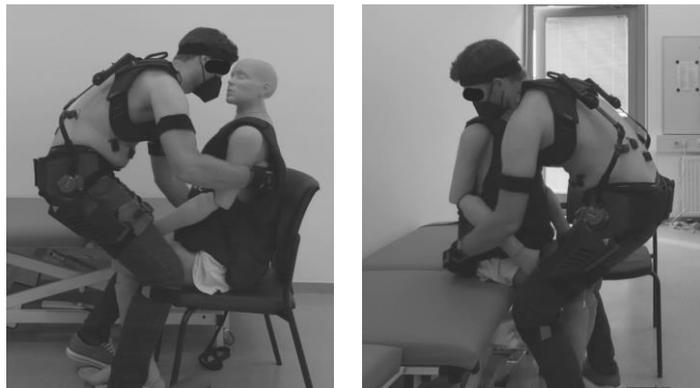


Abbildung 17: Simulierter Transfer mit Exoskelett beim Heben der Dummy-Puppe (links) und beim Transfer (rechts) zum Bett

Exoskelett

In dieser Studie wurde das Paexo Back[®] Exoskelett von Ottobock (Duderstadt, Deutschland) verwendet. Dieses passive Exoskelett ist im Handel erhältlich und wurde für die Unterstützung von Arbeitern in der Logistik- und Lagerbranche entwickelt (Ottobock SE & Co. KGaA, 2023). Die Rumpfunterstützung wird durch zwei starre Stangen (Torsostrukturen) und zwei seitlich an den Oberschenkeln angebrachte Expander gewährleistet. Die längenverstellbaren Rumpfstrukturen sind mit einem Brustpolster und einem Hüftgurt verbunden, die über Klettverschlüsse individuell an die Proportionen der Proband*innen angepasst werden können. Die Stütze kann in verschiedenen Winkeln eingestellt werden, so dass eine Unterstützung ab 1° oder 45°

Rumpfneigung nach vorne oder gar keine Unterstützung gegeben ist. Das Exoskelett wurde individuell an die Proband*innen angepasst und bei der Verwendung des Exoskeletts mit Unterstützung wurde die Einstellung ab 1° Oberkörpervorneigung gewählt. Das maximale Drehmoment von 45 Nm beginnt bei einem Hüftbeugewinkel von ca. 60° (ebd.).

5.1.1 Messungen

Um ein umfassendes Verständnis der durchgeführten Untersuchung zu gewährleisten, wird im folgenden Abschnitt das methodische Vorgehen der verwendeten Messinstrumente, die innerhalb der experimentellen Untersuchung verwendet wurden, detailliert zu beschreiben. Ziel der Untersuchung ist die Analyse der Muskelaktivität, der Kinematik sowie des subjektiven Belastungsempfindens der Proband*innen. Die Methodik umfasst die Beschreibung der eingesetzten Messinstrumente und der durchgeführten Verfahren zur Datenerhebung und -auswertung, die Beschreibung der Rekrutierung der Proband*innen erfolgte bereits in Kapitel 3.3.

5.1.1.1 Muskelaktivität

Bipolare Oberflächen-Elektromyogramme der unteren Rückenmuskulatur wurden mit drahtlosen bipolaren Oberflächen-Elektromyographie-Elektroden (Trigno™ Wireless System, Delsys Inc., Natick, MA, USA) aufgezeichnet. Die Elektroden wurden gemäß den SENIAM-Empfehlungen (Hermens et al., 2000) bilateral im Abstand von mindestens 2 cm auf dem unteren Rücken seitlich und medial im linken und rechten paravertebralen Bereich platziert. Vor dem Anbringen der Elektroden wurde die Haut, falls erforderlich, rasiert und mit einem nicht fettenden Desinfektionsmittel gereinigt. Um die Sensoren symmetrisch zu platzieren und die richtigen Muskeln zu lokalisieren, wurden die knöchernen Vorsprünge der linken und *Spina iliaca posterior superior* abgetastet und die Sensoren für den paravertebralen Muskel *Erector spinae* (rechts/links) etwa 5 cm oberhalb dieser Strukturen auf dem Muskelbauch entlang des Verlaufs der Muskelfasern angebracht. Die vier anderen Sensoren für die Muskeln *Quadratus Lumborum* (re/li) und *Iliocostalis* (re/li) wurden aufgrund des SENIAM-Empfehlungsverfahrens (Ibid) von diesem Punkt aus platziert (Abbildung 18). Die oberflächlichen EMG-Signale wurden in Echtzeit über drahtlose Sonden mit einer Abtastrate von 1500 Hz und einer Bandbreite von 10 bis 500 Hz an einen PC-Schnittstellenempfänger (Delsys Inc., Natick, MA, USA) übertragen.

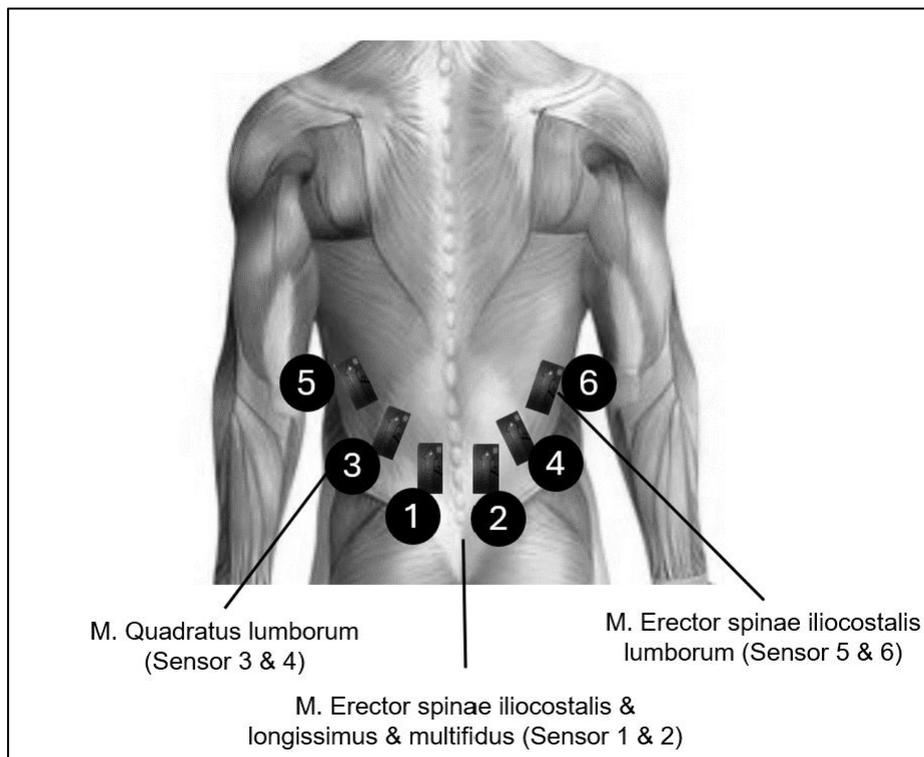


Abbildung 18: Platzierung der Sensoren nach SENIAM-Empfehlungen; Anatomie des Rückens aus Schünke et al. (2012)

Die Auswertung der EMG-Aufzeichnungen erfolgte mittels der Akquisitionsoftware EMG-Works von Delsys Incorporated (2021) unter Berücksichtigung eines strukturierten experimentellen Ablaufs. In Anlehnung an die Empfehlungen von Maddox et al. (2022) wurden die Daten auf Basis der maximalen Muskelaktivität unter der Aufgabe normalisiert und Empfehlungen zur Filterung von EMG-Signalen in Bezug auf langsame Bewegungen/Aktivitäten (DeLuca et al., 2010; Drake & Callaghan, 2006) befolgt. Die Daten wurden digital gefiltert (Butterworth-Filter 2. Ordnung, 12 dB/Okt., Bandbreite 20-450 Hz) und der Effektivwert der elektrischen Aktivität [μV] wurde aus dem Leistungsspektrum der elektrischen Aktivität berechnet (250 ms Fenster mit 50 % Überlappung) (DeLuca et al., 2010, S. 1574). Die Mittelwerte des gesamten Bewegungsablaufs pro Set der drei simulierten Patient*innen-Transfers wurden berechnet, analysiert und für die statistische Analyse verwendet.

5.1.1.2 Kinematik – Hüftflexion

Die Hüftflexion war in der vorliegenden Studie ein sekundäres Ergebnis, das dazu beitrug, mögliche Veränderungen der Aktivität der unteren Rückenmuskulatur zwischen den drei Versuchsbedingungen angemessen zu interpretieren. Hierfür wurde das IMU-basierte Motion-Tracking-System von XSens MVN Awinda (XSens

Technologies BV, 2022) verwendet. Das IMU-System besteht aus 17 Inertialmesseinheiten (IMUs) mit einer Abtastrate von 60 Hz, die mit Klettverschlüssen und Stirnbändern an den Proband*innen befestigt wurden. Jede IMU-Einheit enthält einen 3D-Beschleunigungsmesser, ein Gyroskop und ein Magnetometer und überträgt die Daten in Echtzeit an den Hauptempfänger. Die Daten wurden zur Steuerung eines kinematischen Modells mit 23 Körpersegmenten verwendet, das auf der Grundlage der manuell gemessenen Körpermaße auf die Proband*innen skaliert wurde (Paulich M. et al., 2018). Für die weitere Analyse wurden nur die erhobenen Hüftflexionsdaten mit dem in XSens MVN Analyze Version 2022.0.0 enthaltenen Tool verarbeitet und anschließend als Excel-Datei (csv-Dateien) exportiert. Die Maximalwerte der Hüftflexion wurden berechnet und für die weitere Analyse verwendet.

5.1.1.3 Subjektives Belastungsempfinden

Ein weiteres sekundäres Ergebnis war das von den Proband*innen nach jedem Transfer angegebene Ausmaß der körperlichen Anstrengung. Die Borg-Skala wird im Bereich der schweren körperlichen Arbeit und des subjektiven Gefühls von Anstrengung und Belastung verwendet und ausgewertet (Borg, 1990). Die aus der Borg-Skala weiterentwickelte Category Ratio Scale (CR10-Skala) ist durch ihre kurze und schnelle Zahlenermittlung benutzer*innen-freundlich und praktikabel (Büsch et al., 2022). Die Pflegekräfte wurden gebeten, eine Zahl zwischen null und zehn zu wählen, die den von ihnen empfundenen Grad der körperlichen Anstrengung am besten repräsentiert. Null steht für keine Anstrengung und zehn für die maximale körperliche Anstrengung (Abbildung 19). Die Proband*innen wählten nach der dreimaligen Wiederholung direkt eine Zahl auf einem Tablett aus. Die Skala wurde durch Smileys visualisiert.

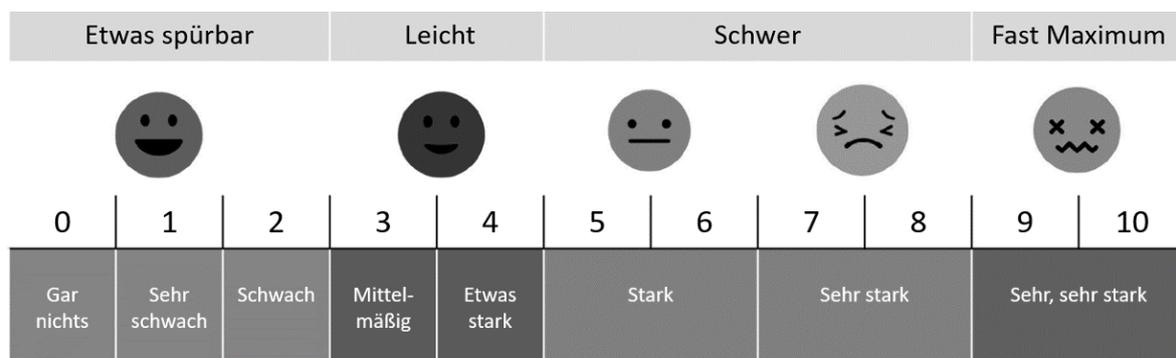


Abbildung 19: Borg-Skala angelehnt an Tibana et al. (2019, S. 5)

Die Daten wurden mit dem Tool Lime Survey erfasst und nach Abschluss auf einem passwortgeschützten Server der OTH Regensburg gespeichert. Anschließend wurden die Mittelwerte für jede Testbedingung (Exo, Exo-Off, Control) berechnet und für die weitere statistische Auswertung analysiert.

5.1.2 Statistische Analyse

Die visuelle Inspektion der Histogramme und die Interpretation der Schiefe und Kurtosis-Werte zeigten eine positive Schiefe der EMG-Daten, der wahrgenommenen Anstrengung und der Hüftflexionswinkel. Der Gesamtgrad der Schiefe war jedoch gering, so dass die Bedingungen für eine Normalverteilung als gegeben angesehen werden konnten. Die Histogramme und die Interpretation der Schiefe und Kurtosis zeigten eine Normalverteilung. Die zusammengefassten Ergebnisse wurden in der Tabelle 4, Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7, Tabelle 8, und Tabelle 9 als Mittelwerte für den gesamten Bewegungsablauf über alle drei Transfers dargestellt. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt, um die Effekte des Exoskeletts (Exo, Exo-Off, Control) auf die primären Ergebnisparameter der Aktivität der unteren Rückenmuskulatur und sekundären Ergebnisparameter der wahrgenommenen Anstrengung und der Hüftflexionsergebnisse zu analysieren.

Der F-Wert, der p-Wert und die Effektgröße des partiellen Eta-Quadrats (η^2_p) wurden für jede ANOVA angegeben. Die Effektgrößen wurden nach Cohen (1992) berechnet und als klein ($\eta^2_p \geq 0,02$; $d \geq 0,2$), mittel ($\eta^2_p \geq 0,13$; $d \geq 0,5$) oder groß ($\eta^2_p \geq 0,26$; $d \geq 0,8$) interpretiert. Die statistischen Analysen wurden mit IBM® SPSS Statistics (IBM Corp., 2020) durchgeführt; das statistische Signifikanzniveau wurde auf $\alpha \leq 0,05$ festgelegt. Die normalisierte elektrische Aktivität der Muskeln ES, QL und IC wurde als primärer Endpunkt definiert, der Grad der wahrgenommenen körperlichen Anstrengung und die Hüftflexionswinkel als sekundärer Endpunkt.

5.2 Ergebnisse

Die Mittelwerte mit Standardabweichungen und die Unterschiede zwischen den Exoskelett-Bedingungen sind in Tabelle 4 für die Muskelaktivität, in Tabelle 6 für den Hüftflexionswinkel und in Tabelle 8 für die wahrgenommene körperliche Anstrengung dargestellt. Entsprechende Statistiken zu den Haupteffekten der paarweisen Vergleiche sind in Tabelle 5 für die Muskelaktivität und in Tabelle 7 für die Hüftbeugung

(rechts/links) und die wahrgenommene körperliche Anstrengung in Tabelle 9 dargestellt.

5.2.1 Primäre Endpunkte – Erector spinae, Quadratus lumborum und Iliocostalis

Die Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung ergeben keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsbedingungen (Control, Exo, Exo-Off) hinsichtlich der Muskelaktivität der Muskeln Erector spinae, Quadratus lumborum und Iliocostalis ($p > .05$). Tabelle 4 und Tabelle 5 geben einen Überblick über die Mittelwerte, Mittelwertunterschiede, F-Werte, Effekte und p-Werte zwischen den Versuchsbedingungen und die Standardabweichungen pro Muskel (Muskelaktivität (%)).

a	Control (1)		Exo (2)		Exo-Off (3)		Differenz (1,2)		Differenz (2,3)		Differenz (1,3)	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Muskelaktivität [%]												
ES li	26.53	24.16	23.55	15.18	27.02	18.78	2.98	12.42	3.47	9.31	0.59	11.37
ES re	28.97	26.88	25.24	16.55	23.99	16.06	3.73	22.68	1.25	10.63	4.98	19.63
IC li	21.28	12.43	23.18	14.47	20.95	10.98	1.9	13.54	2.23	10.76	0.33	8.94
IC re	21.75	11.70	22.16	14.15	20.82	11.28	0.41	9.69	1.34	12.09	0.92	8.47
QL li	21.26	12.22	21.27	10.55	20.79	7.38	0.008	11.32	0.48	9.64	0.47	10.29
QL re	20.74	7.59	21.24	7.35	22.11	7.99	0.49	8.18	0.88	9.06	1.37	9.86

*Signifikanz p-Wert ($\alpha \leq 0.05$)

Tabelle 4: Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (SD) und Mittelwertdifferenzen ($\Delta\bar{x}$) der ANOVAs mit Messwiederholung; Muskelaktivität

a	Paarweiser Vergleich Control (1) vs. Exo (2) vs. Exo-Off (3)								
	1 vs. 2			2 vs. 3			1 vs. 3		
Muskel-aktivität [%]	F	p	η^2_p	F	p	η^2_p	F	p	η^2_p
ES li	1.46	0.70	0.044	1.46	0.21	0.044	1.46	1	0.044
ES re	0.987	1	0.03	0.987	1	0.03	0.987	0.627	0.03
IC li	0.588	1	0.018	0.588	0.906	0.018	0.588	1	0.018
IC re	0.23	1	0.007	0.23	1	0.007	0.23	1	0.007
QL li	0.035	1	0.001	0.035	1	0.001	0.035	1	0.001
QL re	0.3	1	0.009	0.3	1	0.009	0.3	1	0.009

*Signifikanz-Niveau p-Wert ($\alpha \leq 0.05$); λ großer Effekt ($\eta^2_p \geq 0.26/d \geq 0.8$); μ mittlerer Effekt ($\eta^2_p \geq 0.13/d \geq 0.5$); σ kleiner Effekt ($\eta^2_p \geq 0.02/d \geq 0.2$).

Tabelle 5: F-Werte und p-Werte der ANOVA mit Messwiederholung mit entsprechenden Effektgrößen (partielles Eta-Quadrat (η^2_p); Muskelaktivität;

Die Nullhypothese kann zwischen allen Bedingungen bestätigt werden, sodass kein Unterschied zwischen Control, Exo und der Exo-Off festgestellt werden kann.

5.2.2 Sekundärer Endpunkt: Veränderung des Hüftflexionswinkels

Die Ergebnisse der ANOVA zeigen statistisch signifikante Unterschiede in der maximalen Hüftflexion zwischen den Tests Control vs. EXO (1 vs. 2; rechts: $F=15.21$, $\eta^2_p = .32$, $p < .001$; links: $F=20.81$, $\eta^2_p = .44$, $p < .001$) und EXO vs. EXO-Off (2 vs. 3; rechts: $F=15.21$, $\eta^2_p = .32$, $p < .001$; links: $F=20.81$, $\eta^2_p = .44$, $p < .001$) (Tabelle 7). Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen maximaler Hüftflexion Control und EXO-Off ($p > .001$). Die Effektgröße Eta-Quadrat beträgt $\lambda=0,32$ für die Hüftflexion rechts und $\lambda=0,44$ links und entspricht einem starken Effekt ($\eta^2_p \geq 0,26$).

Das Tragen des Exoskeletts (Exo) ist mit einer geringeren Hüftflexion (rechts: $\bar{x}=48,41^\circ$; $\pm 15,18$; links: $\bar{x}=47,84^\circ$; $\pm 13,45$) im Vergleich zu einer größeren Hüftflexion beim Tragen des Exo-Off (rechts: $\bar{x}=55,48^\circ$; $\pm 13,24$; links: $\bar{x}=55,34^\circ$; $\pm 11,13$) und Control verbunden (rechts: $\bar{x}=55,60^\circ$; $\pm 14,20$; links: $\bar{x}=57,22^\circ$; $\pm 11,51$) (Tabelle 6).

Die Differenz der Mittelwerte demonstriert den signifikantesten Unterschied ($\alpha \leq 0,05$) beim Vergleich von Exo und Control (rechts: $\bar{x}=7,19^\circ$; $\pm 0,98^\circ$; links: $\bar{x}=9,38^\circ$; $\pm 1,94^\circ$). Der Vergleich der Hüftflexion zwischen dem Tragen von Exo und Exo-Off zeigt eine

ähnliche Tendenz. Der Unterschied der Mittelwerte ist ebenfalls signifikant ($\alpha \leq 0,05$), jedoch geringer als beim Vergleich der Hüftflexion zwischen dem Tragen mit Exo und Exo-Off. Die Werte betragen hier für die rechte Seite: $\bar{x} = 7,07^\circ$; $\pm 1,94^\circ$ und für die linke Seite $\bar{x} = 7,50^\circ$; $\pm 7,97^\circ$. Die nicht-signifikanten Ergebnisse ($\alpha \geq 0,05$) der Mittelwertsunterschiede zwischen dem Tragen von EXO-Off und Control zeigen den geringsten Unterschied (rechts: $\bar{x} = 0,128^\circ$; $\pm 0,38^\circ$; links: $\bar{x} = 1,88^\circ$; $\pm 6,03^\circ$) (Tabelle 7).

	Control (1)		Exo (2)		Exo-Off (3)		Differenz (1,2)		Differenz (2,3)		Differenz (1,3)	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
rechtes Hüftgelenk	55.60	14.20	48.41	15.18	55.48	13.24	7.19*	0.98	-7.07*	1.94	0.128	0.38
linkes Hüftgelenk	57.22	11.51	47.84	13.45	55.34	11.13	9.38*	7.24	-7.50*	7.97	1.88	6.03

*Signifikanz-Niveau p-Wert ($\alpha \leq 0.05$);

Tabelle 6: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (SD) der ANOVA mit Messwiederholung; Hüftflexion;

	Paarweiser Vergleich Control (1) vs. Exo (2) vs. Exo-Off (3)								
	1 vs. 2			2 vs. 3			1 vs. 3		
Kinematik	F	p	η^2_p	F	p	η^2_p	F	p	η^2_p
rechtes Hüftgelenk	15.21	<0.01*	0.32	15.21	<0.01*	0.32	15.21	1	0.32
linkes Hüftgelenk	20.81	<0.01*	0.44	20.81	<0.01*	0.44	20.81	0.38	0.44

*Signifikanz-Niveau p-Wert ($\alpha \leq 0.05$); λ großer Effekt ($\eta^2_p \geq 0.26/d \geq 0.8$); μ mittlerer Effekt ($\eta^2_p \geq 0.13/d \geq 0.5$); σ kleiner Effekt ($\eta^2_p \geq 0.02/d \geq 0.2$).

Tabelle 7: F-Werte und p-Werte der ANOVA mit Messwiederholung mit entsprechenden Effektgrößen (partielles Eta-Quadrat (η^2_p); Hüftflexion;

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung konnte einerseits die Nullhypothese bestätigt werden, wonach kein Unterschied zwischen den Bedingungen „Control“ und „Exo-Off“ besteht.

Andererseits wird die Nullhypothese für die Bedingung zwischen Control vs. Exo (1 vs. 2; rechts: $\bar{x} = -7.19^\circ$, $\eta^2_p = .32$, $p < .001$; links: $\bar{x} = -9.38^\circ$, $\eta^2_p = .44$, $p < .001$) und Exo vs. Exo-Off abgelehnt (2 vs. 3; rechts: $\bar{x} = -7.07^\circ$, $\eta^2_p = .32$, $p < .001$; links: $\bar{x} = -7.5^\circ$, $\eta^2_p = .44$, $p < .001$). Die Alternativhypothese, dass ein Unterschied vorhanden ist, wird angenommen.

Die Effektstärke λ liegt bei der Hüftflexion rechts bei einem Wert von 0.32 und links bei einem Wert von 0.44, was einem starken Effekt entspricht ($\eta^2_p \geq 0.26$).

5.2.3 Sekundärer Endpunkt – Subjektives Belastungsempfinden

Die Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung zeigen statistisch signifikante Unterschiede im Empfinden der wahrgenommenen körperlichen Anstrengung zwischen den Versuchsbedingungen. Der Post-Hoc-Vergleich zeigt Unterschiede zwischen den Tests ohne Exoskelett vs. mit Exoskelett mit Unterstützung (Control vs. Exo; $F=30.88$, $\eta^2_p=.46$, $p<.001$, $n=33$) und Exoskelett mit Unterstützung vs. Exoskelett ohne Unterstützung (Exo vs. Exo -Off; $F=30.88$, $\eta^2_p=.46$, $p<.001$) (Tabelle 9). Es gibt keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen Exo-Off und Control ($p>.001$). Die Effektgröße λ beträgt 0,46 und entsprach einem starken Effekt ($\eta^2_p \geq 0,26$).

Der Mittelwert der wahrgenommenen körperlichen Anstrengung beträgt $\bar{x}=4,85 \pm 0,23$ [0-10-Skala] für Exo, $\bar{x}=6,36; \pm 0,31$ [0-10-Skala] für Exo-Off und $\bar{x}=7,03; \pm 0,34$ [0-10-Skala] für Control (Tabelle 9).

	Control (1)		Exo (2)		Exo-Off (3)		Differenz (1,2)		Differenz (2,3)		Differenz (1,3)	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
CR-10-Skala	7.03	0.34	4.85	0.23	6.36	0.31	2.18*	0.33	1.52*	0.24	0.67	0.28

*Signifikanz-Niveau p-Wert ($\alpha \leq 0.05$);

Tabelle 8: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (SD) der ANOVA mit Messwiederholung; subjektives Belastungsempfinden;

	Paarweiser Vergleich Control (1) vs. Exo (2) vs. Exo-Off (3)								
	1 vs. 2			2 vs. 3			1 vs. 3		
	F	p	η^2_p	F	p	η^2_p	F	p	η^2_p
CR-10-Skala	30.881	<0.001*	0.46	30.881	<0.001*	0.46	30.881	0.071	0.46

*Signifikanz-Niveau p-Wert ($\alpha \leq 0.05$); λ großer Effekt ($\eta^2_p \geq 0.26/d \geq 0.8$); μ mittlerer Effekt ($\eta^2_p \geq 0.13/d \geq 0.5$); σ kleiner Effekt ($\eta^2_p \geq 0.02/d \geq 0.2$).

Tabelle 9: F-Werte und p-Werte der ANOVA mit Messwiederholung mit entsprechenden Effektgrößen (partielles Eta-Quadrat (η^2_p)); subjektives Belastungsempfinden;

Die Nullhypothese kann im Zusammenhang zwischen Control ($\bar{x}=7,03$) vs. Exo-Off ($\bar{x}=6,36$) bestätigt werden. Es besteht kein Unterschied zwischen diesen beiden Bedingungen.

Zwischen den Bedingungen Control ($\bar{x}=7,03$) vs. Exo ($\bar{x}=4,85$) und Exo ($\bar{x}=4,85$) vs. Exo-Off ($\bar{x}=6,36$) wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese, dass Unterschiede vorhanden sind, angenommen.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

Die relative Muskelaktivität, die Hüftflexion und das subjektive Belastungsempfinden können Hinweise auf gefährliche Arbeitsplatzsituationen und auf zu hohe körperliche Belastungen in der täglichen Arbeit der Pflege annähernd aufzeigen. Bei der Diskussion der Ergebnisse wird zunächst auf die relative Muskelaktivität eingegangen, anschließend folgt die Diskussion der Ergebnisse des Hüftflexionswinkels und im weiteren Verlauf wird das subjektive Belastungsempfinden in den Kontext des wissenschaftlichen Diskurses gestellt. Abschließend werden die klinische Relevanz, die Studienlimitationen betrachtet und in die folgende Konklusion übergeleitet.

Muskelaktivität des ES, QL und IC

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung des passiven rückenunterstützenden Exoskeletts die Muskelaktivität während eines simulierten Patient*innen-Transfers mit einer 45 kg schweren Puppe nicht verändert. Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit früher veröffentlichten Studienergebnissen; diese Studien untersuchten jedoch die Muskelspannung des unteren Rückens bei Arbeitsaufgaben, die das Heben und Tragen von Objekten beinhalten, die hauptsächlich in der Logistik durchgeführt werden (Alemi et al., 2020; Luger et al., 2021; Ulrey & Fathallah, 2013) und unterscheidet sich damit erheblich von einem Heben mit Rotation in der Wirbelsäule. Luger et al. (2021) und Ulrey und Fathallah (2013) konnten in ihren Studien feststellen, dass die untersuchten passiven Exoskelette eine größere Wirkung auf die Hüftstreckmuskeln (M. Biceps femoris) als auf die Rückenstreckmuskeln wie beispielsweise den Erector spinae, hatten. Die Exoskelette basieren auf einem ähnlichen technischen Funktionsprinzip, weshalb sie annähernd vergleichbar sind. Der signifikante Unterschied in der Muskelaktivität des M. Biceps femoris könnte eine Erklärung für die nicht-signifikanten Ergebnisse der Muskeln ES, QL und IC in dieser Studie und die unterschiedlichen Effekte für die Hüft- und Rückenstreckmuskulatur sein. In einer Studie von Schmalz et al. (2022), in der dasselbe passive Exoskelett beim Heben von Kisten an einem simulierten Arbeitsplatz mit einer Stichprobe von zehn gesunden jungen männlichen und weiblichen Proband*innen untersucht wurde, wurde eine Verringerung der Aktivität des M. Erector Spinae von bis zu 18% während der Aufgabe des Absetzens der Kiste auf dem Boden festgestellt. Bei der Aufgabe, die Kiste aufzuheben und den Rumpf zu strecken, war die Verringerung der Muskelaktivität im Biceps femoris, stärker ausgeprägt. Die

Hüftstrecker Muskeln wurden in der vorliegenden Studie nicht gemessen, und sollte in zukünftigen Studien weiter untersucht werden.

Drei weitere Faktoren könnten dazu beigetragen haben, dass die Muskelaktivitäten im unteren Rückenbereich bei Verwendung des Exoskeletts ähnlich waren wie bei der Kontrollbedingung ohne Exoskelett. Keir und MacDonell (2004) fanden heraus, dass erfahrene Pflegekräfte eine Strategie zur Verbesserung der Patient*innen-Handhabung mit einer geringeren Gesamtmuskelaktivität des Erector spinae im Vergleich zu unerfahrenen Pflegekräften entwickelten. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Pflegenden mit mehr als drei Jahren Berufserfahrung in die Untersuchung einbezogen. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Muskelaktivierung bereits während der Kontrollbedingung geringer war (1). Darüber hinaus könnte die kurze ergonomische Schulung, die den Studienteilnehmenden vor der Durchführung der experimentellen Bedingungen angeboten wurde, den potenziellen Effekt einer allgemein niedrigen Muskelaktivierung während des Patient*innen-Transfers ohne Exoskelett begünstigt haben. In dieser Hinsicht könnte es wichtig sein, zu bewerten, ob die Verwendung eines Exoskeletts die potenziellen Vorteile von ergonomisch durchgeführten Patient*innen-Transfers übertreffen kann. Luger et al. (2021) und Steinhilber et al. (2020) unterstützen die Hypothese, dass die Bewegungsausführung, wie Hebestil und Hebeausrichtung, einen Einfluss auf die Muskelaktivität sowie die Belastung des unteren Rückens hat. Der größte Effekt des Exoskeletts auf die ES wurde bei einer geraden, frontalen Ausrichtung des Oberkörpers beobachtet, während ein schwächerer Effekt bei einer seitlichen Ausrichtung des Oberkörpers (Rotation der Wirbelsäule) gemessen wurde (2).

Schließlich waren mehr als 70% der untersuchten Stichprobe weiblich, was ebenfalls zur Inkonsistenz der Ergebnisse mit früher veröffentlichten Studien mit überwiegend oder ausschließlich männlichen Proband*innen beigetragen haben könnte (3) (Baltrusch et al., 2018; Baltrusch, van Dieën et al., 2020; Bosch et al., 2016; Koopman et al., 2019).

Kinematik - Hüftflexion

Der Hebestil und die Körperhaltung, insbesondere die der Lendenwirbelsäule, werden mit der muskuloskelettalen Gesundheit des unteren Rückens in Verbindung gebracht (Raspe, 2012). Langfristige Fehlbelastungen der Lendenwirbelsäule in Kombination

mit mangelnder muskulärer Stabilität und Flexibilität der Rumpfmuskulatur sowie mangelnder Bildung haben einen Einfluss auf die Entwicklung von Rückenschmerzen (Foster et al., 2018; Raspe, 2012). Luger et al. (2021) stellten fest, dass auch der Hebestil und die Ausrichtung des Hebens einen Einfluss auf die Muskelaktivität haben kann. Es ist zu betonen, dass die Verwendung von passiven rückenunterstützenden Exoskeletten zu unterschiedlichen Haltungsänderungen führt, aber im Allgemeinen der Einfluss auf Haltungsänderungen in früheren Studien nicht ausreichend untersucht wurde. Sehr kleine Veränderungen in der Haltung der Lendenwirbelsäule können zu großen Veränderungen in der Aktivität der Rückenmuskulatur führen (Koopman et al., 2019), die bei der Bewertung von Exoskeletten meist als Indikator für die Belastung des unteren Rückens verwendet wurde (Bär et al., 2021; Looze et al., 2016), allerdings meist ohne zusätzliche Haltungsüberwachung. Darüber hinaus zeigten Veränderungen der Hüftgelenkwinkel signifikante Wechselwirkungen mit den Momenten der Lendenwirbelsäule (Koopman et al., 2019), was ein Indikator für mechanische Belastung gilt und als Risikofaktor für den unteren Rückenschmerz beschrieben wurde (Coenen et al., 2014). Eine von Rimmele et al. (2023) durchgeführte Studie belegt, dass Exoskelette den menschlichen Bewegungsumfang beim Heben von Lasten einschränken. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen, dass die Variabilität in den Versuchsbedingungen Control und Exo-Off sowie die maximale Hüftflexion im Vergleich zur Bewegung mit Exoskelett (Exo) größer waren. Die Versuchsbedingungen Control und Exo zeigen eine ähnliche Variabilität und Größenordnung bei der maximalen Hüftflexion. Des Weiteren konnte eine signifikant größere Variabilität und ein signifikant größeres Ausmaß des maximalen Hüftflexionswinkels Exo-Off im Vergleich zu Exo festgestellt werden ($p < .001$).

Aufgrund der festgestellten Unterschiede in der Hüftbeugung kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob es zu Haltungsänderungen in anderen Bereichen, wie beispielsweise einer verstärkten Kniebeugung oder -streckung, kam. Ebenso kann nicht beurteilt werden, ob diese Änderungen für die Belastung des Bewegungsapparates vorteilhaft oder nachteilig sind. Das Fehlen von Haltungsänderungen, die sich im Hüftbeugewinkel ausdrücken, lässt den Schluss zu, dass weitere Untersuchungen zu Haltungsänderungen in anderen Gelenken, wie beispielsweise dem Kniegelenk, und zu möglicherweise damit verbundenen

Veränderungen der körperlichen Belastung des Bewegungsapparats bei Pflegenden mit und ohne Exoskelett erforderlich sind. Die Aufzeichnung der Ganzkörperkinematik erfolgte zunächst rein qualitativ zur Beschreibung und Beobachtung der Bewegung. Im Rahmen der Studie wurde keine Bewertung der Haltungsänderung der anderen Gelenke vorgenommen. Ein detaillierterer Einblick in verschiedene Bewegungsstrategien und mögliche Zusammenhänge mit den Eigenschaften der Pflegenden könnte dazu beitragen, Probleme im unteren Rücken besser zu verstehen und rückenunterstützende Exoskelette im Pflegebereich weiter zu optimieren.

Subjektives Belastungsempfinden

Die limitierte Sensitivität der CR-10-Skala kann zur Folge haben, dass kleine Unterschiede in der Anstrengung oder Ermüdung nicht erfasst werden (Scott et al., 2013). Die wahrgenommene körperliche Anstrengung und die verwendete CR-10-Skala können möglicherweise ein geeignetes Verhältnis zwischen den körperlichen Arbeitsanforderungen und der körperlichen Leistungsfähigkeit widerspiegeln (Jakobsen et al., 2014). Allerdings werden die körperlichen Voraussetzungen der Personen jedoch nicht gemessen. Neben dem Einfluss physischer Faktoren können gleichzeitig auch die emotionale Beurteilung und das Vertrauen in die Verwendung eines Exoskeletts eine Rolle beim Nutzen von Exoskeletten spielen (Elprama et al., 2022).

Abdoli et al. (2006) und Jeong et al. (2016) kamen in ihren Studien zu dem Schluss, dass die Verwendung von Exoskeletten das subjektive Empfinden der körperlichen Belastung reduziert. Unterstützt wird dieses Ergebnis durch Bosch et al. (2016), die eine deutliche Reduktion der subjektiv wahrgenommenen körperlichen Belastung des unteren Rückens im Vergleich zur gemessenen Muskelaktivität des unteren Rückens festgestellt haben.

In ihrer Studie untersuchten Koopman et al. (2019) die Verwendung von passiven Exoskeletten im Stehen mit unterschiedlich stark nach vorne gebeugtem Oberkörper. Ulrey und Fathallah (2013) analysierten die Auswirkungen eines Exoskeletts auf die Körperhaltung bei gestreckten Knien. In einer weiteren Studie untersuchten Abdoli et al. (2006) den Komfort eines Exoskeletts beim sagittalen Heben von leichten Lasten. Ein Training im ergonomischen Heben mit gebeugten Knien und ein verstärktes Heben aus der Aktivität der Beinmuskulatur und nicht aus der Rückenmuskulatur, das vor den

Experimenten stattfand, könnte eine mögliche Erklärung für den geringen Unterschied im subjektiven Empfinden der körperlichen Belastung sein. Darüber hinaus könnte die Berufserfahrung beim Heben und Tragen eine Rolle gespielt haben, eine Überlegung, die auch von Jeong et al. (2016) geteilt wird, die Unterschiede beim Heben und Tragen zwischen Anfänger*innen und erfahrenen Fachkräften feststellen. Eine CR-10-Skala ist nicht in der Lage, diese individuellen Faktoren oder impliziten Bewertungen adäquat abzubilden. Die Beziehung zwischen der Bewegungsausführung durch Berufserfahrene und der Belastung des unteren Rückens bleibt ungeklärt. In weiteren Studien sollte die Verringerung der physischen und psychischen Belastung zur Steigerung der Arbeitszufriedenheit untersucht werden, um die Qualität der Pflege zu verbessern, insbesondere im Interesse der Pflegefachkräfte und in der Folge der Pflegebedürftigen.

5.3.1 Studienlimitationen

Erstens umfasst das Experiment lediglich eine kurze Transferaufgabe, die keine Daten zur Muskelermüdung oder physischen Belastung liefert. Aufgrund dessen können keine Rückschlüsse auf die langfristige Nutzung des Exoskeletts während ganzer Arbeitsschichten und verschiedener Aufgaben gezogen werden. Zweitens wurde der Neigungswinkel des Rumpfes kontrolliert und die Pflegekräfte wurden angewiesen, ihre Knie zu beugen. Folglich wurden mögliche Veränderungen der Körperhaltung im Vergleich zur Ausführung einzelner Aufgaben möglicherweise maskiert und spiegeln nicht die tatsächliche Bewegung der Pflegenden wider. Drittens kann das An- und Ablegen des Exoskeletts sowie eine minimale Veränderung der Position am Körper zu Veränderungen der Muskelaktivität geführt haben. Die vorliegende Studie präsentiert lediglich einen Ausschnitt der erhobenen Parameter. Die Ergebnisse zum Nutzen und zur Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege werden durch die qualitative Erhebung ergänzt (Kapitel 6).

5.4 Konklusion

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es keine exakten Kriterien zur Bestimmung des Risikos von muskuloskelettalen Schmerzen oder Verletzung im Zusammenhang mit Muskelaktivitäten gibt. Damit können keine Rückschlüsse auf kausale Zusammenhänge zwischen den in dieser Studie dargestellten Aktivitäten und arbeitsbezogenen muskuloskelettalen Fehlbelastungen, die zu lumbalen

Rückenschmerzen führen können geschlossen werden. Aus diesem Grund wurde sich bei der Interpretation der Daten hauptsächlich auf die relative Muskelanspannung, die Hüftflexion und das subjektive Belastungsempfinden konzentriert, da diese Parameter Hinweise auf potenziell gefährliche Arbeitsplatzsituationen und auf zu hohe körperliche Belastungen in der täglichen Arbeit von Pflegekräften liefern können.

Die vor den Experimenten stattgefundenene Schulung des ergonomischen Hebens mit gebeugten Knien und einem vermehrten Heben aus der Aktivität der Beinmuskulatur und nicht aus der Rückenmuskulatur, könnte eine mögliche Erklärung für den in dieser Studie dargestellten geringen Unterschied in der subjektiven Belastungswahrnehmung darstellen. Die Beziehung zwischen der Bewegungsausführung durch Berufserfahrene und der Belastung des unteren Rückens wie auch der Einfluss bei der Verlagerung des Körpergewichts auf die Belastung bzw. einwirkende Kraft auf die Lendenwirbelsäule wie auch den kausalen Zusammenhang zwischen der entstehenden Kraft und Rückenbeschwerden bleibt unbeantwortet. Die Auswirkungen dieser Ergebnisse auf die längerfristige Entwicklung von Muskelermüdung oder Muskel-Skelett-Erkrankungen können gegenwärtig noch nicht abgeschätzt werden.

Um die Ergebnisse zu bestätigen, ist weitere Forschung erforderlich, insbesondere in Form von Längsschnittstudien mit einer größeren Anzahl von Proband*innen, insbesondere weiblichen Probandinnen, in der Pflege. Die Ergebnisse dieser Studie liefern neue und bedeutsame Erkenntnisse über den Einfluss von passiven, rückenunterstützenden Exoskeletten in der Pflege.

6 Subjektive Einschätzung zum Nutzen und Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Akzeptanz und den Nutzen beim Einsatz von Exoskeletten in der Pflege zu erfassen. Wie in dem theoretischen Hintergrund beschrieben, wurde bislang kaum in der veröffentlichten Literatur nach der Akzeptanz und dem (physischen) Nutzen von Exoskeletten im Bereich der Pflege geforscht. Die bisherigen Studien zielten im Allgemeinen auf Technikakzeptanz in der Pflege ab (Kuhlmey et al., 2019; Kunhardt et al., 2023; Zöllick et al., 2020a; Zöllick et al., 2020b), allerdings ohne den direkten Bezug auf Akzeptanz und Benutzer*innen-Freundlichkeit eines Exoskeletts. Vor diesem Hintergrund hat diese zweite qualitative Untersuchung folgendes Erkenntnisinteresse:

- Exploration und Analyse von physischen und akzeptanzbezogenen Aspekten zur Implementierung von Exoskeletten zur körperlichen Unterstützung in der Pflege aus Perspektive der Pflegenden

Um dieses Ziel der physischen und akzeptanzbezogenen Aspekte darzustellen, werden Pflegenden als Expert*innen definiert, die die Perspektive einnehmen können, um wichtige Faktoren für den Einsatz von Technologien wie Exoskeletten in ihrem Fachbereich darzustellen und wichtige Aspekte zur Implementierung benennen können. Denn qualitative Forschung hat nach Flick et al. (2019, S. 14) „den Anspruch, Lebenswelten [...] aus der Sicht der handelnden Menschen zu beschreiben“ und nimmt nach Kruse (2014, S. 24) ihren Ausgangspunkt „im Versuch eines vorrangig deutenden und sinnverstehenden Zugangs zu der [...] in sprachlichen wie nichtsprachlichen Symbolen repräsentierten sozialen Wirklichkeit“. Da dieser Zugang über Interaktion hergestellt wird, stehen vor allem die „Sichtweisen der beteiligten Subjekte“ (Flick et al., 2019, S. 17) im Vordergrund.

Um eine individuelle Perspektive und Wahrnehmung aus der pflegerischen Handlungspraxis zu verstehen, werden leitfadengestützte Expert*innen-Interviews durchgeführt und liegt damit den theoretischen Grundannahmen (Flick et al., 2019, S. 22) der qualitativen Forschung zugrunde. Hierzu gehört beispielsweise, dass „der kommunikative Charakter sozialer Wirklichkeit die Rekonstruktion von Konstruktion sozialer Wirklichkeit zum Ausgangspunkt der Forschung“ werden kann (ebd.). Folgende drei Forschungsfragen sollen deswegen aus Perspektive der Pflegenden beantwortet werden:

F1: Welche physischen Faktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F2: Welche Akzeptanzfaktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F3: Welche Aspekte werden aus Sicht der Pflegenden erwartet, um Exoskelette in der Pflegepraxis zu implementieren?

6.1 Aufbau des Interview-Leitfadens und Pretest

Die Interviews fanden im Anschluss an die quantitative Datenerhebung der Transfers mit und ohne Exoskelett statt und orientierte sich dabei an der „COREQ Guideline“ zur

Berichterstattung von qualitativen Studien (Tong et al., 2007). Die Teilnehmenden wurden über die Einschlusskriterien, die Teilnahmebedingungen und des Datenschutzes informiert. Auf die Freiwilligkeit im Allgemeinen und im Antwortverhalten wurde, wie bereits vor den experimentellen Erhebungen, nochmals hingewiesen, die ethische Unbedenklichkeit wurde seitens der Universität Regensburg geprüft (s. Kapitel 3.3). Die Aufnahme erfolgte mit einem Audioprogramm („Hanso Recorder“) auf dem PC der Forscherin und wurde auf dem Server der OTH Regensburg gespeichert. Im Anschluss an die Aufnahmen dokumentierte die Interviewerin das Interview auf einem Protokollbogen (s. Anhang 7). Nach der Transkription der Interviews wurden die Teilnehmenden zwei Monate später, für das in Kap. 6.2.1 näher beschriebene Member-Checking, erneut per E-Mail kontaktiert.

Die Reihenfolge der Fragen wurde vorgegeben und folgt damit dem methodischen Vorgehen eines halbstandardisierten Leitfadens (Gläser & Laudel, 2012). Der Aufbau des Leitfadens orientiert sich an Mummendey (1987): Das Interview gliedert sich in eine Instruktion, einen Einstiegs-/Aufwärmteil, einem thematischen Hauptteil und einen Abschluss. Zur gedanklichen Orientierung werden in der Instruktion die thematischen Schwerpunkte genannt und in das Thema eingeführt. Der zeitliche Rahmen wurde genannt. Zu Beginn des Interviews wurden Fragen zum Nutzungsverhalten des Exoskeletts während der Experimente gestellt (Frage 1 bis 2), darauf folgten vier vertiefende Fragen zum Erfassen der zentralen Aspekte der Untersuchung (Fragen 3 bis 6) und zwei abschließende Fragen (Fragen 7 und 8). Tabelle 10 gibt einen Überblick über den Aufbau des Interview-Leitfadens entlang der vier Phasen.

I. Instruktion		
Erläuterung zu Zeitrahmen und thematischer Ausrichtung		
II. Einstieg		
Benutzer*innen-Freundlichkeit	Wahrnehmung vom Benutzen des Exoskeletts	Frage 1
	Erwartungen an das Exoskelett in der Benutzung	Frage 2
III. Hauptteil		
Benutzung im Berufsalltag	Zutrauen des Benutzens im pflegerischen Handeln	Frage 3

Physischer Nutzen	Veränderung der Haltung	Frage 4
Belastungsempfinden	Veränderung der Leistungsfähigkeit über den Tag	Frage 5
Herausforderungen	Barrieren zum Einsatz des Exoskeletts auf der Arbeit	Frage 6
IV. Abschluss		
Zusammenfassende Bewertung zum Einsatz und Erläuterung		Frage 7
Ergänzungen		Frage 8

Tabelle 10: Aufbau des Interview-Leitfadens in vier Phasen

Der Interviewleitfaden umfasst insgesamt acht Fragen, die in der folgenden Tabelle mit Zielsetzung und theoretischem Hintergrund erläutert werden.

Nr.	Frage	Detailfrage	Zielsetzung	Theoretischer Hintergrund
1	Wenn Sie sich nochmal in die Versuchssituation hineinversetzen, als Sie das Exoskelett getragen haben... Wie haben Sie das Benutzen des Exoskeletts wahrgenommen?	Konnten Sie das Exoskelett in dem Experiment intuitiv benutzen?	Erfassen der subjektiven Einschätzung zur Benutzer*innen-Freundlichkeit als Basis für die folgenden Inhalte.	Entsprechend der Forschungsfrage soll die Benutzer*innen-Freundlichkeit untersucht werden, um einen Hinweis auf die Technikakzeptanz und damit einen Faktor der Implementierung von Exoskeletten zu erhalten (Elprama et al., 2022). Grundlage der Frage ist das Modell des „Technology Acceptance Model“ (TAM III), in dem die Nutzung von Technologie von zwei Variablen abhängt. Der wahrgenommenen Nützlichkeit und Benutzer*innen-Freundlichkeit (Davis, 1989; Venkatesh & Bala, 2008).
2	Hatten Sie Erwartungen, wenn ja, welche?	Hat sich das Exoskelette beim Benutzen so verhalten, wie Sie es erwartet haben?	Erwartungen/Vorannahmen, die Einfluss auf das Benutzen hatten	Die wahrgenommene Bedienbarkeit führt, nach Gerhard Bandow und Holzmüller (2010), zu einer erhöhten Technikakzeptanz. Dazu gehört auch das Erfassen von Erwartungen, um positive oder negative Assoziationen in Bezug zum Einsatz von Exoskeletten zu identifizieren (Baltrusch, Houdijk et al., 2020).
3	Würden Sie sich nach einer Schulung selbst zutrauen, dass Exoskelett in Ihrer Arbeit zu benutzen?	Haben Sie sich nach der heutigen Schulung in der Benutzung des Exoskeletts so gefühlt, als könnten Sie es in Ihrer Arbeit einsetzen?	Einfluss von Schulung und der Vermittlung von Wissen zur Nutzung von Exoskeletten in der Pflege	Das Gefühl informiert und sicher im Umgang mit einem technischen Gerät zu sein erhöht die Nutzung im Arbeitsumfeld (Davis, 1989). In der Industrie und der Implementierung von Exoskeletten stellen Schulungen eine wesentliche Rolle dar (Abel et al., 2019).
4	Hatten Sie das Gefühl, dass sich Ihre Haltung durch das Exoskelett verändert?	Wie hat sich Ihre Haltung verändert?	Einfluss des Tragens vom Exoskelett auf das subjektive Empfinden der Körperhaltung	Bär et al. (2021) stellen in ihrer systematischen Übersicht fest, dass sich durch das Tragen von unterschiedlichen Exoskeletten die Haltung verändert. Neben der quantitativen Erhebung

				(Hüftgelenksflexionswinkel) kann das subjektive Empfinden einen weiteren Anhaltspunkt der Veränderung der Haltung liefern.
5	Wenn Sie sich nun einmal vorstellen, dass Exoskelett auf Ihrer Arbeit einzusetzen... Meinen Sie, dass Sie eine Veränderung in Ihrer Leistungsfähigkeit über den Tag spüren würden, wenn Sie eine Unterstützung bei schweren körperlichen Tätigkeiten, wie z.B. beim Transfer oder Waschen von Pflegebedürftigen, hätten?	Glauben Sie, dass Sie mehr Energie durch das Tragen des Exoskeletts hätten?	Einfluss des Tragens vom Exoskelett auf die subjektive, physische Leistungsfähigkeit für das übergeordnete Ziel der Technikakzeptanz	Vorstellung von erhöhter Leistungsfähigkeit und reduzierter körperlicher Belastung, auch nach dem beruflichen Alltag, kann motivierend sein, um ein technisches Gerät einzusetzen. Zöllick et al. (2020a) stellt eine erhöhte Akzeptanz bei Pflegenden durch den Einsatz von Technik zur körperlichen Unterstützung in der Pflege fest.
6	Was sind, Ihrer Meinung nach, die größten Herausforderungen, um ein Exoskelett bei Ihnen auf der Arbeit einzusetzen?	Was könnten Barrieren/ Hindernisse auf Ihrer Arbeit darstellen?	Erfassen von Barrieren zum Einsatz von Exoskeletten in der Pflege	Bislang existieren wenig Ergebnisse zum Einsatz von Exoskeletten in der Pflege und der Frage nach möglichen Barrieren. Elprama et al. (2022) stellten unterschiedliche Faktoren vor, die das implementieren von Exoskeletten in der Industrie beeinflussen.
7	Abschließend möchte ich noch wissen, welches Gesamturteil, auf einer Skala von 0=nicht einsatzfähig bis 10=genau passend für meine Tätigkeit, Sie dem Exoskelett geben und warum?	Was genau sind Hindernisse auf der Arbeit? Was sind Chancen?	Darstellung weiterer Faktoren, die den Einsatz fördern oder hindern.	Ergänzend zur Frage 6 können evtl. weitere Punkte genannt werden, die zusammenfassend nochmal die Stärken und Schwächen zum Einsatz dieses passiven rückenunterstützenden Exoskeletts in dem jeweiligen Arbeitsort der Pflegenden hervorheben.
8	Möchten Sie noch etwas ergänzen?	Was ist Ihnen abschließend noch wichtig zu sagen?		

Tabelle 11: Interviewleitfaden mit Zielsetzung und theoretischem Hintergrund

Beim Erstellen des Leitfadens wurde sich an den drei Grundprinzipien der *Offenheit*, *Prozesshaftigkeit* und *Kommunikation* nach Reinders et al. (2011, S. 71f.) und Scholl (2018, S. 184ff) orientiert. *Offenheit* wird im Leitfaden durch den Verzicht auf festgelegte Hypothesen berücksichtigt, indem die subjektive Wahrnehmung, die Einstellungen und die individuelle Bedeutung des Einsatzes von Exoskeletten in der Pflege in den Mittelpunkt gestellt werden. Die Fragen sind offengehalten und so formuliert worden, dass sie einen klaren Stimulus enthalten, ohne eine Antwort vorzugeben. Die *Prozesshaftigkeit* beinhaltet Fragen zur Nutzung des Exoskeletts aus

dem Experiment und die Übertragung auf die Anwendung am Arbeitsplatz der Befragten, wie z. B. in Frage 6: „(...) Was [sind], Ihrer Meinung nach, die größten Herausforderungen (sind), um ein Exoskelett bei Ihnen am Arbeitsplatz zu nutzen?“. Das Prinzip der *Kommunikation* wurde durch ein angemessenes Sprachniveau berücksichtigt und die Fragen wurden so formuliert, dass keine Fremdwörter oder unverständliche Begriffe verwendet wurden. Bei der Frageformulierung wurde immer ein individueller Bezug zum Gesprächspartner und seinem Antwortverhalten hergestellt, z.B. durch die Wiedergabe des Gehörten (Reinders et al., 2011, S. 71f.).

Pretest

Im Vorfeld der Interviews wurden zwei Pretests zur Überarbeitung des Leitfadens durchgeführt, die insbesondere in Forschungsvorhaben mit eigens entwickeltem Material unerlässlich sind (Scholl, 2018, S. 183f.). Ziel der Pretests war es, die allgemeine Verständlichkeit der Fragen zu überprüfen, den geplanten zeitlichen Rahmen und die Struktur des Interviews zu reflektieren. Die folgenden Reflektionsfragen standen im Fokus:

1. Lässt sich das Interview im Zeitrahmen von 10 bis 15 Minuten (max. 20 Minuten) realisieren?
2. Sind die Fragen thematisch gut aufeinander aufgebaut, so dass ein Gesprächsfluss entsteht?
3. Sind die Fragen verständlich formuliert?
4. Bleiben weitere Fragen offen bzw. welche Anmerkungen könnten von den interviewten Personen im Nachhinein aufkommen?

Die vierte Frage diente dazu, die inhaltliche Qualität des Interviewleitfadens zu verbessern und sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen aus Sicht der Interviewten durch die Fragen erfasst wurden. Die Pretest-Interviews wurden unmittelbar nach der Durchführung anhand der Reflektionsfragen (eins bis vier) reflektiert und anschließend zu einer finalen Version überarbeitet.

6.2 Durchführung der Interviews und Auswertungsverfahren

Zunächst wird die Durchführung der Interviews und anschließend die Auswertung der Audioaufnahmen dargestellt. Für die Auswertung wurden die Audioaufnahmen der Interviews vollständig transkribiert und anschließend analysiert. Auf der Grundlage der

qualitativen Inhaltsanalyse werden die Transkripte in Anlehnung an Braun und Clarke (2006) in sechs Schritten ausgewertet. Die Durchführung der Interviews erfolgte, wie im Studienprotokoll vorgesehen, im Anschluss an die experimentelle Laboruntersuchung. Es konnte ein, aus Sicht der Forscherin, angenehmer zwischenmenschlicher Kontakt hergestellt werden, was von den Befragten am Ende der Interviews durch Aussagen, sich wohl gefühlt zu haben, bestätigt wurde. Alle Fragen konnten gestellt und von den Befragten beantwortet werden. Im Durchschnitt dauerten die Interviews 11:24 Minuten (Überblick der Interviewlängen; Anhang 9).

6.2.1 Transkriptionsverfahren, Gütekriterien und Analyse der Interviewtranskripte

Die Interviews wurden per Audioaufnahme aufgezeichnet und anschließend in Anlehnung an Dresing und Pehl (2018) wörtlich transkribiert, wobei nonverbale Zwischenlaute der Interviewten wie z.B. „ähm“ nicht berücksichtigt wurden und Dialekte ins Hochdeutsche geglättet wurden. Die Analyse der Transkripte erfolgt mit dem Programm MAXQDA (VERBI Software, 2022).

Die Auswertung der Interview-Transkripte erfolgt mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) und wird mit den Schritten der thematischen Analyse nach Braun und Clarke (2006) kombiniert. Im Sinne eines Mixed-Methods-Ansatzes, für den sich auch die qualitative Inhaltsanalyse eignet (Mayring & Fenzl, 2019), wird die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse mit der thematischen Analyse nach Braun und Clarke (2006) kombiniert. Die Kombination beider Methoden ermöglicht eine umfassende Analyse des Materials und sowohl eine systematische Kategorienbildung (Mayring, 2015) als auch eine tiefgehende thematische Exploration (Braun & Clarke, 2006). Bei der kategoriengeleiteten Auswertung nach Mayring werden Kategorien als Analyseeinheiten verstanden, die sich am Rohmaterial orientieren und hierarchisch in Ober- und Unterkategorien strukturiert werden. Diese Struktur ergibt ein sogenanntes „Codesystem“, das alle Kategorien abbildet und Textstellen als Codes den Kategorien zuordnet. Die Zuordnung erfolgte anhand eines Codierleitfadens (s. Anhang 8), in dem die Auswertungsregeln festgelegt wurden und somit systematisch und intersubjektiv überprüfbar waren (Mayring & Fenzl, 2019). Das Datenmaterial wurde deduktiv-induktiv analysiert, indem zum einen aus dem theoretischen Hintergrund (Kapitel 2.7) Codes entwickelt wurden (deduktiv) und zum anderen die Forscherin offen blieb für neue, unerwartete Themen, die aus dem Material entstanden sind (induktiv).

Ein Arbeitsschritt ist die Darstellung eines Kategoriensystem, anhand dessen das Datenmaterial interpretiert und in Bezug auf die Fragestellungen beantwortet werden kann. Die Fragestellungen werden hier noch einmal wiederholend genannt:

F1: Welche physischen Faktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F2: Welcher Akzeptanzfaktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F3: Welche Aspekte werden aus Sicht der Pflegenden erwartet, um Exoskelette in der Pflegepraxis zu implementieren?

Um die Zuverlässigkeit der Daten zu gewährleisten, wurden die fünf Kriterien Glaubwürdigkeit (credibility), Übertragbarkeit (transferability), Abhängigkeit (dependability), Bestätigung (confirmability) und Reflexivität (reflexivity) nach Lincoln und Guba (1985), (Flick, 2010, S.401f.) und Korstjens und Moser (2018, S. 121) angewendet und durch die zwei Kriterien der Intercoder-Reliabilität (Objektivität) und Intracoder-Reliabilität (Reliabilität) und theoriegeleitetes Kategoriensystem (Konstruktvalidität) nach Mayring und Brunner (2009, S. 677) ergänzt. Die Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Gütekriterien, ihre Definition, die Art der zu überprüfenden Forschungsqualität und die Strategie, mit der diese in der vorliegenden Arbeit überprüft wurden.

Gütekriterium	Definition	Überprüfung	Strategie
1. Glaubwürdigkeit	Ausmaß der Vertrauenswürdigkeit in den Wahrheitsgehalt der Forschungsergebnisse	Inwiefern repräsentieren die Forschungsergebnisse plausible Informationen, die den Originaldaten entstammen und korrekte Interpretationen der ursprünglichen Sichtweisen der Teilnehmenden darstellen?	Member Checking der Transkripte
2. Übertragbarkeit	Ausmaß der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Kontexte	Wie ausführlich wird die Datenerhebung beschrieben?	Thick description
3. Abhängigkeit	Ausmaß der Verlässlichkeit der Ergebnisse,	Inwiefern bleiben die Ergebnisse über den Forschungsprozess hinweg stabil und sind	Audit Trail/ Studienprotokoll

	Interpretationen und Empfehlungen der Studie	durch die (von den Befragten erhaltenen) Daten unterstützt?	
Bestätigung	Ausmaß der Bestätigbarkeit der Ergebnisse von anderen Forschenden	Inwiefern lässt sich feststellen, dass die Daten und Interpretationen der Ergebnisse eindeutig aus den Daten abgeleitet sind?	audit trail/ Studienprotokoll
4. Reflexivität	Prozess der kritischen Selbstreflexion in Bezug auf sich selbst als forschende Person	Inwiefern wird die eigene Person (mit ihrer Voreingenommenheit, ihren Präferenzen und Vorurteilen) sowie die Forschungsbeziehung (zur befragten Person und Einfluss dieser auf ihre Antworten) kritisch reflektiert?	Reflexive Journal
5. Intercoder-Reliabilität	Codierung der Fundstellen und Überprüfung der Zuordnung zu den jeweiligen Kategorien durch eine*n zweite*n Forscher*in im Austausch und Diskussion mit der Forscherin	Inwieweit repräsentieren die Fundstellen plausibel bereits erstellte Kategorien und werden diese von einer anderen Codierer*in genauso interpretiert?	Zweit-Codierer*in (nach Sättigung des Materials) überprüft Fundstellen und ordnet diese den Kategorien zu, bei Abweichungen findet eine konsensuelle Diskussion statt
8. Intracoder-Reliabilität	Im Prozess der Auswertung überprüft und vergleicht die Forscherin in der wiederholenden Iteration die ursprünglichen Codierungen.	Müssen Kategorien und Codes angepasst und überarbeitet werden?	Forscherin überprüft und analysiert immer wieder Codes, Kernkategorien anhand der Untersuchung des Materials
9. Konstruktvalidität	Bezieht sich auf die Gültigkeit des eingesetzten Messinstruments	Erfassen die Fragen des halbstandardisierten Interviews den Gegenstand der Forschungsfrage?	Deduktiv-induktives Kategoriensystem

Tabelle 12: Gütekriterien - Definition und Umsetzung, Datenquelle: Lincoln und Guba (1985), Korstjens und Moser (2018), Mayring und Brunner (2009)

- 1) Das Member Checking nach Lincoln und Guba (1985) (Flick, 2010, S. 401) diente der Analyse, Interpretation und Schlussfolgerung der Befragten selbst, indem die Transkripte der jeweiligen Befragten per E-

Mail zugesandt wurde. Die Befragten konnten dieser Rückmeldung in der Einverständniserklärung freiwillig zustimmen. Textpassagen konnten von den Befragten innerhalb des Transkripts hinzugefügt, geändert und gelöscht werden und sollten an den entsprechenden Stellen markiert und wieder an die Forscherin zurückgeschickt werden.

- 2) Die „thick description“ nach Korstjens und Moser (2018) wurde verwendet, um nicht nur das Verhalten und die Erfahrungen der Forscherin nach den Interviews zur Beschreibung der Stichprobe zu nutzen, sondern auch den Kontext und die Charakteristika der Befragten zu ergänzen.
- 3) Die qualitative Erhebung wurde ebenso in das Studienprotokoll hinzugefügt und beschreibt von Beginn des Forschungsprojekt transparent die Forschungsschritte. Korstjens und Moser (2018) bezeichnen diesen Schritt als Prüfplan (engl. audit trail).
- 4) Die Gedanken der Forscherin wurden reflexiv und systematisch innerhalb eines Forschungstagebuchs festgehalten und werden neben dem Prüfplan (3) im Datei-Ordner festgehalten (Nadin & Cassell, 2006)
- 5) Nach der ersten Sättigung des Kategoriensystems wird die Intercoder-Übereinstimmung durch eine zweite Codierperson überprüft. Strübing et al. (2018, S. 89) verstehen unter „empirischer Sättigung“ die Durchdringung des Interviewmaterials, in dem „in einer Fülle verschiedener beobachtbarer Ausprägungen und Elemente demonstriert und so die Relevanz des Phänomens für das Material und die Fragestellung aufgezeigt werden kann“.

In einem ersten Schritt wurde der Codierperson das Kategoriensystem und die Codierregeln vorgestellt und exemplarisch an einem Interviewausschnitt veranschaulicht. Der zweite Schritt beinhaltete das unabhängige Codieren von zwei Interviewtranskripten, in dem die Forscherin und die zweite Codierperson dieselben Transkripte codiert haben (Klein, 2014, S. 1559). Der letzte dritte Schritt war ein Vergleich der Codierungen mit der Forscherin und Zweitcodierperson, hier wurden auf die Zuordnungen der Kategorien geprüft. Bei unterschiedlichen Ergebnissen wurde über die Definitionen der Kategorien und der

Codierregeln der Fundstellen konsensuell zwischen der Forscherin und Zweitcodierperson diskutiert (ebd.)

- 6) Die Fragen wurden anhand von Theorie gestützt und der Grad der Relevanz anhand einer Literaturrecherche gemessen (Mayring, 2015).

Member-Checking

Die transkribierten Interviews wurden den 33 Befragten für das Member-Checking vor der Analyse zur Verfügung gestellt, vier Interviews wurden ergänzt und überarbeitet. 25 der Interviewten stimmten dem Transkript zu, vier Interviewte meldeten sich nicht zurück. Bei den Überarbeitungen wurden nur kleine Ergänzungen vorgenommen, wo im Transkript ein Fragezeichen (?) für Unverständnis stand, wurde dies durch Kommentare der vier Interviewten ergänzt und einmal ein Satz gestrichen.

Codierleitfaden

Es wurde ein Codierleitfaden entwickelt, der die Definitionen der einzelnen Kategorien mit entsprechenden Ankerziten und ggf. Codierregeln enthält. Themengenerierung, Codierung und Erstellung des Codierleitfadens erfolgten in einem iterativen Prozess, um einen Rückbezug zum Datenmaterial zu erhalten. Die inhaltsanalytische Analyseeinheit wurde definiert und umfasste die Codiereinheit, die Kontexteinheit und die Auswertungseinheit nach Mayring (2015):

- Codiereinheit (Min.): Sinneinheit (mindestens ein Satz, auch ganzer Absatz möglich)
- Kontexteinheit (Max.): gesamtes Material einer Person
- Auswertungseinheit: Textstellen des Transkriptes zum jeweiligen Erhebungszeitpunkt

Aus einer initialen Textarbeit (Paraphrasierung und Abstrahierung bedeutungsvoller Textstellen) (Schritt 1 der Auswertung) wurden erste Codes generiert (Schritt 2). Hierzu wurde vorab aus den Forschungsfragen und der Theorie zur Technikakzeptanz deduktiv das Codesystem in seinem Grundgerüst entwickelt. Ein Ausschnitt des Codierleitfadens zeigt Tabelle 13, der vollständige Codierleitfaden ist im Anhang (s. Anhang 8) aufgeführt.

	Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Codierregel
1 Oberkategorie (OK), deduktiv	Physische Faktoren	Stellungnahmen zum eigenen physischen Körperempfinden und der Veränderung beim Tragen des Exoskeletts.		
1.1 Unterkategorie (UK), induktiv	Reduktion des körperlichen Erschöpfungszustands	Aussagen, sich durch das Tragen des Exoskeletts während der Arbeitszeit weniger als erwartet, müde zu fühlen und dadurch mehr Energie während des Tages und am Abend zu haben.	„Ich wäre wahrscheinlich am Ende des Tages zumindest nicht so kaputt vom Mobilisieren. Also, ja, dadurch die Leistungsfähigkeit wäre natürlich erhöht, weil ich ja am Abend nicht ganz so ausgelaugt oder, ja, erschöpft bin.“(I20, Pos.15)	Aussagen zur Verringerung der Erschöpfung über den Tag und dadurch auch am Abend noch mehr Energie zu haben.

Tabelle 13: Ausschnitt aus dem Codierleitfaden

Durch das Erstellen thematischer Karten, *thematic maps*, in Schritt 3 und 4, konnte das Datenmaterial strukturiert und analysiert werden. Über die MAXMaps der Visual Tools in MAXQDA wurden die zugewiesenen paraphrasierten Codes eingefügt und Sinnzusammenhänge generiert, aus dem sich eine Überarbeitung und Komprimierung der Themen ableiten ließ, wodurch sich ein neues Clustering vornehmen ließ. Das finale Ergebnis von diesem Prozess ist in Anhang 13 wieder zu finden.

6.3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der qualitativen Befragung von berufserfahrenen professionell Pflegenden dargestellt. Die Beschreibung der Stichprobe erfolgte bereits in Kapitel 3.3, so dass zunächst die Ergebnisse des Pretests und anschließend die Auswertung der Interviewdaten beschrieben werden. Im Hinblick auf die Forschungsfrage werden die zentralen Themen und Positionen herausgearbeitet und in den Themenblöcken: physische Faktoren, Exoskelett Nutzung, Rahmenbedingungen der Einrichtung und prozessbezogene Faktoren, systematisch aufgezeigt.

6.3.1 Pretests zum Interview-Leitfaden

Für die Pre-Test-Durchführung wurden eine fachfremde Person und eine Person aus der Pflegeversorgung rekrutiert. Zunächst wurde der erste Pre-Test mit der fachfremden Person durchgeführt. Der Pre-Test dauerte 14 Minuten und lag damit im gewünschten Zeitrahmen. Die Interviewdauer erschien passend in Bezug auf die eingegrenzten Themen, da durch die Anzahl (n=33) der interviewten Personen von einer „empirischen Datensättigung“ ausgegangen wurde. Die Struktur des Gesprächs war noch nicht passend, konnte allerdings immer wieder über die Gesprächsführung mithilfe der Fragen gut gesteuert werden. Es ergaben sich folgende Änderungen für den in Pre-Test 1 getesteten Interview-Leitfaden (Version 1) zu Version 2:

- Die Einstiegsfrage wurde mit einer anderen, späteren Frage getauscht, um einen leichteren Erzähleinstieg für die Befragten herzustellen. Der Einstieg wurde nicht über die Frage: „Würden Sie sich nach einer Schulung selbst zutrauen, dass Exoskelett in Ihrer Arbeit zu benutzen?“ (Version 1) initiiert, sondern über die Frage und Erzähleinstieg: *Wenn Sie sich nochmal in die Versuchssituation hineinversetzen, als Sie das Exoskelett getragen haben... Wie haben Sie das Benutzen des Exosketts wahrgenommen?* (Version 2)
- Weitere Änderungen: Präzisierung:
 - Version 1: Wie schätzen Sie Ihre Fähigkeiten ein, das Exoskelett eigenständig, nach einer Schulung, in Ihrer Tätigkeit einzusetzen?
 - Version 2: Würden Sie sich nach einer Schulung selbst zutrauen das Exoskelett in Ihrer Arbeit zu benutzen?
- Präzisierung der Frage 6:
 - Version 1: Was sehen Sie als die maßgeblichen Herausforderungen an, die es zu bewältigen gilt, um die Implementierung eines Exosketts in Ihrem beruflichen Umfeld zu realisieren?
 - Version 2: Was sind, Ihrer Meinung nach, die größten Herausforderungen, um ein Exoskelett bei Ihnen auf der Arbeit einzusetzen?

Das Interview von Pre-Test 2 mit der Version 2 des Interviewleitfadens dauerte insgesamt 13 Minuten. Die Gesprächsführung wurde von der interviewten Person als flüssig empfunden. Es war klarer, worauf die einzelnen Fragen abzielten. Die Einleitung ins Thema zu Beginn des Interviews wurde noch klarer herausgearbeitet. Es konnten präzise inhaltliche Aussagen zu den Fragen erfasst werden. Nach dem Interview gab die interviewte Person ein ausführliches Feedback. Die Frageformulierungen wurden als passend empfunden und das Gespräch fand in der Wahrnehmung des Gegenübers „auf Augenhöhe“ statt. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die Version 2 des Interviewleitfadens angewendet werden kann.

6.3.2 Entwicklung des Code-Systems

Zu den drei Forschungsfragen (F1, F2, F3) wurden zwei Oberkategorien für die erste Forschungsfrage gebildet: Physische Faktoren (F1) Exoskelett Akzeptanz (F2) und

weitere zwei Oberkategorien für die dritte Forschungsfrage (F3): Rahmenbedingungen der Pflegeeinrichtung und Prozessbezogene Faktoren.

In Folge dieses Prozesses und der Vorgehensweise der thematischen Analyse bildete sich das deduktive Grundgerüst mit seinen induktiven Anteilen aus dem Material heraus. Die detaillierten Ergebnisse sind pro Oberkategorie in die folgenden Unterkapitel dargestellt. Zusammenfassend beinhaltet das Code-System folgende Ebenen:

- Ebene 1: Oberkategorien, deduktiv-induktiv
- Ebene 2: Unterkategorien, deduktiv-induktiv
- Ebene 3: Unterkategorien von Ebene 2, induktiv

Abbildung 20 zeigt das gesamte Code-System inklusive der Definitionen der Oberkategorien. Enthalten sind hier die Ebenen 1 und 2.

F1 Physische Faktoren	F2 Exoskelett Akzeptanz	F3 Rahmenbedingungen der Einrichtung	F3 Prozessbezogene Faktoren
<p>Kategorien Definition: Stellungnahmen zum eigenen physischen Körperempfinden und der Veränderung beim Tragen des Exoskeletts.</p>	<p>Kategorien Definition: Aspekte über das Exoskelett selbst und übergeordnete Aspekte, die eine Akzeptanz des Exoskeletts in der Praxis beeinflussen.</p>	<p>Kategorien Definition: Äußerungen zu Rahmenbedingungen der Pflegeeinrichtung sowie fördernden und hemmenden Faktoren, die seitens der Pflegenden erwartet werden.</p>	<p>Kategorien Definition: Reflexion über Prozesse in der Praxis, die ein implementieren des Exoskeletts beeinflussen können.</p>
<p> Bewusstsein für Körperhaltung</p> <p> Eingeschränkte Bewegung</p> <p> Reduktion d. körperlichen Erschöpfungszustands</p>	<p> Designanpassung für Pflege</p> <p> Risikofaktoren Konstruktion</p> <p> Einsatz Belastungsspitzen</p> <p> Komfort in der Interaktion</p> <p> Bedienungs-Freundlichkeit</p>	<p> Kostenfaktor</p> <p> Personalschlüssel</p> <p> Krankheitstage/Prävention</p>	<p> Schulung</p> <p> Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege</p>
			<p> Deduktive Kategorie</p> <p> Induktive Kategorie</p> <p> Weitere Unterkategorien</p>

Abbildung 20: Gesamtes Code-System, F1, F2 und F3 mit den Ebenen 1 und 2, eigene Darstellung

Die Überprüfung der Themen und Inhalte des Codierleitfadens fand durch Besprechungen und im Austausch mit der Erstgutachterin und zwei weiteren Wissenschaftler*innen aus dem Fachbereich Pflegewissenschaft statt. Zwei Interviews wurde mit einer Einführung in den Codierleitfaden, zweitcodiert, wobei als Übereinstimmungsmaß Cohens Kappa herangezogen wurde (Landis & Koch, 1977). Die erzielte Intercoderreliabilität lag bei einem Kappa-Wert von 0,68 ($K = 0.84 - 0.5 / 0.5 - 1$) und kann als solide interpretiert werden (solide = 0.61 bis 0.80). 13 Zuordnungen

zu den gleichen Kategorien wurden erreicht, die abweichenden Zuordnungen (2 bei Codiererin 1 und 3 bei Codiererin 2) erfolgten im Diskurs und es konnte ein Konsens gefunden werden. Die Berechnung erfolgte anhand der Vierfeldertafel (Tabelle 14), und der Formel: $K = P_0 - P_e / P_e - 1$.

		Codiererin 1		Gesamt
		keine Übereinstimmung	Übereinstimmung	
Codiererin 2	keine Übereinstimmung	13	2	15
	Übereinstimmung	3	13	16
	Gesamt	16	15	31

Tabelle 14: Vierfeldertafel zur Berechnung der Interrater-Reliabilität

6.4 Zentrale Themen und Positionen

In Bezug auf die drei Fragestellungen ergaben sich aus den 33 Interviews insgesamt vier Themenschwerpunkte, die nun in den folgenden Kapiteln dargestellt werden. Die Kapitel gliedern sich in die eingangs genannten Forschungsfragen, die inhaltliche Ausrichtung sowie die quantitativen Angaben zu den Codes der jeweiligen Kategorie. Eine Visualisierung des Codesystems veranschaulicht die jeweiligen deduktiven und induktiven Kategorien und wird durch die anschließende Beschreibung der Ergebnisse ergänzt. Entsprechende Ankerzitate dienen der Veranschaulichung der Ergebnisse.

6.4.1 Physische Faktoren

In Bezug zur ersten Forschungsfrage F1 wird untersucht: Welche physischen Faktoren können im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert werden? Die Oberkategorie *Physische Faktoren* umfasst inklusive der Subkategorien insgesamt 110 Codes. Es wurden drei Themen bzw. induktive Unterkategorien herausgearbeitet: *Reduktion des körperlichen Erschöpfungszustands* (12 Codes) und *Bewusstsein für Körperhaltung* (29 Codes). Die zweite Unterkategorie *Bewusstsein für Körperhaltung* differenziert sich auf einer dritten Ebene: *Gefühl der Unterstützung* (24), *Kaum körperlich spürbarer Effekt* (8), *Stabilität und Sicherheit* (20) und *Reduktion der körperlichen Belastung* (8) (Abbildung 21).

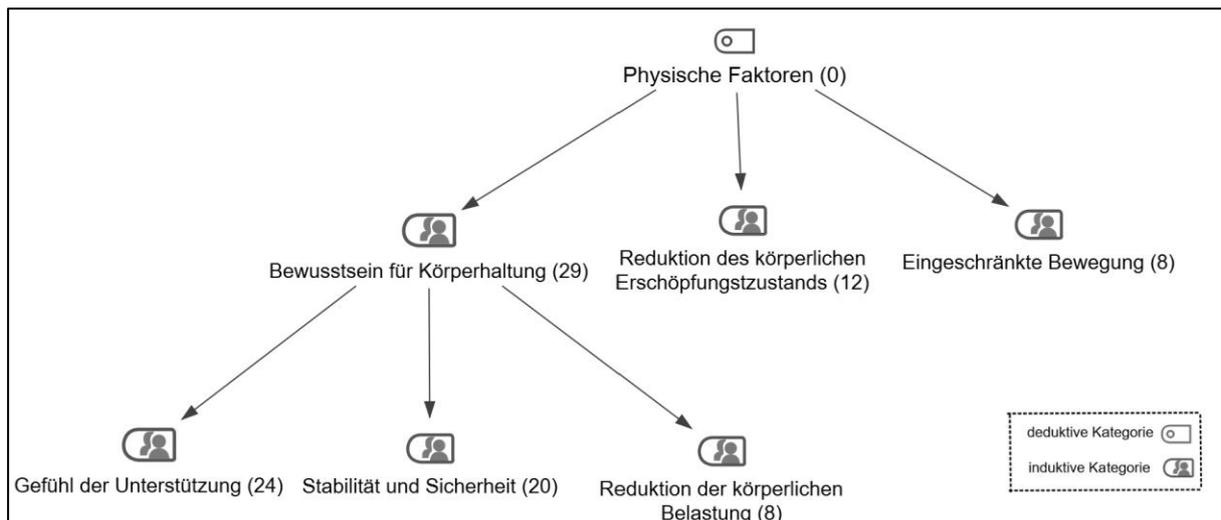


Abbildung 21: Code-System zu F1, Physische Faktoren

Zu Beginn des Interviews wurde gefragt, ob die Pflegenden das Gefühl haben, dass sich ihre Körperhaltung durch das Exoskelett verändert. Diese Frage ermöglichte es, das individuelle körperliche Empfinden einer Veränderung zu erfassen und diente gleichzeitig als Grundlage für die Folgefrage. Die Folgefrage zielte darauf ab, ob Leistungssteigerungen durch das Tragen des Exoskeletts von den Pflegenden erwartet werden. Aus dem Material entwickelte sich die Kategorie ‚Reduktion der körperlichen Belastung‘.

Bewusstsein für Körperhaltung

Die Auswertung zur Kategorie ‚Bewusstsein für Körperhaltung‘ zeigten Unterschiede in der Wahrnehmung des körperlichen Empfindens durch das Tragen des Exoskeletts auf. Nach Aussagen der Pflegenden würde das Tragen des Exoskeletts dazu führen, dass die Körperhaltung bewusster wahrgenommen wird (I16, Pos. 9, I14, Pos.9) und, „dass man natürlich schon bisschen rauskommt mit der Brust und Schultern zurück, wo man sonst ebenso bisschen durchhängt. Und das ist sicher nicht schlecht“ (I14, Pos.9). Eine andere Befragte empfindet das Exoskelett als zusätzlichen äußeren Halt, was in der Folge dazu führen könnte, dass Bewegungen und Körperhaltungen bewusster wahrgenommen werden (I3, Pos. 25) und insbesondere die Verbindung der „Zwischenarbeit“ von Beinen und Rücken gespürt wird (I22, Pos. 8). Bei der Beschreibung der Veränderung der Körperhaltung wird betont, dass die Aufrichtung des Rückens mit einer Sensibilisierung der Körperhaltung zusammenhängt:

„Ja, man hat automatisch-, hat man-, also, hält man den geraden Rücken. Automatisch. Und ich, also, was ich jetzt selber auch merke, der Unterschied zwischen ohne und mit, also, egal, ob mit Unterstützung oder ohne Exoskelett und mit Exoskelett ist, dass ich ohne sehr stark damit ins Hohlkreuz gehe, weil ich dann versuche, dem entgegenzuwirken, dass ich den Rücken rund mache und dann gehe ich selbst dann ins Hohlkreuz. Also das ist mir-, ich weiß nicht, ob es wirklich so war oder ob das nur mein Gefühl ist, dass ich einfach eine schlechtere Haltung in dem Sinne habe, wenn ich-, als ich es ohne-, als ich ohne transferiert habe.“ (I26, Pos.17)

Vier Befragte ergänzen, dass die bewusste Wahrnehmung der Körperhaltung durch das Exoskelett eine Hilfe und Unterstützung im pflegerischen Alltag insbesondere beim Heben sein könne (I32, Pos.19, I7, Pos. 13, I32, Pos.13) und auch während langen Arbeitstagen eine sehr gute Hilfe sein könne, um eine „rückenschonende Haltung“ bei anstrengenden Tätigkeiten im Pflegealltag einzunehmen (I7, Pos. 13). Eine Befragte schildert es wie folgt:

„[...] weil man einfach bewusster hebt. Sonst geht man einfach schnell hin und hebt dort, auch mal in Situationen, wo du nicht so gutstehst. Und mit dem Exoskelett musst du dich einigermaßen platzieren.“ (I32, Pos.13)

Im weiteren Verlauf der Interviews wurden die Auswirkungen bzw. die körperliche Handlungsänderung detaillierter beschrieben und in den Interviews erläutert. Aus dem Material entstanden dann die weiteren Unterkategorien: *Gefühl der Unterstützung, kaum körperlich spürbarer Effekt, Stabilität und Sicherheit* und *Reduktion der körperlichen Belastung* (vgl. Unterkategorien Abbildung 21).

Gefühl der Unterstützung

Die Pfleger*innen geben an sich durch das Exoskelett in ihren Bewegungen unterstützt zu fühlen und sind teilweise auch positiv über die Wirkung des Exoskeletts überrascht (I26, Pos.35). Die Unterstützung könne man sich sehr gut im Alltag mit den Gepflegten und im täglichen Einsatz vorstellen, um beispielsweise auch einfach nur mal „zu verschnaufen“ (I24, Pos. 19). Generell sei die Unterstützung deutlich spürbar gewesen und als eine Erleichterung beim Transfer wahrgenommen worden (I29, Pos. 21). Die Befragten (I25, Pos.3; I29, Pos. 21) beschreiben den Einsatz eines Exoskeletts als

sinnvolle Unterstützung für den Rücken, vor allem in Bezug auf die tägliche Arbeitsbelastung beim Mobilisieren von Patient*innen (I23, Pos. 23).

Kaum körperlich spürbarer Effekt

Insgesamt fallen 8 Codes in diese Skalierung der Unterkategorie ‚Gefühl der Unterstützung‘, die Aussagen zu einem kaum spürbaren Effekt beim Transfer beinhaltet und im Widerspruch zu der Wahrnehmung von anderen Befragten steht, die das Gefühl der Unterstützung haben. Die Gründe für das Gefühl, kaum Unterstützung zu spüren, sind unterschiedlich und beinhalten eine Kompensation durch eine gute Technik beim Transfer (I12, Pos. 3), eine gute körperliche Verfassung (I31, Pos.5) oder die Erwartung von mehr Unterstützung beim Transfer von schweren Personen (I28, Pos. 15). Die eigenen körperlichen Ressourcen wurden teilweise hoch eingeschätzt, so dass der Einsatz und die Unterstützung durch ein Exoskelett keinen großen Unterschied machen:

„Es mag jetzt bei sehr, sehr hoher Belastung dann das Quäntchen bringen, das einen dann vielleicht auch gesund erhält oder so. Oder-, aber man-, so, da war jetzt bei der Belastung schon noch meinerseits Reserven da, dass ich sage, gut, das Exoskelett, das reißt es jetzt auch nicht mehr raus.“ (I14, Pos. 5).

Stabilität und Sicherheit

Die Befragten äußern in dieser Kategorie (22 Codes) eine körperliche Stabilität oder z.B. eine „stabile Haltung“ (I13, Pos. 15) durch das Tragen des Exoskeletts zu spüren und betonen die Wirkung vor allem im Rückenbereich, wo sie das Exoskelett als „Stütze“ (I10, Pos. 3) beschreiben. Eine andere Person spricht in diesem Zusammenhang von einem Gefühl der Sicherheit: *„Und es gibt ja dann so auch dieses Sicherheitsgefühl. Man fühlt sich ein klein wenig stabilisiert durch dieses Exoskelett.“* (I1, Pos. 9). Das Gefühl der Stabilität wird gleichzeitig auch mit einer Arbeitserleichterung in Verbindung gebracht (I16, Pos. 3).

Reduktion der körperlichen Belastung

Die Veränderung der körperlichen Belastung wurde von den Befragten sowohl während des Transfers als auch teilweise erst nach den Versuchen bzw. im Vergleich zur Bewegung ohne Exoskelett wahrgenommen. *„Vor allen Dingen jetzt in der dritten Phase habe ich gemerkt-. Also erste Phase war ok, zweite Phase habe ich gemerkt,*

es ist anstrengender, dritte Phase jetzt mit dem Skelett war erleichternder.“ (I12, Pos. 3). Eine der befragten Personen nimmt die Reduktion der körperlichen Belastung sofort wahr:

„Vielleicht sieht man das am Anfang nicht, aber ich habe es sofort gemerkt bei diesem Transfer, dass die Schulter jetzt nicht mehr so wehgetan hat wie ohne. Die Belastung war viel mehr auf der linken Seite. Und mit dem (?Exo)-Anzug fast nicht mehr. Also, ich habe die Verbesserung sofort gemerkt.“ (I29, Pos. 15).

Eingeschränkte Bewegung

Die 8 codierten Segmente beinhalten Aussagen zum eingeschränkten Gefühl in der Bewegung. Häufig fühlte sich das Gehen eingeschränkt an (I5, Pos. 5; I24, Pos. 5; I31, Pos. 13) und das Exoskelett wurde als ein „starres Gerüst“ (I11, Pos. 3) wahrgenommen. Eine befragte Person äußert sich wie folgt über das Gefühl in der Bewegung mit dem Exoskelett: *„Ja, dass es-, dass ich mich-, dass es mich einfach einschränkt, dass ich ein Gefühl habe, in dem Skelett zu sein, dass ich nicht so frei beweglich bin.“ (I12, Pos. 5).*

6.4.2 Exoskelett Akzeptanz

Mit der Forschungsfrage F2 soll neben den physischen Faktoren, die Akzeptanz des Exoskeletts (F2) im Allgemeinen untersucht werden. Insgesamt umfasst die Oberkategorie ‚Exoskelett Akzeptanz‘ 142 Codes und unterteilt sich in jeweils zwei deduktive und drei induktive Subkategorien auf, wie das Code-System in Abbildung 22 zeigt.

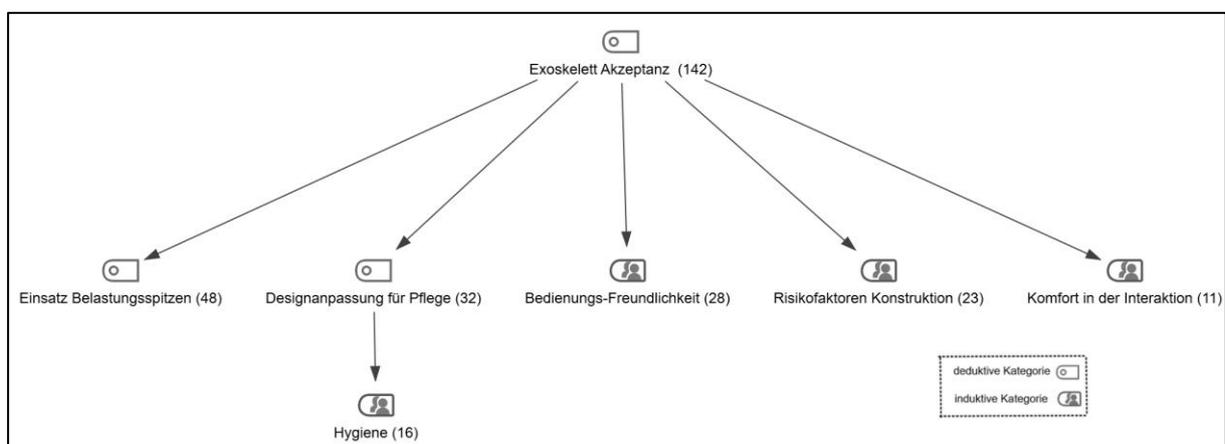


Abbildung 22: Code-System zu F2, Exoskelett-Akzeptanz

Die Kategorien ‚Bedienungs-Freundlichkeit‘ und ‚Komfort in der Interaktion‘ basieren auf dem „Technology Acceptance Model“ (TAM III), in dem die Nutzung von Technologien von zwei Variablen abhängt: Der wahrgenommenen Nützlichkeit und der Benutzer*innen-Freundlichkeit (Davis, 1989; Venkatesh & Bala, 2008). Die Nutzung von Exoskeletten hängt nach Baltrusch et al. (2018) von der Arbeitsumgebung und der Interaktion (Komfort) ab. Die Funktionalitäten, die Benutzer*innen-Freundlichkeit und der Nutzen des Exoskeletts sind entscheidende Faktoren dafür, ob eine Technologie von den Benutzer*innen angenommen wird (Riemer & Wischniewski, 2023), daraus folgten die deduktiven Kategorien ‚Bedienungs-Freundlichkeit‘ und ‚Komfort in der Interaktion‘. 28 Aussagen wurden der deduktiven Kategorie ‚Bedienungs-Freundlichkeit‘ und 11 Aussagen der deduktiven Kategorie ‚Komfort in der Interaktion‘ zugeordnet. Zur Untersuchung der Nutzung des Exoskeletts wurde zunächst die Frage gestellt: „Wenn Sie sich noch einmal in die Versuchssituation versetzen, in der Sie das Exoskelett getragen haben... Wie haben Sie die Nutzung des Exoskeletts empfunden?“. Mit der anschließenden Frage nach den Vorannahmen/Erwartungen, der Einstellung zu einem Exoskelett im Allgemeinen, sollten Erkenntnisse über das eigene Nutzungs- und Bedienungsempfinden in der Interaktion mit dem Exoskelett gewonnen werden: „Hat sich das Exoskelette beim Benutzen so verhalten, wie Sie es erwartet haben?“.

Im weiteren Verlauf der Interviews sollten weitere Erkenntnisse zu möglichen Herausforderungen beim Einsatz von Exoskeletten in der Pflege gewonnen werden, die auf der Forschungsfrage (F2) basierten und mit der Interviewfrage: „Was sind, Ihrer Meinung nach, die größten Herausforderungen, um ein Exoskelett bei Ihnen auf der Arbeit einzusetzen?“ beantwortet werden sollten. Neben den Herausforderungen wurde im weiteren Gesprächsverlauf auch nach möglichen Chancen gefragt. Aus der Interviewfrage entwickelten sich drei induktive Kategorien, die als ‚Designanpassung für Pflege‘ (16 Codes) und der Unterkategorie ‚Hygiene‘ (16 Codes), ‚Einsatz bei Belastungsspitzen‘ (48 Codes) und ‚Risikofaktoren Konstruktion‘ (23 Codes) bezeichnet wurden. Die Konstruktion des Exoskeletts und der Wunsch nach einem praktikableren „weniger klobigen“ (I8, Pos. 7) Design wurde von den Pflegenden genannt (‚Designanpassung für Pflege‘). Die Pflegenden schilderten Situationen, in denen es passieren kann, dass Sie mit dem Exoskelett an Geräten und Schläuchen hängen bleiben oder Patient*innen sich beim Transfer und Festhalten am Exoskelett

einklemmen können (‚Risikofaktoren Konstruktion‘). Unter der Kategorie ‚Einsatz bei Belastungsspitzen‘ wurden v.a. Einsatzszenarien des Exoskeletts genannt, in denen Pflegende hohen körperlichen Belastungen ausgesetzt sind, wie z.B. langes, nach vorne verlagertem Stehen beim Lagern von bettlägerigen Gepflegten. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Aussagen zu den fünf verschiedenen Kategorien dargestellt, wobei zunächst die deduktiven und anschließend die induktiven Kategorien vorgestellt werden.

Bedienungs-Freundlichkeit

Das An- und Ausziehen sowie die einfache Handhabung des Exoskeletts werden von den Befragten als angenehm empfunden (I3, Pos. 11), sie könnten sich vorstellen, das Exoskelett auch im Arbeitsalltag zu tragen. Es ließe sich einfach einrasten und würde ohne Probleme funktionieren (I9, Pos. 9), zudem müsse „nur ein Knopf gedrückt“ werden und „sich vor- und zurückbeugen“ (I31, Pos. 9). Es besteht das Selbstvertrauen, das Exoskelett selbstständig anzulegen und zu nutzen (I16, Pos. 7).

Gleichzeitig kann sich eine Befragte vorstellen, das Exoskelett nur dann zu nutzen, wenn es mit wenigen Handgriffen angelegt werden kann, um es schneller in den Arbeitsprozess zu integrieren:

„Also dass man es schneller an- und ablegen kann. Dass man nicht noch hier einen Gurt und da einen Gurt, sondern man zieht schnell an, hebt den Patienten von OP-Liege oder transferiert ihn von OP-Liege ins Bett wieder. Und dann kann ich es mir schon gut vorstellen.“ (I2, Pos. 21)

Komfort in der Interaktion

Die Befragten geben in dieser Kategorie unterschiedliches Komfortempfinden an, die sich in der Vorstellung unterscheiden und zum einen das langfristige Tragen als unangenehm beschreiben und zum anderen das kurzfristige Tragen als angenehm. Wenn das Exoskelett den ganzen Tag getragen werden müsste, könnte es nach acht Stunden Tragen unangenehm werden (I15, Pos. 15; I12, Pos. 5), man könnte durch das Tragen des Exoskeletts vermehrt schwitzen. Gleichzeitig wurde das punktuelle, kurze Tragen während des Transfers als „sehr, sehr angenehm“ (I25, Pos. 3) empfunden. Die Vorstellung einer befragten Person ging eher davon aus, dass sich das Exoskelett wie eine „zweite Haut“ anfühlt (I30, Pos. 7).

Designanpassung für Pflege

Die Pflegenden haben verschiedene spezielle Anpassungen und Ideen für das Exoskelett entwickelt, die nun stichpunktartig aufgelistet werden:

- Körperbetonter (I15, Pos. 3)
- Griff zum Festhalten für Patient*innen (I1, Pos. 17)
- Kompakter (I8, Pos. 25)
- Gewicht reduzieren und Umfang enganliegender (I23, Pos. 37)

Die Interviewten betonen die Notwendigkeit von Designanpassungen des Exoskeletts in Bezug auf Notfallsituationen und die räumliche Gegebenheit in Kliniken. Enge Räume und Zimmer mit vielen Betten erschweren den Einsatz des Exoskeletts, da es zu viel Platz einnehmen würde (I30, Pos. 17; I31, Pos. 21; I33, Pos. 41). In Notfallsituationen, wie beispielsweise bei einer Reanimation mit vielen Beteiligten, könnte das Exoskelett Pflegekräfte eher einschränken und seine Anwendung in einer solchen Situation schwierig sein (I30, Pos. 17). Zusätzlich sollte das Exoskelett an die Umgebung angepasst sein und dürfte nicht zu sperrig sein, um effektiv genutzt werden zu können (I33, Pos. 41, I33, Pos. 29, I8, Pos.7).

Hygiene

Im Zusammenhang mit den ‚Designanpassungen für Pflege‘ wurden auch Themen zur Unterkategorie ‚Hygiene‘ (16 Codes) genannt. Das Exoskelett müsse wegen des engen Körperkontakts zu den Gepflegten desinfizierbar sein und vor allem bei isolierten Patient*innen oder Patient*innen mit multiresistenten Keimen gereinigt werden können (I32, Pos. 29; I22, Pos. 29; I9, Pos. 21). Eine Person stellt das Tragen des Exoskeletts auch unter der Kleidung in Frage:

„Dann im Isolationsbereich ist es auch schlechter zu reinigen. Wenn ich jetzt in einem Iso-Zimmer bin und einfach nur einen Kittel drüber habe, muss ich es ja trotzdem reinigen, dass das dann-, also, im Isolationsbereich schlecht anwendbar. Und wenn ich dann mit unserem Desinfektionsmittel drüber gehe, da (???) also, da ist ja auch mitteilen mit dabei und das korrodiert ja dann mit dem scharfen Zeugs dann.“ (I32, Pos.21)

Risikofaktoren Konstruktion

Im Zusammenhang mit dem Arbeitsplatz und der Umgebung wurden Risikofaktoren genannt, die laut den Befragten durch das Tragen des Exoskeletts entstehen könnten. Es könne passieren, dass Drainagen oder Kabel aus Versehen durch das Exoskelett herausgezogen werden (I11, Pos. 17) oder „man dann einfach irgendwo dagegen läuft“ (I2, Pos. 23).

Gerade auch in der Interaktion mit Patient*innen werden Klemmgefahren (I7, Pos. 25) oder auch Verletzungsrisiken erkannt (I6, Pos. 21). Mehrere Befragte hatten Bedenken im Umgang und der Interaktion zwischen Patient*innen mit Demenz, welche Ängste vor einem Exoskelett entwickeln könnten (I12, Pos. 25; I13, Pos. 19) oder „da dran rumschrauben [an mir], weil sie das interessant finden“ (I13, Pos. 19).

Einsatz in punktuellen Belastungssituationen

Der Einsatz des Exoskeletts wurde von vielen Befragten in punktuellen Belastungssituationen gesehen (I14, Pos. 14), hier wurde u.a. langes, nach vorne gebeugtem Stehen beim Lagern von bettlägerigen Patient*innen (I5, Pos. 3; I9, Pos. 9) oder der Nutzen in allgemeinen Belastungssituationen in der Pflege genannt:

„Und deswegen, glaube ich, ist das vor allen Dingen eigentlich für solche Situationen, wo man dann schnell irgendwie handelt, da nimmt es einfach viel Belastung raus. Und davon gibt es genügend Situationen. Also, ich denke, da wäre schon viel Potenzial da.“ (I27, Pos. 15)

„[...] ich bin jetzt positiv überrascht (???) (?Anzug), dass es doch schon eine Entlastung wäre für die Pflege. Also, für den Transfer.“ (I29, Pos. 5)

Vor allem der Einsatz zum Transfer oder zur Mobilisation in verschiedenen Situationen und Bereichen wurde häufiger genannt. Bei der Frage nach der Einsatzfähigkeit des Exoskeletts wurden unterschiedliche Szenarien durchgespielt und Einsatzmöglichkeiten genannt. Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die Vorstellung möglicher Tätigkeiten und den punktuellen Belastungssituationen:

Tätigkeit	Segment
<i>Mobilisation</i>	<p>„Und zum Mobilisieren, ist es eine feine Sache. Oder direkt auf so Stationen, wo dann viel Transfer vom Bett raus und rein ist. Weil ich rede jetzt von meiner Sicht. Also, wir haben Kardio viel Pflege immobile Patienten, ja, so 50 Prozent liegt halt im Bett. Und wenn draußen 30, 40 Prozent, die nicht mehr aus dem Bett rausgehen. Natürlich, auf so einer chirurgischen Station oder so, wo man halt dann Schenkelhals viel mobilisiert oder so, das ist vielleicht auch nicht schlecht.“ (I32, Pos. 31)</p>
<i>Transfer</i>	<p>„[...] ich glaube, es macht schon viel Sinn, jetzt in Pflegebereichen wie im geriatrischen Pflegebereich, wo die Patienten in den Rollstuhl transferiert werden.“ (I18, Pos. 29)</p>
<i>langes, vorgeneigtes Stehen, Lagerung und Transfer</i>	<p>„Im OP, denke ich, wäre das total hilfreich. Also, sowohl für die Operationsassistentinnen, für die Pflege, die im OP steht und anreicht und so weiter. Die müssen alle den ganzen Tag stehen. Wenn ich unsere Herzen anschau, das sind teilweise sechs-, Sieben-Stunden-OPs. Also, das auf jeden Fall. Da ist es super sinnvoll. Und ich glaube aber auch, dass auf Normalstation, gerade, wenn du viele hast oder Neuro-Reha zum Beispiel, wo du die Patienten raussetzen musst und in den Rollstuhl. Ich mache Nebenjob in einer Früh-Neuro-Reha, wo du die Patienten allein lagerst und so, die total schwer sind.“ (I31, Pos. 23)</p>
<i>Dialysebeutel wechseln</i>	<p>„Oder was wir auch haben, wir als Pflegekräfte, wir haben eine Dialyse. Und da wiegt ein Karton zehn Kilo. Und es gibt auch am Schluss ein Dialysat-Beutel, den wir ausleeren müssen. Und das sind zwei. Also wir tragen da einfach mal 20 Kilo so, da denke ich, könnte das auch ganz gut sein. [...] Ja, so eine Strecke von-, also einfach vom Patientenzimmer in unseren Arbeitsraum zum Ausleeren. Und viele, ja, das wäre da, glaube ich, schon eine Arbeitserleichterung, weil das ist echt schwer und auch dieser Beutel, das hat eine ganz doofe Arbeitshöhe.“ (I16, Pos. 19)</p>

Tabelle 15: Einsatz in punktuellen Belastungssituationen

6.4.3 Rahmenbedingungen der Einrichtung

Weitere Ergebnisse der dritten Forschungsfrage F3 und der Interviewfrage nach möglichen Aspekten der Implementierung münden in zwei induktiven Oberkategorien, ‚Rahmenbedingungen der Einrichtung‘ und ‚Prozessbezogene Faktoren‘. Zunächst wird ein Überblick über die Oberkategorie ‚Rahmenbedingungen der Einrichtung‘ mit insgesamt 32 Codes gegeben und anschließend über die jeweiligen Unterkategorien ‚Kostenfaktor‘ (12 Codes), ‚Personalschlüssel‘ (9 Codes) und ‚Krankheitstage/Prävention‘ (11 Codes). Abbildung 23 gibt einen Überblick über das Code-System. Die zweite Oberkategorie ‚Prozessbezogene Faktoren‘ wird im nächsten Kapitel 6.4.4 dargestellt.

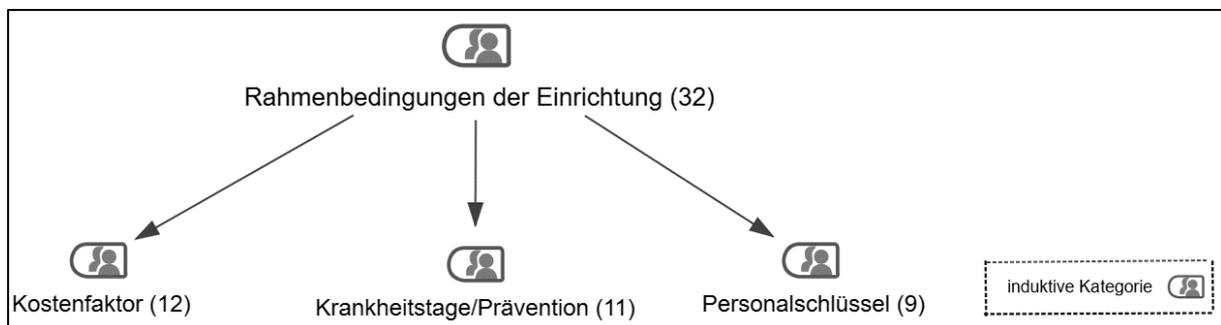


Abbildung 23: Code-System zu F3, Rahmenbedingungen der Einrichtung

Kostenfaktor

Das Thema der Kosten sehen zwei der befragten Personen in einem guten Verhältnis in Relation zum Nutzen und im Vergleich zu anderen Hebehilfen und würden die Kosten für die Anschaffung eines Exoskeletts investieren (I13, Pos. 27; I26, Pos. 35).

Andere Befragte sind eher zurückhaltend bei der Anschaffung und können sich vorstellen, dass das Exoskelett bei den Pflegekräften gut ankommt, die Entscheidung aber bei der Geschäftsführung liegt und dann der Kostenfaktor eine größere Rolle spielt (I25, Pos.25). Zudem sprechen Personaleinsparungen gegen eine zusätzliche Kostenbelastung durch die Anschaffung von Exoskeletten in größerer Stückzahl:

„[...] ich weiß nicht, wie groß die Station ist, aber man braucht so und so viel Exoskelette für die Schicht, bin ich gespannt, wer das zahlt. Bei der Pflege wird ja nur gespart. Und ich glaube, man könnte vielleicht, wenn man jetzt überlegt, wir arbeiten jetzt, weiß ich nicht, 40 Stunden die Woche, weil wir ständig Überstunden schieben. Und es geht aber nicht, dass man da eine Kraft mehr

einstellt, damit man vielleicht nur 37 Stunden arbeiten muss, weil man dafür zu wenig finanzielle Mittel hat. Dann bin ich gespannt, ob das dann so einfach angenommen wird. Ob da für so viele Pflegekräfte dann Geld ausgegeben wird.“ (I11, Pos. 23)

Personalschlüssel

Die Befragten haben sowohl positive als auch negative Assoziationen zum Einsatz von Exoskeletten aufgrund von Personalmangel, hier werden Situationen genannt, in denen Pflegekräfte vor allem in der Nachtschicht allein arbeiten und dann das Exoskelett als zusätzliche Unterstützung anziehen würden:

„Und ich glaube, das ist ein sehr, sehr großer Vorteil, ich sehe es tatsächlich weniger auf Intensivstationen als auf Normalstationen oder gerade noch viel mehr in Alten- oder Pflegeheimen. Weil die noch viel mehr genau diesen Transfer machen. Und ich glaube, ich würde behaupten, zu 99 Prozent allein.“ (I26, Pos. 35)

Entscheidend bei der Überlegung, ein Exoskelett anzuschaffen, sei auch das Verhältnis der Mitarbeiter*innen zu den zu versorgenden Patient*innen (I1, Pos. 25) und ob „eine zweite Person zur Verfügung (steht) [...], die uns helfen kann und das schneller geht, als das Exoskelett anzuziehen“ (I3, Pos. 21, I2, Pos. 21). Eine weitere interviewte Person sieht einen engen Zusammenhang zwischen der Anzahl der zu versorgenden Patient*innen und dem Einsatz des Exoskeletts, bei wenig Patient*innen könnte sie sich den Einsatz sehr gut vorstellen (I25, Pos. 13).

Krankheitstage/Prävention

Der Einsatz von Exoskeletten zur Reduktion von Rückenschmerzen wird von mehreren Befragten als positiv bewertet. Ein Zusammenhang zwischen dem Tragen des Exoskeletts und der Reduktion von Rückenschmerzen wird von mehreren Befragten hervorgehoben (I7, Pos. 27). Eine Befragte betont, dass dies zu weniger Fehlzeiten bei Mitarbeitenden führen könnte (I10, Pos. 33). Zwei Befragte äußern sich konkret zu den Vorteilen:

- Eine Person glaubt, dass das Exoskelett besonders in der Pflegebranche nützlich ist, da viele Pflegekräfte unter Rückenproblemen leiden und

möglicherweise ihre Karriere aufgrund dieser Probleme beenden oder sich umschulen müssen (I6, Pos. 23).

- Eine andere Person merkt an, dass die Nutzung des Exoskeletts die Beschwerden verringern könnte, was besonders wichtig ist, da viele Kolleginnen und Kollegen bereits nach wenigen Arbeitsstunden über Rückenschmerzen klagen (I20, Pos. 17).

Es wird zudem betont, dass „Hauruck-Aktionen“ eine Gefahr für langfristige Gesundheitsschäden darstellen, was wiederum dem Betrieb schadet, da Mitarbeitende möglicherweise für längere Zeit ausfallen könnten (I1, Pos. 25) und gleichzeitig der Einsatz von Exoskeletten als eine „gute Chance“, die Gesundheit zu erhalten erwähnt wird (I22, Pos. 25). Eine Pflegekraft betont, dass während in vielen Branchen Maschinen und Geräte menschliche Arbeit übernehmen, in der Pflege Hilfsmittel wie Exoskelette eingesetzt werden können, um die Gesundheit der Pflegekräfte zu schützen (I22, Pos. 25). Auch für kranke, ältere oder gefährdete Personen mit Rückenproblemen könnte der Einsatz von Exoskeletten eine sinnvolle Maßnahme sein, selbst wenn die Anschaffung von Exoskeletten zunächst höhere Kosten verursachen würde (I1, Pos. 21).

6.4.4 Prozessbezogene Faktoren

Wie bereits in Kapitel 6 dargestellt, soll im Rahmen der Forschungsfrage F3 untersucht werden, welche Faktoren Pflegende für die Implementierung von Exoskeletten in der Pflege nennen. Die zweite Oberkategorie, die aus dem Material entwickelt wurde, umfasst insgesamt 109 Codes, die sich auf einer zweiten Ebene in die induktive Kategorie ‚Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege‘ (85 Codes) und die deduktive Kategorie ‚Schulung‘ (24 Codes) unterteilen. Daraus differenziert sich eine dritte Ebene, die im Folgenden mit ihren jeweiligen Unterkategorien, ‚Exoskelett-Verteilung pro Person/pro Patient*in‘ (9 Codes), ‚Zeit‘ (59 Codes) und ‚Kompetenzaufbau‘ (6 Codes) beschrieben wird und in der Abbildung 24 dargestellt wird.

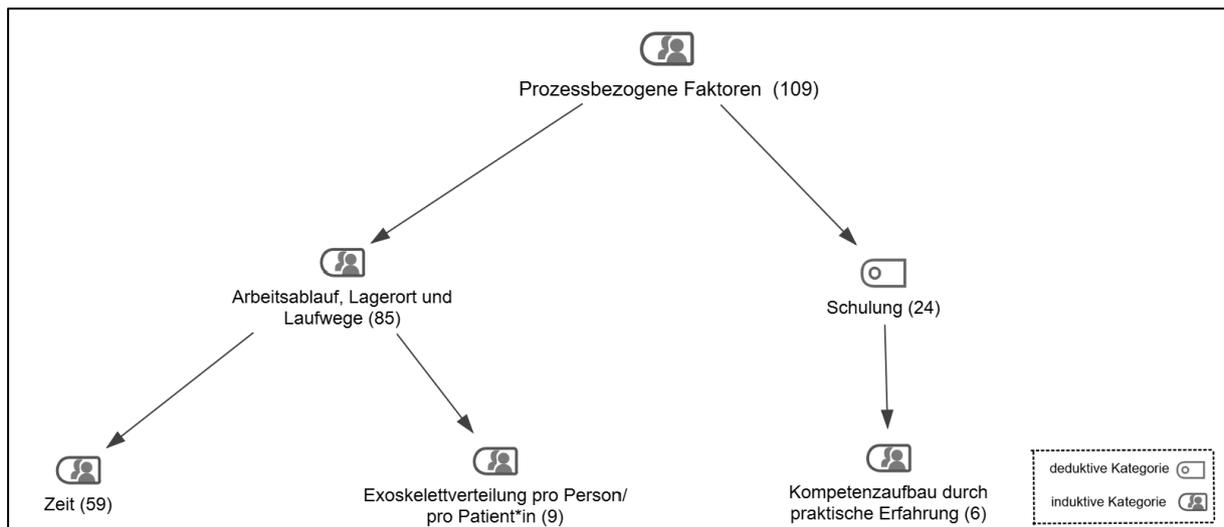


Abbildung 24: Code-System zu F3, Prozessbezogene Faktoren

Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege

Die Ergebnisse zur Kategorie ‚Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege‘ zeigen auf, dass unter den Befragten verschiedene Aspekte erfasst wurden. Zunächst wird auf die Ebene 2 ‚Arbeitsablauf und Lagerung‘ eingegangen und anschließend werden die Ergebnisse der Ebene 3 mit den Unterkategorien ‚Exoskelettverteilung pro Person/pro Patient*in‘ und ‚Zeit‘ dargestellt.

Die Befragten beschreiben unterschiedlichste Faktoren, die bei der Anschaffung eines Exoskeletts im Arbeitsablauf, beim Lagerort sowie den Laufwegen, bedacht werden müssten:

„[...] weil es ja dann meistens irgendwo, also, also, zentral, bis ich wirklich wieder einen Weg habe, bis ich da hingehere und dass ich dann das hole oder so. Das müsste dann wahrscheinlich sowas wie Rutschfolie oder so im Zimmer sein. Dann könnte man sagen jederzeit, wenn es schon hier ist, dann ziehe ich es schnell an. Wenn ich jetzt dann das Problem habe, dass ich nach vorne ins Stationszimmer gehen muss und das holen muss, dann macht man es eher nicht. Von dem her.“ (I32, Pos. 27)

Die interviewten Personen sprechen in diesem Zusammenhang davon, dass die bestehenden Arbeitsprozesse überdacht und verändert werden sollten (I14, Pos. 15). Dies beinhaltet nicht nur technische oder organisatorische Anpassungen, sondern auch eine tiefere, kulturelle Integration dieser neuen Arbeitsweisen in das Unternehmen oder die Organisation (I19, Pos. 23). Es wird betont, dass diese Veränderungen nicht

nur oberflächlich, sondern auch in die Kultur des Unternehmens integriert werden müsste, damit sie nachhaltig und wirksam sind (I19, Pos. 23). Eine befragte Person ist aber auch davon überzeugt, dass das Exoskelett dann eingesetzt wird, wenn sich eine Routine im Arbeitsablauf entwickelt und dann sogar eine Beschleunigung im Arbeitsprozess eintreten könne (I20, Pos. 17). Der „Knackpunkt“ für den Einsatz des Exoskeletts sei die greifbare Nähe und die direkte Verfügbarkeit (I17, Pos. 13).

Insgesamt müsse sich genau überlegt werden, wie das Exoskelett gelagert, und in den Arbeitsablauf integriert werden könne, da der Platz in der Klinik bereits jetzt schon ein „großes Manko“ sei:

„Wenn es-, wenn jeder ein solches Skelett angepasst braucht, ist es eine Frage der Lagerhaltung, an Platzbedarf. Wo platziere ich das? Die Umkleiden sind nicht die größten. Da ist genug drin, es ist eh schon eng. Also Platz ist im Klinikum ein großes Manko.“ (I1, pos. 19)

Exoskelett-Verteilung pro Person/pro Patient*in

Insgesamt umfasst die Unterkategorie, ‚Exoskelett-Verteilung pro Person/pro Patient*in‘ 9 Codes und beinhaltet vor allem die Frage nach der Verteilung der Exoskelette. Jede Pflegekraft sollte ein eigenes Exoskelett besitzen, damit es von allen genutzt werden kann (I19, Pos. 19) oder auch gleichzeitig Jede*r im Team tragen kann (I17, Pos. 15).

Zeit

Die Unterkategorie ‚Zeit‘ umfasst insgesamt 59 Codes, die aus Sicht der Befragten unterstreichen, dass der Faktor Zeit eine sehr große Rolle spielt und gleichzeitig unterschiedlich damit umgegangen wird. Folgend wird die Unterkategorie nochmals thematisch in drei unterschiedliche Zusammenhänge unterschieden und entsprechend skaliert:

- 1) *Erhöhter Zeitdruck durch die Nutzung eines Exoskeletts*
- 2) *Strategische Zeitinvestitionen und sorgfältige Planung entscheidend für die Qualität der Arbeit*
- 3) *Zeitersparnis*

1) Erhöhter Zeitdruck durch die Nutzung eines Exoskeletts

Der Zeitdruck würde sich zusätzlich durch das An- und Ausziehen des Exoskeletts erhöhen, damit die Patient*innen versorgt werden könnten (I18, Pos. 31; I28, Pos. 27). Die Interviewten berichten von vielen Situationen, in denen sie auf ergonomisches Heben verzichten, „weil das Hochfahren vom Bett Zeit nimmt“ (I8, Pos. 25). Diese Einstellung wird auch von einer anderen Person geteilt:

„Und ich weiß nicht, ob viele dann halt sagen, dass es den Aufwand, sage ich jetzt, nicht wert ist, dass erstmal alles zu justieren und richtig anzusetzen, dafür, dass man eigentlich nur kurz für nicht mal eine Minute dem Patienten in den Rollstuhl rüber rückt.“ (I6, Pos. 23)

Eine Schwierigkeit besteht darin, sich trotz des „Zeitdrucks“, mit „neuen Themen auseinanderzusetzen“ und diese in der Pflegepraxis umzusetzen (I39, Pos. 9).

2) Strategische Zeitinvestitionen und sorgfältige Planung entscheidend für die Qualität der Arbeit

Auf der anderen Seite wird von den Befragten betont, dass es sich lohnen kann, Zeit für die Einführung eines Exoskeletts in den Arbeitsalltag zu investieren, um „hinten raus keine Probleme zu haben“ (I33, Pos. 25) bzw. sich die Zeit nehmen zu müssen (I30, Pos. 11). Eine befragte Person thematisiert den Konflikt zwischen der Geschwindigkeit und der Qualität der Arbeit. In stressigen Situationen bestünde oft der Druck, Aufgaben schnell zu erledigen, was jedoch zu Fehlern führen könne. Eine gründliche und sorgfältige Arbeitsweise, auch wenn sie zunächst mehr Zeit in Anspruch nehme, sei langfristig effizienter und erfordere weniger Nacharbeit (I33, Pos. 25). In der Praxis würde dies bedeuten, dass ein bewussteres und langsames Vorgehen in Stresssituationen zu einer höheren Arbeitsqualität und Fehlervermeidung führen kann (I33, Pos.25). Die Aussage der schnellen Arbeitsweise wird von einer weiteren interviewten Person betont, indem es auch auf der Intensivstation entscheidend sei, sich die nötige Zeit für eine umfassende Betreuung der Patient*innen zu nehmen. Die Pflegekraft schlägt vor, dass eine Zusammenarbeit mit Physiotherapeut*innen und das bewusste Einplanen von Zeit für die Patient*innenbetreuung zu besseren Behandlungsergebnissen führen könnte. Hierfür seien strukturelle Anpassungen notwendig, um eine qualitativ hochwertige Pflege auch in einem oft von Zeitdruck geprägten Umfeld zu gewährleisten (I30, Pos. 11).

3) Zeitersparnis

Mehrere Interviewte nehmen das Exoskelett eher als Zeitersparnis wahr, da sie nicht noch Kolleg*innen suchen müssten, die beim Transfer helfen, sondern „einfach schneller anfangen“ könnten (I2, Pos. 25; I9, Pos. 21) oder es im Vergleich zum Hebelifter auch weniger Zeit kosten würde (I24, Pos. 21; I21, Pos. 11). Ein zentrales Thema ist der Zeitaufwand, der mit der Vorbereitung und dem Einsatz solcher Hilfsmittel verbunden ist. Während die körperliche Sicherheit und Unterstützung durch Hebelifter wahrgenommen wird, wird der Zeitaufwand als Hindernis für die Nutzung im Arbeitsalltag gesehen (I9, Pos. 21; I20, Pos. 19).

Schulung

Ein weiterer Faktor im Prozess der Implementierung eines Exoskeletts in die Pflegepraxis ist die Schulung des Personals (18 Codes). Die Unterkategorie ‚Kompetenzaufbau‘ (6 Codes) wurde zusätzlich aus dem Material entwickelt.

Die deduktive Kategorie ‚Schulung‘ wurde durch die Frage: „Würden Sie sich nach einer Schulung selbst zutrauen, das Exoskelett in Ihrer Arbeit zu nutzen?“, unterstützt und suggestiv gestellt. Laut der befragten Person kann eine Schulung zu einem sicheren Umgang führen und Hinweise geben, worauf bei der Nutzung zu achten ist (I19, Pos. 25). Zudem wird ergänzt, dass eine Schulung auch dazu führen würde, dass die Mitarbeitenden das Exoskelett mehr nutzen würden, wenn ein Übertrag und Schulung in die praktische Anwendung gelinge (I26, Pos. 15). Eine Schulung könnte auch das Interesse wecken und den Pflegenden „eigentlich vor Augen führ[en], was es für eine Arbeitserleichterung sein kann, damit zu arbeiten“ (I16, Pos. 13).

Kompetenzaufbau durch praktische Erfahrung

Die Befragten geben durchgängig an, praktische Erfahrungen mit dem Exoskelett sammeln und sukzessive Kompetenzen aufbauen zu wollen. Die erfolgreiche Einführung von Exoskeletten würde Zeit, Gewöhnung und kontinuierliche praktische Erfahrungen erfordern (I33, Pos. 39; I25, Pos. 25; I4, Pos. 7). Durch eine langfristige und regelmäßige Nutzung könnte der Einsatz von Exoskeletten zur Routine werden (I4, Pos. 7) und die Akzeptanz unter den Pflegekräften steigen (I25, Pos. 25). Anfängliche Widerstände oder Unsicherheiten sollten durch positive Erfahrungen und das Erleben von Vorteilen in der praktischen Anwendung überwunden werden (I33,

Pos. 39). Die Erfahrung in der Praxis wird gleichzeitig als „eine nicht zu unterschätzende Schwelle“ gesehen, um die Pflegekräfte für die Nutzung des Exoskeletts zu begeistern (I33, Pos. 39).

6.5 Diskussion

In den folgenden Unterkapiteln werden die zentralen Ergebnisse kurz zusammengefasst und in Bezug auf die vorhandene Literatur diskutiert, die einerseits das subjektive körperliche Empfinden der Pflegenden beim Tragen des Exoskeletts darstellen und andererseits im Kontext der Implementierung von Exoskeletten in der Pflege stehen. Die Auseinandersetzung mit dem Aspekt des körperlichen Empfindens bildet dabei den Einstieg und führt zu den aufgezeigten notwendigen Schritten zur Akzeptanz und Implementierung von Exoskeletten in die Pflege.

6.5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieses Kapitel fasst das zuvor Gesagte aus dem Kapitel 6.4 zusammen. Übergeordnetes Ziel der qualitativen Untersuchung war es, Aspekte der Implementierung und Akzeptanz von Exoskeletten in die Pflege und den allgemeinen physischen Nutzen aus Perspektive der Pflegenden aufzuzeigen. 33 Interviews wurden per Audioaufnahme transkribiert und mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Im Folgenden sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Untersucht wurden drei Aspekte: (1) physischer Nutzen im Einsatz von Exoskeletten, (2) Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege, (3) Aspekte zur Implementierung von Exoskeletten in die Pflege.

1. Die Interviewten äußern insgesamt positive Aspekte der Haltungsunterstützung und körperlichen Entlastung durch das Exoskelett, sind aber auch kritisch in Bezug auf die eingeschränkte Bewegungsfreiheit und der nicht spürbaren Wirkung der Unterstützung bei z.B. guter körperlicher Verfassung.
2. Die Akzeptanz des Exoskeletts hängt laut der Pflegenden stark von dessen Benutzer*innen-Freundlichkeit, Komfort und Anpassungsfähigkeit an die spezifischen Anforderungen der Pflegetätigkeit ab. Das Exoskelett bietet das Potenzial zur Entlastung bei hohen körperlichen Belastungsspitzen, birgt aber auch Entwicklungspotenzial bei der Anpassung im Design. Von fast allen

Interviewten wurde der Wunsch nach einem kompakteren, körperbetonterem Exoskelett geäußert, das den besonderen Anforderungen in der Pflege gerecht wird. Pflegende beschrieben Risiken, wie das Hängenbleiben an Geräten und Schläuchen oder die Möglichkeit, dass sich Gepflegte beim Festhalten einklemmen könnten. Die Interviewten haben Bedenken, wie etwa die Gefahr, dass demenzerkrankte Patient*innen Ängste entwickeln oder am Exoskelett herumspielen könnten.

Ein weiteres designspezifisches Thema ist die Hygiene, insbesondere das Desinfizieren der Exoskelette bei der Pflege von isolierten Patient*innen oder Patient*innen mit multiresistenten Keimen spielte eine wichtige Rolle.

Die Pflegenden empfanden das An- und Ausziehen sowie die Handhabung des Exoskeletts als überwiegend einfach und intuitiv. Es wurde jedoch betont, dass eine schnelle und unkomplizierte Nutzung entscheidend für die Integration in den Arbeitsalltag ist. Hinsichtlich des Komforts wurden gemischte Gefühle geäußert: Während das kurzfristige Tragen als angenehm empfunden wurde, könnte das ganztägige Tragen unangenehm sein und zu vermehrtem Schwitzen führen.

3. A) Die Interviewaussagen zu den Ergebnissen der Kategorie ‚Rahmenbedingungen der Einrichtung‘ beschreiben die Aspekte zur Implementierung von Exoskeletten in der Pflege. Die Implementierung umfasst verschiedene Aspekte in Bezug auf die Gesundheit der Mitarbeitenden (Prävention) sowie wirtschaftliche/organisatorische Aspekte in Bezug auf Kosten, Personalschlüssel und Arbeitsabläufe. Voraussetzungen für die Akzeptanz und den effektiven Einsatz sind die Integration in bestehende Arbeitsabläufe, eine ausreichende Schulung und der kontinuierliche Einsatz in der Pflegepraxis.

Einige Befragte sehen die Kosten für Exoskelette in einem akzeptablen Verhältnis zum Nutzen und vergleichen sie mit anderen Hebehilfen, die teilweise aus zeitlichen Gründen, nicht benutzt werden. Andere äußern Bedenken hinsichtlich der zusätzlichen finanziellen Belastung der Pflegeeinrichtung. Die Interviewten diskutieren den Einsatz von Exoskeletten im Kontext des Personalmangels, insbesondere während

der Nachtschichten. Einige sehen Exoskelette bei der alleinigen Pflege von Patient*innen als wertvolle Unterstützung, während andere die Effizienz von Exoskeletten in Relation zur Verfügbarkeit zusätzlicher Pflegekräfte setzen und das Benutzen in Frage stellen.

Das ein Einsatz eines Exoskeletts zu einer Reduktion von Rückenschmerzen und weitergehend zu weniger Fehlzeiten führen könnte, nennen mehrere Befragte. Zum einen wird der präventive Nutzen betont, zum anderen könnten sich die Befragten den Einsatz auch bei Pflegekräften mit bestehenden Rückenproblemen vorstellen. Einige Interviewte heben hervor, dass Exoskelette langfristig die Gesundheit und Arbeitsfähigkeit der Pflegekräfte erhalten könnten.

B) In Bezug auf die ‚prozessbezogenen Faktoren‘ zeigen sich bei den Interviewten vier zentrale Themen. (1) Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege: Hier wird die Integration von Exoskeletten in bestehende Arbeitsabläufe und Lagerprozesse betrachtet. Zu den Herausforderungen gehören die zentrale Lagerung bei bereits bestehendem Platzmangel und die Notwendigkeit, die Exoskelette in greifbarer Nähe zu haben, um die Laufwege zu verkürzen. Einige Befragte betonen die Bedeutung von Routine und Verfügbarkeit, um die Akzeptanz und Effizienz im Arbeitsalltag zu erhöhen. (2) Die Frage nach der Verteilung der Exoskelette ist zentral, wobei einige Pflegekräfte fordern, dass jede Pflegekraft ein eigenes Exoskelett besitzen sollte. (3) Die Zeitkomponente wird unterschiedlich bewertet. Während einige einen erhöhten Zeitdruck durch das An- und Ausziehen der Exoskelette sehen, betonen andere eine mögliche Zeitersparnis durch die Reduktion von zusätzlichen personellen Hilfsbedarfen und effizienteren Arbeitsabläufen. (4) Das Thema Schulung ist entscheidend für die erfolgreiche Implementierung der Exoskelette. Befragte heben die Bedeutung von praktischen Erfahrungen und Kompetenzaufbau durch Schulungen hervor, um Sicherheit und Routine im Umgang mit der neuen Technik zu gewinnen.

Die erhobenen Daten ermöglichen es, die Komplexität des Einsatzes von Exoskeletten in der Pflege hinsichtlich des physischen Nutzens, der Akzeptanz und Aspekte der Implementierung aufzuzeigen. Die Komplexität wird dadurch deutlich, dass sowohl Aspekte des eigenen Verhaltens als auch Aspekte der Eigenschaften und Wahrnehmung von Exoskeletten auf Pflegende und Gepflegte, der Rahmenbedingungen und der Gestaltung der Rahmenbedingungen (Verhältnisse) dargestellt werden. Die folgende Abbildung 25 gibt noch einmal einen Überblick über die 21 Indikatoren zu dem physischen Nutzen, Implementierungs- und Akzeptanzfaktoren, die aus den Interviews identifiziert werden konnten.

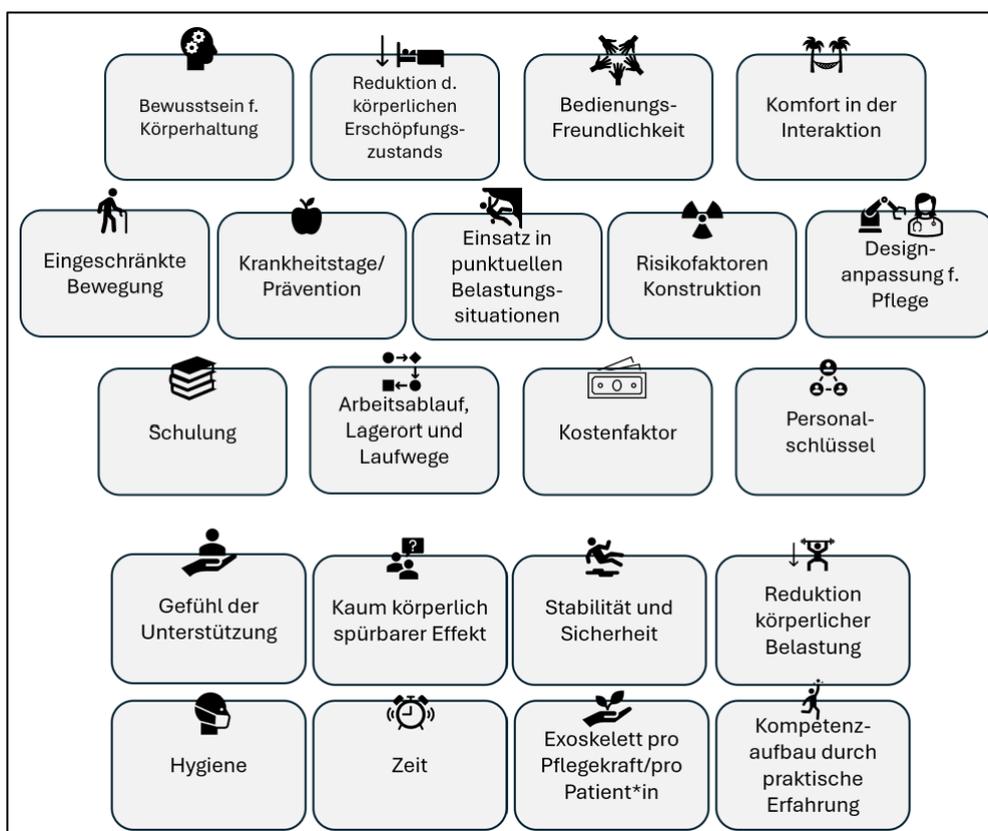


Abbildung 25: 21 Indikatoren für den physischen Nutzen, die Akzeptanz und Implementierung von passiv rückenunterstützenden Exoskeletten in der Pflege

6.5.2 Physischer Nutzen von Exoskeletten in der Pflege

Studien haben die Vorteile von rückenunterstützenden Exoskeletten bei Mitarbeitenden in der Industrie hervorgehoben (Bosch et al., 2016; Kim, S. et al., 2020; Koopman et al., 2019; Ulrey & Fathallah, 2013). Ein wesentlicher Nutzen liegt in der Reduktion physischer Kräfte, wie zum Beispiel die Reduktion der Muskelaktivität des M. Erector spinae um bis 11,2% beim Heben mit Exoskelett (Hwang et al., 2021, S. 6). Pflegekräfte sind häufig repetitiven Bewegungen und dem Heben schwerer Lasten

ausgesetzt, was das Risiko für chronische Schmerzen und Verletzungen erhöht (Glaser & Höge, 2005; Rothgang et al., 2020; Techniker Krankenkasse, 2019), Exoskelette können durch biomechanische Unterstützung die Belastung der Wirbelsäule und anderer Gelenke minimieren (Bosch et al., 2016; Kim, S. et al., 2020). Das subjektive Gefühl beim Tragen eines Exoskeletts in der Pflege wurde bisher noch nicht untersucht.

Neue Erkenntnisse aus dieser Studie zeigen, dass bei den Pflegenden ein Gefühl der Unterstützung (1), Stabilität und Sicherheit (2) sowie eine Sensibilisierung für die Körperhaltung entsteht (5) (vgl. UK *Stabilität und Sicherheit*; vgl. UK *Reduktion körperlicher Belastung*; vgl. UK *Bewusstsein für Körperhaltung*), wodurch in Wechselwirkung ein Gefühl der Reduktion der körperlichen Belastung (3) entstehen kann (vgl. UK *Reduktion körperlicher Belastung*) (Abbildung 26). Mehrere Interviewte berichteten, dass ihnen der Zusammenhang zwischen schwerem Heben und den möglichen Langzeitfolgen nicht immer klar ist. Sie beschreiben, dass sie oft ihre körperlichen Ressourcen überschätzen und die körperlichen Auswirkungen ihrer Arbeit nicht ernst nehmen (vgl. UK *Reduktion körperlicher Belastung, Skalierung: Kaum körperlich spürbarer Effekt*). Hoppe und Roth (2020, S. 69) erklären die Überforderung der eigenen körperlichen Ressourcen und die Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit mit den hohen Arbeitsanforderungen an die Beschäftigten in der Pflege. Eine verbesserte Sensibilität durch das Tragen eines Exoskeletts könnte zu einer besseren Wahrnehmung der eigenen körperlichen Ressourcen und der eigenen Leistungsfähigkeit führen. Die Auswertung der Interviews zeigt darüber hinaus weitere neue Wechselwirkungen auf: Einerseits geht das Körpergefühl bzw. das Haltungsbewusstsein im Pflegealltag durch Hektik, Zeitmangel und Stress verloren (vgl. UK *Zeit* (7)), andererseits könnte das Exoskelett helfen, die Sensibilität und das Bewusstsein für den eigenen Körper (und dessen mögliche Überlastung) zu erhöhen (vgl. UK *Bewusstsein für Körperhaltung* (6)). Die Pflegenden empfinden durch die erhöhte Sensibilität eine Reduktion der körperlichen Belastung (vgl. UK *Reduktion der körperlichen Belastung* (3)). Ein erhöhtes Bewusstsein und eine erhöhte Sensibilität für den eigenen Körper könnten auch eine Möglichkeit darstellen, mit Arbeitsbelastungen anders umzugehen und vermehrt Hilfsmittel wie Exoskelette einzusetzen, die schneller greifbar sind als bspw. Hebelifter. Die zusätzliche Wahrnehmung, dass die körperliche Belastung (vgl. UK *Reduktion der körperlichen*

Belastung (3)) und der körperliche Erschöpfungszustand (vgl. UK *Reduktion des körperlichen Erschöpfungszustandes* (5)) reduziert werden, könnte langfristig zu weniger Fehlzeiten aufgrund von Muskel-Skelett-Erkrankungen führen (UK *Krankheitstage/Prävention* (4)).

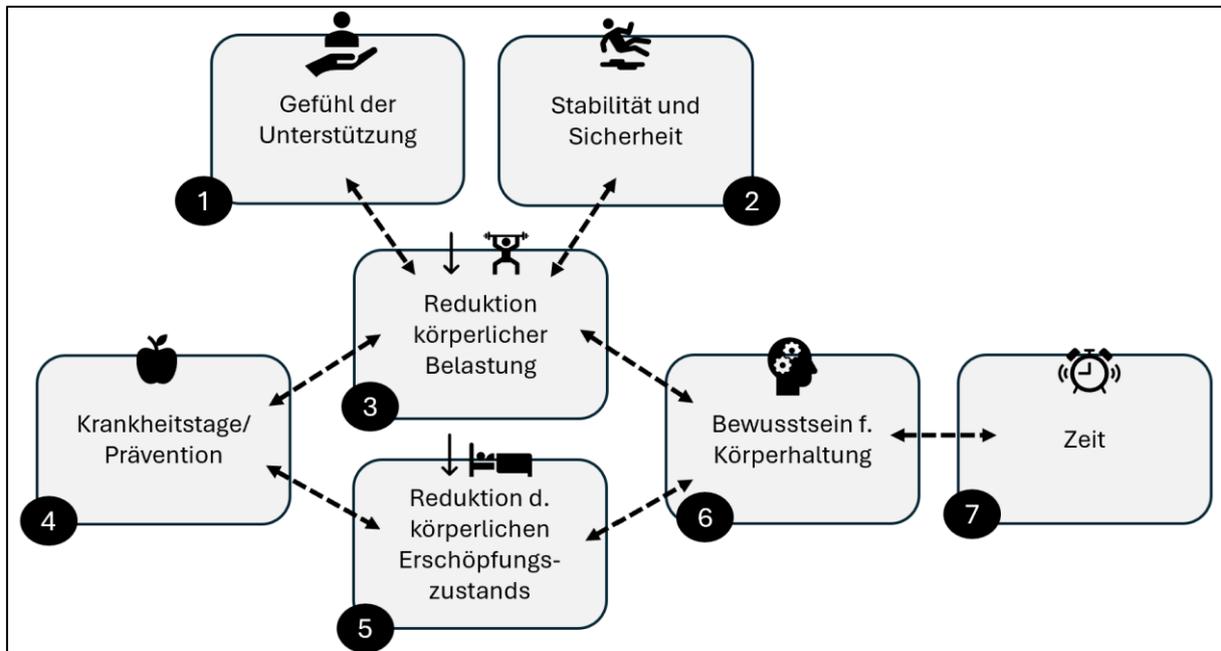


Abbildung 26: Wechselbeziehungen zwischen Kategorien

6.5.3 Nutzung, Akzeptanz und Implementierung von Exoskeletten in die Pflege

Trotz der potenziellen physischen Vorteile gibt es Aspekte, die die Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege beeinflussen. Aspekte wie Praktikabilität, Komfort und Sicherheit spielen dabei im täglichen Einsatz eine Rolle. Bei benutzer*innen-freundlich gestalteten Exoskeletten und intuitiver Bedienung steigt die Akzeptanz (Riemer & Wischniewski, 2023). Die Arbeitsbedingungen in der Pflege werden von den Interviewten mit ähnlichen Herausforderungen und speziellen Anforderungen an das Exoskelett beschrieben. Neue Erkenntnisse in dieser Studie sind, dass Pflegenden das Anpassen der Exoskelette an die Körpergröße der Nutzer*innen, als zeitaufwändig empfinden. Pflegekräfte wünschen sich daher eigene Exoskelette oder eine schnellere Anpassung (vgl. UK *Exoskelette pro Pflegekraft/pro Patient*in* (1); UK *Zeit* (2); UK *Bedienungs-Freundlichkeit* (3)). Diese wie auch noch weitere Wechselbeziehungen werden in der Abbildung 27 dargestellt und in der weiteren Diskussion näher betrachtet.

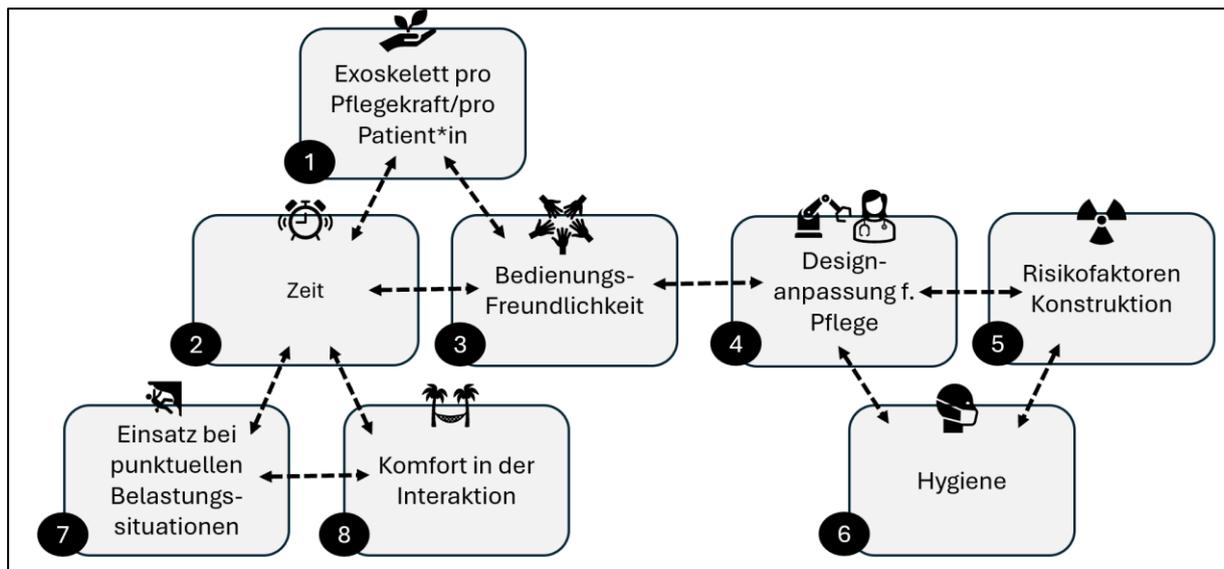


Abbildung 27: Wechselbeziehung von akzeptanzbezogenen Aspekten für Exoskelette in der Pflege

Hensel und Keil (2018) stellten in ihrer Studie fest, dass gerade die Kontaktstellen des Exoskeletts zu einer negativen Bewertung und nicht Nutzung geführt haben, hier waren es vor allem die Beinschalen und der Brustgurt, die beim Heben und Tragen von schweren Gegenständen in der Industrie gestört haben. Ähnliche Ergebnisse zeigen Marino (2019) und Kazerooni et al. (2019), bei denen die Einschränkungen der Bewegungsqualität nach einer vierwöchigen Intervention in einer industriellen Arbeitssituation seitens der Nutzer*innen Exoskelette negativ bewertet wurde. Die Pflegenden in den Interviews gaben ähnliche Erkenntnisse an: Das Exoskelett könnte beim längeren Tragen unangenehm sein und schlussfolgern, dass ein Einsatz nur in punktuellen Belastungssituationen sinnvoll ist und gleichzeitig das Exoskelett in den eng getakteten Pflegetätigkeiten schnell an- und abgelegt werden muss (vgl. UK *Zeit* (2); UK *Einsatz in punktuellen Belastungssituationen* (7); UK *Komfort in der Interaktion* (8)). Darüber hinaus hatten Studienteilnehmende hinsichtlich des Tragekomforts bei hohen Umgebungstemperaturen Bedenken, was eine Nicht-Nutzung von Exoskeletten durch vermehrtes Schwitzen verstärken würde (vgl. UK *Komfort in der Interaktion*). Das schnelle An- und Ausziehen könnte zu Einschränkungen bei der Anpassung an die individuellen Körpermaße führen, was weitere Überlegungen wie beispielweise die Integration von exoskelettalen Systemen in die Arbeitskleidung erforderlich machen könnte. Derartige Exoskelette werden aktuell für die Pflege entwickelt (O'Connor, 2021) und könnten durch einen Design-Thinking-Workshop (Dekker, 2020, S. 87ff) vertieft und durch weitere spezifische Anforderungen von Pflegebedürftigen und Angehörigen erweitert werden.

Vallée (2024) beschreibt spezifische Einflussfaktoren beim Einsatz von Exoskeletten für Pflegende, die sich mit den Ergebnissen aus dieser Studie decken:

- Komfort des Exoskeletts in speziellen pflegerischen Situationen (ebd.)
- Pfleger*innen-zentrierter Designansatz (ebd.)
- Einfluss auf die Versorgung von Gepflegten (ebd.)

Diese Aspekte sind auch für die Interviewten in dieser Studie von großer Bedeutung. Sie wünschen sich ein körperbetontes Exoskelett (vgl. UK *Designanpassung (4)*) und äußerten Bedenken hinsichtlich möglicher Risiken in der Konstruktion (vgl. UK *Risikofaktoren Konstruktion (5)*) wie dem Hängenbleiben an Schläuchen oder anderen wichtigen Maschinen und weiteren wichtigen hygienischen Aspekten in der Desinfektion des Materials (vgl. UK *Hygiene*). Argubi-Wollesen und Wollesen (2023) stellen ähnliche Bedenken bei Pflegekräften fest, insbesondere wurden hier Klemmgefahren beim Transfer von Patient*innen genannt.

Neue Erkenntnisse in Bezug auf die akzeptanzbezogenen Aspekte betreffen die Hygiene, die insbesondere in der Pflege durch multiresistente Keime oder andere Viren eine große Rolle spielen. Exoskelette sollten so gestaltet sein, dass sie leicht desinfiziert und gereinigt werden können (vgl. UK *Hygiene (6)*).

Wirtschaftliche und organisatorische Aspekte

Der Einsatz wirft auch ökonomische Fragen auf, wobei eine qualitative (persönliche Einstellung, körperliche Gesundheit, Attraktivität des Berufs, psychische Gesundheit) und quantitative (Produktivität, Arbeitsqualität, Krankheitstage, Kosten, Vor- und Nachbereitung) Kostenkalkulation für das Unternehmen zum Einsatz von Exoskeletten hilfreich sein kann (McCready, 2023). Längsschnittstudien über einen Zeitraum von drei bis vier Wochen zeigen eine Entlastung der Lendenwirbelsäule und eine verbesserte Ausdauerleistung durch das Tragen eines passiven Exoskeletts in der Industrie (Hensel & Keil, 2018; Marino, 2019), was in der Konsequenz zu geringeren Fehlzeiten führen könnte. Kosten-Nutzen-Analysen sind daher entscheidend, um die Wirtschaftlichkeit von Exoskeletten für Pflegeeinrichtungen zu bewerten (McCready, 2023). Neue Erkenntnisse aus dieser Studie sind, dass auch die interviewten Pflegekräfte diese Aspekte berücksichtigten und Zweifel äußern, ob Pflegeeinrichtungen die Kosten tragen würden (vgl. UK *Kostenfaktor (2)*; vgl. UK *Personalschlüssel (3)*), zumal der Kostendruck in der Pflege durch

wettbewerbsorientierte Finanzierungen und Personalabbau in Krankenhäusern hoch ist (Hoppe & Roth, 2020, S. 64). Während die Befragten keinen direkten Zusammenhang zwischen reduziertem Krankenstand und reduzierten Personalkosten sahen, erkannten sie teilweise, dass Exoskelette den Rücken schonen und Langzeitschäden reduzieren könnten (vgl. UK *Krankheitstage/Prävention (1)*; UK *Kostenfaktor (2)*), Abbildung 28 zeigt die beschriebenen Wechselbeziehungen auf.

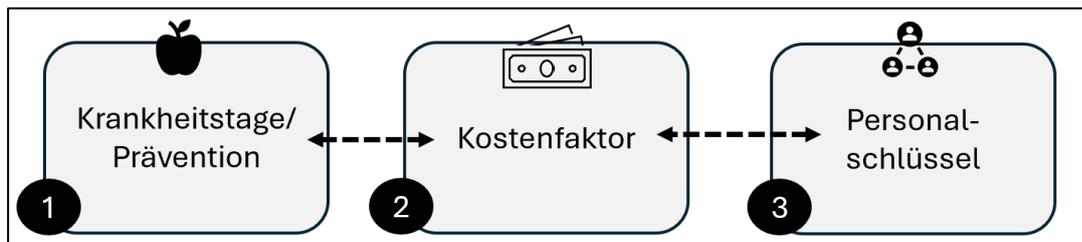


Abbildung 28: Wechselbeziehung der wirtschaftlichen und organisatorischen Aspekte

Implementierungsmaßnahmen

Ein weiterer Faktor für die Akzeptanz von Exoskeletten ist die Kompetenzentwicklung in der praktischen Anwendung durch Schulung der Pflegekräfte (vgl. UK *Schulung*; UK *Kompetenzaufbau durch praktische Erfahrung*). Es besteht oft eine Lücke zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung in der Pflege, weshalb supervidierte praktische Anleitung und Übung notwendig sind (Bonse-Rohmann et al., 2007; Hermann et al., 2014), dies bezieht sich allerdings nicht auf Exoskelette, sondern auf pflegerische Interventionen im Allgemeinen. Die Ergebnisse aus dieser Studie zeigen, dass sich Pflegekräfte prinzipiell nach einer Schulung vorstellen könnten das Exoskelett zu nutzen, gleichzeitig dafür Kompetenzen in konkreten Praxissituationen aufbauen wollen. Laut der Interviewten könnte durch Schulungen das Interesse geweckt werden Exoskelette zu nutzen und gleichzeitig die Erfahrung gesammelt werden, dass eine Arbeitserleichterung eintritt. In der Studie von Abel et al. (2019, S. 10) wird die Annahme der Interviewten bestätigt, allerdings zur Technikimplementierung in der Industrie im Allgemeinen. Eine Schulung der Mitarbeitenden ermöglicht das Ausprobieren und Testen der neuen Technik, was zu einer höheren Akzeptanz und einer verstärkten Nutzung führt (ebd.). Ergebnisse einer Befragung von 150 Schüler*innen aus der Kranken- und Altenpflege bestätigen die Annahme, dass es eher Praxis- als Theoriedefizite gäbe und rückenschonendes Arbeiten beim Pflegen als gut geschult beschrieben wird, allerdings nur rund die Hälfte der befragten Auszubildenden das erlernte Wissen am Praxislernort umsetzt (Bonse-

Rohmann et al., 2007, S. 7). Die Autor*innen schlussfolgern, dass vermehrtes Anleiten und praktisches Üben in konkreten Pflegesituationen unter Anleitung erfolgen sollte. Zusätzlich sollten handlungsleitende Konzepte für den schulischen als auch hochschulischen Unterricht zur berufsspezifischen Risikoprävention in der Pflege entwickelt werden (Hermann et al., 2014, S. 13). Neben Konzepten und Strategien zum Umgang mit hohen körperlichen Arbeitsbelastungen fehlen Themen zum allgemeinen Bewegungsverhalten, z.B. durch Sport in der Freizeit (ebd.).

Für die Entwicklung eines vielschichtigen und umfassenden Ergonomie-Programms für die Pflege empfehlen Rogers et al. (2013) folgende Schlüsselfaktoren mit einzubeziehen:

- 1) **Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung:** Dazu gehört die physische Umgebung, wie die Anordnung und Organisation der Arbeitsplätze.
- 2) **Arbeitsorganisation und -kultur:** Der Ablauf von pflegerischen Interventionen und die generelle Arbeitskultur.
- 3) **Arbeitstätigkeiten:** Dazu zählen manuelles Heben von Patient*innen und das Fehlen von Hilfsmitteln.
- 4) **Integration in die berufsschulische und hochschulische Ausbildung:** Entwicklung von Strategien und Konzepten zur curricularen Weiterentwicklung und Integration.

Wie bereits von Rogers et al. (2013, S. 434f.) betont, sind organisatorische Aspekte wie die Integration von Exoskeletten in bestehende Arbeitsabläufe und die Anpassung von Arbeitsplätzen von zentraler Bedeutung. Eine erfolgreiche Implementierung erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Exoskelett-Herstellern, Pflegeeinrichtungen und Pflegekräften, um sicherzustellen, dass die Technologie optimal genutzt wird und die spezifischen Anforderungen der Pflege erfüllt werden.

Neue Erkenntnisse aus dieser Studie sind, dass für eine erfolgreiche Implementierung von Exoskeletten ein komplexes Zusammenspiel von Arbeitsabläufen in der Pflege, den Lagerorten der Exoskelette und den daraus resultierenden Laufwegen sowie der Kompetenzaufbau (3) durch Schulungen (2) in der konkreten Praxis berücksichtigt werden muss. Die Pflegenden sprechen sich in dieser Studie für einen Kulturwandel und ein grundsätzliches Überdenken der Arbeitsabläufe sowohl im stationären als auch im ambulanten Bereich aus. Themen und Arbeitsabläufe mit

Präventionsansätzen sollten laut der Befragten implementiert und umgesetzt werden (vgl. UK *Arbeitsablauf, Lagerort, Laufwege* (1); UK *Krankheitstage/Prävention* (4)). Die oben dargestellten Zusammenhänge sind in Abbildung 29 visualisiert.

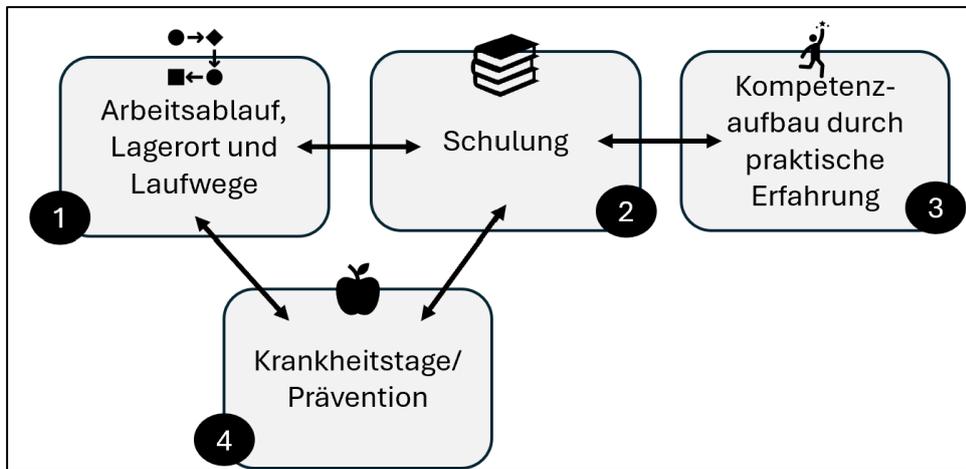


Abbildung 29: Wechselbeziehungen zur Implementierung von Exoskeletten in die Pflege

Mojtahedzadeh et al. (2021, S. 164) zeigen auf, dass durch die Veränderung von Arbeitsbedingungen arbeitsbedingte Belastungsfaktoren positiv beeinflusst und z.B. durch Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung (BGF) reduziert werden können. Allerdings sind bisher keine spezifischen BGF-Maßnahmen für die Pflege entwickelt und in die Arbeitsabläufe integriert worden (ebd.), was durch die Interviews bestätigt wird. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse dieser Studie auf, ‚Arbeitsabläufe, Lagerorte und Laufwege‘ (1) zu überdenken und präventive Aspekte (4), wie z.B. die bessere Integration von Hilfsmitteln wie Exoskelette, in die Arbeitsabläufe zu integrieren. Sofern eine Arbeitskultur und Organisation geschaffen werden, in der Exoskelette schnell und unkompliziert in den Arbeitsprozess integriert werden können, könnte dies eine Maßnahme sein, um arbeitsbedingte Belastungen zu reduzieren und langfristig möglicherweise zu einer Reduktion von Krankheitstagen beitragen (4). Der Kompetenzaufbau (3) durch Schulungen (2) und die Anwendung und Integration in die Praxis könnte zu einer verstärkten Nutzung von Exoskeletten führen und gleichzeitig in der Wechselwirkung zu einer Reduktion von Krankheitstagen (4) bewirken. Die aufgezeigten neuen Aspekte bieten jeweils genügend Potenzial für weitere und vertiefende Forschung.

Ein weiterer zentrale Aspekt ist Zeit (vgl. UK *Zeit*). Mojtahedzadeh et al. (2021) beschreiben einen erhöhten Leistungs- und Termindruck, der besonders in der ambulanten Pflege festzustellen ist. Dieser erhöhte Druck kann zu emotionaler und

psychischer Erschöpfung führen (Ahlers, 2016), Dies zeigt sich auch in den Arbeitsunfähigkeitstagen in der Pflege durch „depressive Episoden“, die laut Techniker Krankenkasse (2019, S. 39), auf Platz drei der fehlzeitenrelevanten Diagnosen stehen. Stress bzw. emotionale Erschöpfung wurde in dieser Studie nicht untersucht und nur kurz thematisiert. Der Gesundheitsreport der Techniker Krankenkasse (2019) wie auch der DAK-Gesundheitsreport (2023) zeigen ganz offensichtlich die Relevanz des Themas der psychischen Belastung in der Pflege. Durch den DAK-Gesundheitsreport 2023 wird die Relevanz des Themas nochmal deutlich, denn die Arbeitsdichte, bedingt durch ein hohes Pflegevolumen und Fachkräftemangel, durch arbeitsbedingte Fehlbelastungen wird sich in den nächsten Jahren weiter verstärken (Hildebrandt et al., 2023, S. 10), was sich schon jetzt durch die Äußerungen der Pflegenden zeigt (vgl. *UK Zeit*). Die Identifikation von Handlungsfeldern und die Entwicklung von geeigneten Interventionen sowie verhalten- und verhältnisbezogene Maßnahmen sollten weiter untersucht und auch im Kontext der psychischen Belastungen bedacht werden, als gesetzliche Grundlage könnte dabei das Arbeitsschutzgesetz §5 (1996) dienen.

Die Ergebnisse münden in einem multifaktoriellen Gerüst aus beschriebenen Belastungen- und Beanspruchungen und Arbeitsabläufen in der Pflege (Abbildung 30) und den direkten Vorstellungen zum Anpassen von passiven Exoskeletten an die Pflege (Abbildung 31).

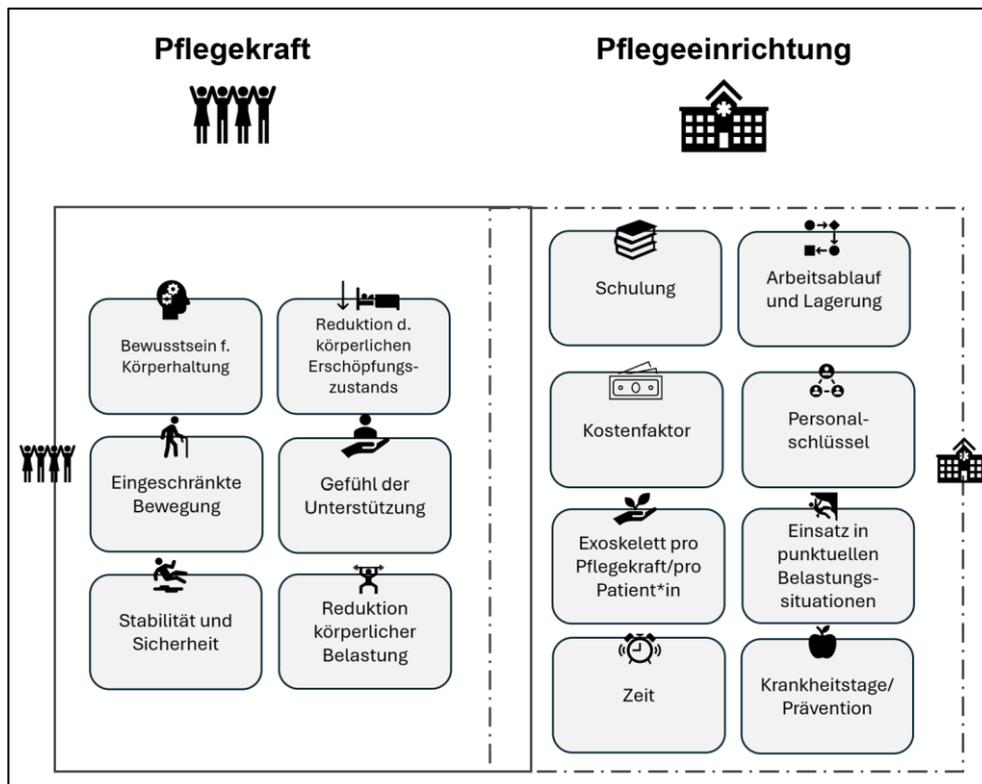


Abbildung 30: Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren und Implementierungsaspekte in der Pflege

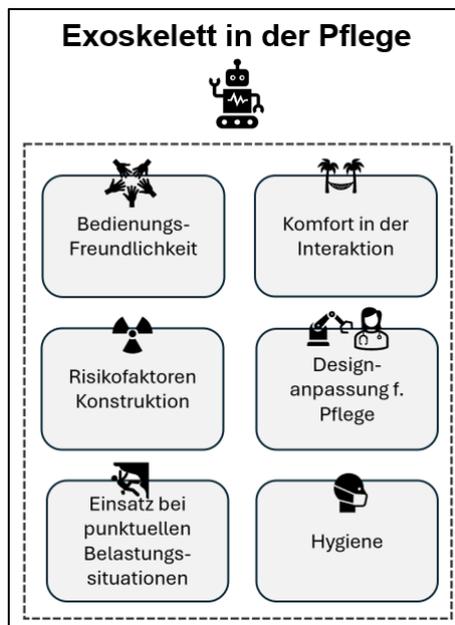


Abbildung 31: Ansprüche eines passiv rückenunterstützenden Exoskeletts in der Pflege

Die Einflussfaktoren der Arbeitsbelastung der Pflegekräfte gilt es zu minimieren bzw. zu optimieren, indem die statischen Haltungen und belastende Körperhaltungen reduziert werden. Dies kann jedoch nur durch eine gleichzeitige Anpassung der Arbeitsumgebung (vgl. UK *Personalschlüssel*; vgl. UK *Exoskelette pro Pflegekraft/Patient*in*), der Arbeitsbedingungen (vgl. UK *Zeit*; vgl. UK

Krankheitstage/Prävention; vgl. UK *Einsatz in punktuellen Belastungssituationen*), der Arbeitsinhalte (vgl. UK *Kompetenzaufbau*; vgl. UK *Schulung*; vgl. UK *Krankheitstage/Prävention*) und der Arbeitsorganisation (vgl. UK *Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege*) erfolgreich umgesetzt werden (Abbildung 30). Ein umfassendes Konzept zur Förderung der Gesundheit von Pflegekräften ist daher von hoher Relevanz und sollte sowohl auf der Verhaltens- als auch auf der Verhältnisebene ansetzen und wurde bereits von Otto und Heuel (2023) aufgezeigt. Der Bedarf und die Anforderungen an ein Exoskelett in der Pflege wurden durch die Perspektive der Pflegenden in dieser Studie dargestellt (vgl. OK *Exoskelett Nutzung*) und sind in Abbildung 31 zusammengefasst. Interessanterweise werden gesundheitsfördernde Maßnahmen bzw. das persönliche Verhalten von den Befragten der Studie nicht kritisch hinterfragt, sondern eher dem Thema Struktur/Organisation (vgl. UK *Arbeitsablauf, Lagerort, Laufwege*; UK *Zeit*) und den Verhältnissen zugeschrieben, die ein gesundheitsförderliches Verhalten nicht ermöglichen. Sowohl auf der Verhaltens- als auch auf der Verhältnisebene sollten weitere Forschungsansätze entwickelt werden, die z.B. Konzepte sowie Praxisleitfäden zur Implementierung von Exoskeletten in der Pflege beinhalten. Abbildung 32 fasst die Wechselwirkungen im Zusammenspiel noch einmal zusammen.

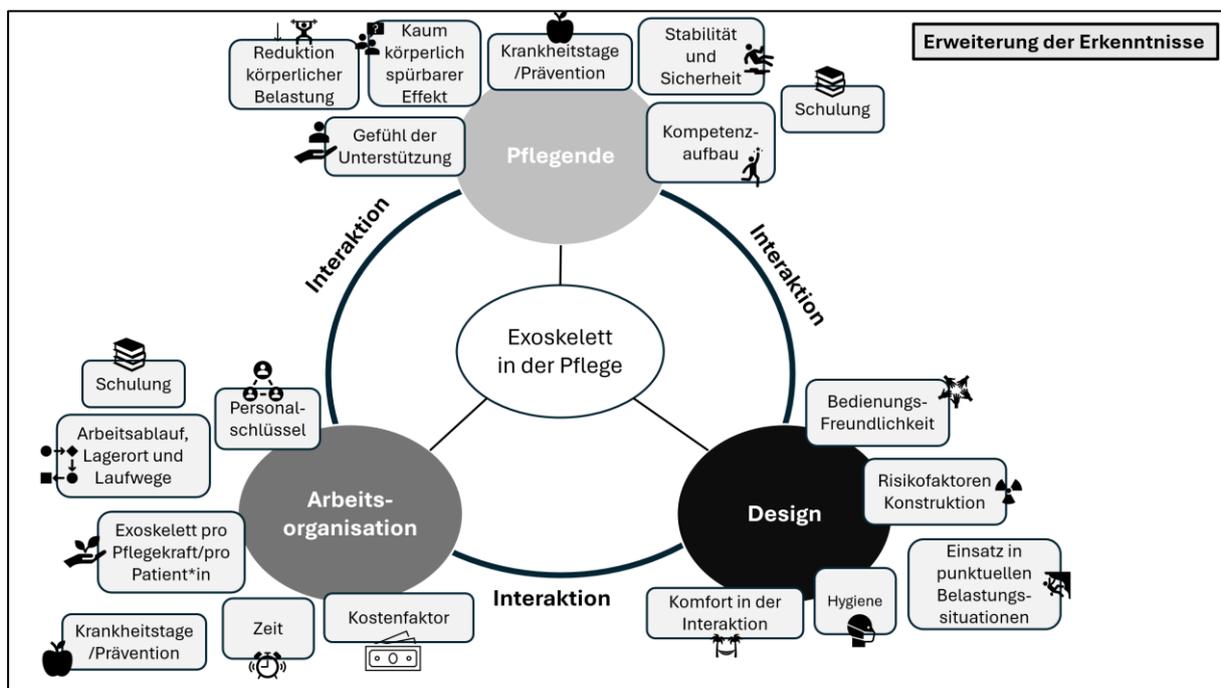


Abbildung 32: Erweiterung der Erkenntnisse; Wechselwirkung Pflegenden, Arbeitsorganisation und Design von Exoskeletten in der Pflege

6.5.4 Limitationen

Im Mittelpunkt der kritischen Reflexion dieses Kapitels steht die Methodik der leitfadengestützten Interviews zur Untersuchung des physischen Nutzens, der Akzeptanzfaktoren, sowie der Implementierung von Exoskeletten in die Pflege. Im Folgenden werden das Sampling, das methodische Vorgehen sowie die inhaltliche Ausrichtung der Studie im Hinblick auf den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn kritisch reflektiert und Empfehlungen für Folgestudien abgeleitet.

Sampling

In Bezug auf die qualitative Datenerhebung und -auswertung erwies sich der Einschluss der Pflegekräfte als positiv, es wurde das subjektive Erleben aus unterschiedlichen Arbeitsbereichen der Pflege, die auf Erfahrungen und Auseinandersetzungen in ihrem Arbeitsfeld beruhen, eingeholt. Dadurch konnte der physische Nutzen, die grundsätzliche Akzeptanz und die Implementierung von Exoskeletten nachgewiesen werden.

Um die Akzeptanz und Umsetzung von Exoskeletten im Verlauf und über die Dauer des praktischen Einsatzes vollständig beurteilen zu können, wäre es sinnvoll, Gepflegte wie auch pflegende Angehörige mit einzubeziehen. Nach Turja et al. (2022) handelt es sich beim Einsatz von Exoskeletten um eine Mensch-Technik-Interaktion und damit nicht nur um eine Interaktion zwischen Pflegenden und Exoskelett, sondern auch um eine Interaktion zwischen Pflegenden und Gepflegten. Durch die Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes der Pflegekraft könnte dies z.B. in der geriatrischen Pflege zu Irritationen bei den Gepflegten führen, diese Befürchtung wurde bereits in den Interviews von den Pflegekräften geteilt (vgl. UK *Risikofaktoren Konstruktion*). Durch z.B. eine qualitative teilnehmende oder nicht-teilnehmende Beobachtung (Flick, 2007, S. 281) in einer konkreten Pflegesituation und damit in der natürlichen Umgebung, könnte ein Einblick in die tatsächliche Arbeitssituation gelingen und zusätzliche Aspekte und Anforderungen beobachtet, klar definiert und Vorschläge zur Anpassung und Integration von Exoskeletten aus der Sicht der Gepflegten entwickelt werden. Die Einbeziehung von Führungskräften und geschäftsführenden Personen aus der Pflege könnte weitere, differenzierte Erkenntnisse zur Implementierung von Exoskeletten aufzeigen, die z.B. konkrete Ansätze zur Verbesserung der ergonomischen Arbeitsverhältnisse und Arbeitsabläufe, wie auch

konkrete Maßnahmen zur Umsetzung benennen könnten, um der Komplexität des Themas gerecht zu werden.

Methodisches Vorgehen

Die beiden Pretests der Interviews haben sich als methodisch sinnvoll erwiesen, es konnte ein Eindruck gewonnen werden, ob die Interviewstruktur einerseits im zeitlichen Rahmen bleibt und sich andererseits in Bezug auf die Fragestellung als sinnvoll erweist. Die weiteren Maßnahmen zur Qualitätssicherung (Prüfplan, Member Checking, Inter- und Intraraterreliabilität; Tabelle 12) erhöhen die Zuverlässigkeit und Qualität der erhobenen qualitativen Daten. Die Forscherin verfolgte einen transparenten und nachvollziehbaren Erhebungs- und Auswahlprozess, in dem Gütekriterien angewandt und dem regelgeleiteten Vorgehen nach Mayring (2015) folge geleistet wurde. Im Sinne eines Mixed-Methods-Ansatzes, wurde die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse mit der thematischen Analyse nach Braun und Clarke (2006) kombiniert. Die Kombination beider Methoden ermöglichte eine umfassende Analyse des Materials: Sowohl eine systematische Kategorienbildung (Mayring, 2015) als auch eine tiefergehende thematische Exploration (durch „thematic maps“ s. Anhang 13) (Braun & Clarke, 2006). Durch den soliden Kappa Wert ($K = 0.68$), zur Überprüfung der Intercoder-Reliabilität, wird die Genauigkeit des Interpretationsvorgangs unterstrichen.

Folgestudien könnten den Befragten Fallzusammenfassungen und weiteres analysiertes Material zum Member-Checking zur Verfügung stellen. Die Möglichkeit des in dieser Studie durchgeführten Member-Checkings durch Gegenlesen der Transkripte wurde von den Teilnehmenden als interessant empfunden und positiv angenommen, wobei sich vier Personen nicht zurückgemeldet hatten.

Inhaltliche Ausrichtung der Studie

Aufgrund der Komplexität und Multidimensionalität des Themas mit der Kombination von Implementierung und Akzeptanz wurde eine starke thematische Eingrenzung in Bezug auf den physischen Nutzen vorgenommen, für den aufschlussreiche Ergebnisse erzielt werden konnten. Die Ergebnisse zeigen, dass Pflegende durch das Tragen eine erhöhte Sensibilität für ihre Körperhaltung erfahren und sich weniger körperlich erschöpft fühlen. Die akzeptanzbezogenen Faktoren, aus Sicht der Pflegenden, wurde erfasst und ein Überblick zu konkreten Änderungsvorschlägen

dargestellt (Abbildung 31), könnte allerdings durch die Perspektive von Gepflegten und pflegenden Angehörigen zu noch weiteren Erkenntnissen führen. Auf der Mikroebene (personenspezifische Ebene) zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass Pflegekräfte die Veränderung der Haltung, eine reduzierte körperliche Belastung und Erschöpfung spüren, Stabilität und Sicherheit erfahren und das Gefühl durch das Exoskelett unterstützt zu werden (Abbildung 30). Eine Übertragbarkeit des Gefühls beim Tragen eines Exoskeletts unter ähnlichen Bedingungen in der Praxis ist denkbar.

Neben dem physischen Nutzen könnte gezielt nach einer Veränderung durch das Tragen und die Integration des Exoskeletts in den Arbeitsprozess und den Auswirkungen auf das psychomentale und psychosoziale Wohlbefinden gefragt werden. Zum Thema Exoskelette und deren Einfluss auf die psychomentale und psychosoziale Beanspruchung liegen international noch keine Studien vor. Die psychosozialen und psychomentalen Belastungen in der Pflege sind - wie in dem letzten Kapitel aufgezeigt - hoch und eindeutig belegt. Folgestudien könnten diesen Teilbereich gezielt untersuchen und die Wechselwirkung zwischen dem Einsatz eines Exoskeletts und den psychomentalen/psychosozialen Veränderungen untersuchen.

Auf Makroebene (organisationsspezifisch) können die Ergebnisse wertvolle Hinweise zur Akzeptanz und Implementierung von Exoskeletten liefern (Abbildung 30). Es wurden gezielte Maßnahmen wie der Kompetenzerweiterung durch Schulungen genannt, und ein Zusammenhang mit der Reduzierung von Fehltagen/Prävention gesehen. Die Forscherin teilt die Auffassung Otto und Heuel (2023, S. 26), die sich für die Umsetzung von Präventionsangeboten zur Gesundheitsförderung von Pflegekräften aussprechen, die sowohl auf der Verhaltens- als auch auf der Verhältnisebene ansetzen. Eine Erfassung der arbeitsbedingten Beanspruchungs- und Belastungsfaktoren ist dabei notwendig, um bedarfsgerechte Maßnahmen für Pflegekräfte zu ergreifen. Diese Untersuchung liefert erste Forschungsansätze zum physischen Nutzen, der Akzeptanz, Nutzung und Implementierung von Exoskeletten in der Pflege.

7 Meta-Interferenz und Diskussion der Ergebnisse aus Quanti- und Qualitativen-Daten

In Bezug auf die übergeordnete Frage: „Wie beeinflusst der Einsatz von Exoskeletten in der Pflege die physische Belastung und Akzeptanz von Pflegekräften, und welche

Aspekte sind für eine erfolgreiche Implementierung dieser Technologie in der Praxis entscheidend?" werden kurz wiederholend die Ergebnisse der quantitativen Untersuchung aufgezeigt und im nächsten Schritt mit den qualitativen Ergebnissen diskutiert.

Die Ergebnisse der quantitativen Untersuchung zeigen, dass das Tragen des Exoskeletts (Exo) keine Unterschiede in der Muskelaktivität (ES, QL, IC) ($p > .05$) hervorruft, jedoch zu einer signifikant geringeren Hüftbeugung ($p < .001$) und zu einer signifikant geringeren wahrgenommenen körperlichen Anstrengung ($p < .001$) mit dem Exoskelett führt. Die Ergebnisse des subjektiven Belastungsempfindens spiegeln sich auch in den Interviews wider, in denen die Pflegekräfte die körperliche Entlastung und Haltungsunterstützung positiv hervorheben und ein Gefühl der Unterstützung, Stabilität und Sicherheit sowie ein reduziertes Gefühl der körperlichen Belastung und Erschöpfung beschreiben (siehe 1; Abbildung 33). Die quantitativen Ergebnisse werden durch die Ergebnisse der qualitativen Studie bestätigt.

Ergebnisse in Studien von Exoskeletten in der Industrie weisen auf einen auf einen Interaktionseffekte zwischen der Selbstwirksamkeit, der wahrgenommenen körperlichen Entlastung und des wahrgenommenen Nutzens in der Weise hin, dass Beschäftigte, die das Exoskelett als entlastender oder nützlicher erlebten, auch mit größerer Wahrscheinlichkeit von einer Zunahme ihrer Selbstwirksamkeitsüberzeugungen berichteten (Siedl & Mara, 2021). Eine positive Veränderung der Selbstwirksamkeit war wiederum mit einer größeren Bereitschaft verbunden, das Exoskelett am Arbeitsplatz weiter zu nutzen (Baltrusch et al., 2018; Siedl & Mara, 2021). Die hier vorliegenden Ergebnisse könnten weitere Hinweise dazu liefern, den Zusammenhang zwischen Exoskelett-Nutzung und aufgabenspezifischer Selbstwirksamkeit im beruflichen Kontext weiter zu untersuchen. Pflegenden, die das Exoskelett als angenehm und nützlich in der Bewegung wahrgenommen haben, könnten auch in den Interviews den Nutzen genannt haben und sich eher vorstellen das Exoskelett in ihre Arbeit zu integrieren und zu verwenden. Siedl und Mara (2021, S. 10) konnten zeigen, dass die Selbstwirksamkeit eine Ergebnisvariable darstellt, die durch den Einsatz von Exoskeletten am Arbeitsplatz beeinflusst wird und die Arbeitnehmer*innen eher bereit sind ein Exoskelett bei der Arbeit zu verwenden, wenn sie den Nutzen fühlen. In Verbindung mit der Rolle der Nützlichkeit für die

Technologieakzeptanz steht das Ergebnis im Einklang mit dem im theoretischen Hintergrund aufgezeigten TAM3 (Venkatesh & Bala, 2008).

Das Ergebnis der quantitativen Daten bezüglich der Muskelaktivität ist nicht eindeutig, die Ergebnisse sind nicht signifikant und zeigen keinen Unterschied in der Muskelaktivität von ES, IL und QL. Die Ergebnisse werden nur teilweise bestätigt; einerseits geben die Pflegenden an, sich kaum unterstützt zu fühlen, andererseits überwiegt die Wahrnehmung der Verringerung des Erschöpfungszustandes und der Unterstützung (siehe 2; Abbildung 33). Die Sensibilisierung für die Körperhaltung, wie auch die Erfahrung der Pflegekräfte (>3 Jahre) könnte zu einer Harmonisierung der Bewegungsabläufe beigetragen haben und eine Begründung für eine geringere Muskelaktivität liefern (und damit die Ergebnisse der quantitativen Studie bestätigen; siehe Diskussion Kapitel 5.3). Allerdings wurde von den Pflegenden auch eine Unterstützung und eine geringere Erschöpfung wahrgenommen, was im Gegensatz zu den quantitativen Ergebnissen der Muskelaktivität steht. Mögliche Erklärungen hierfür wurden bereits in der Diskussion im Kapitel 5.3 der quantitativen Studie erwähnt. Im Gegensatz dazu stehen die signifikanten Ergebnisse des maximalen Hüftbeugewinkels, die durch die Wahrnehmung der Pflegenden bestätigt wurden. Das Tragen des Exoskeletts ist mit einer geringeren Hüftbeugung assoziiert, was von den Pflegenden durch eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit beim Tragen beschrieben wurde (3, Abbildung 33). Eine Differenzierung zwischen den Bedingungen „Exo-Off“ und „Control“ erfolgte durch die befragten Pflegekräfte jedoch nicht.

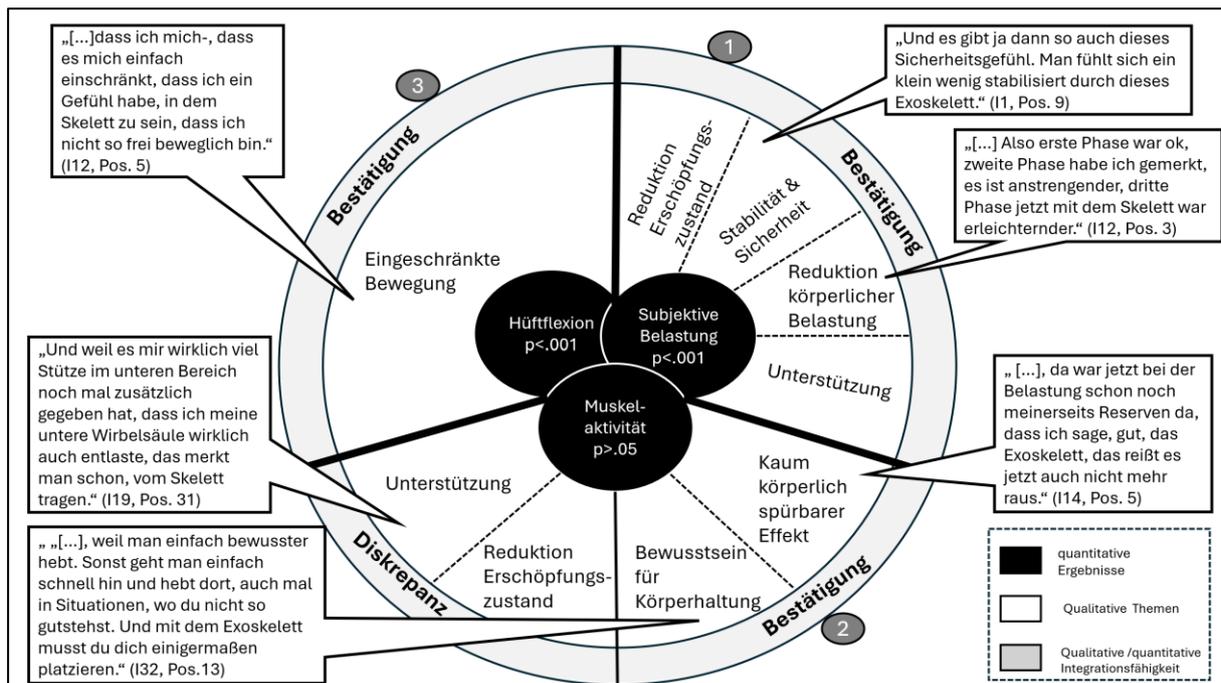


Abbildung 33: Joint Display zur Darstellung der Integration von quantitativen und qualitativen Ergebnissen der Studie

Aus der unterschiedlichen Wahrnehmung der physischen Entlastung durch die Pflegekräfte schließt die Forscherin, dass Exoskelette keine Einheitslösung darstellen und dieses Hilfsmittel für einige Pflegekräfte besser geeignet (d.h. nützlich und entlastend) zu sein scheint als für andere. Dies stellt eine Verbindung zum größeren ergonomischen Diskurs über das gesundheitsschützende Potenzial von Exoskeletten im Allgemeinen her. Obwohl passive Exoskelette wahrscheinlich die physische Belastung des Rückens reduzieren (Bosch et al., 2016; Koopman et al., 2019), bleibt nach wie vor umstritten, ob Exoskelette ein wirksames Mittel sein können, um der Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen wie Rückenschmerzen entgegenzuwirken. Dies liegt an der Vielzahl von Aspekten, die beim Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zu berücksichtigen sind (Steinhilber et al., 2020) und die in dieser Studie anhand der unterschiedlichen Anforderungen an die Gestaltung eines Exoskeletts in der Pflege aufgezeigt wurden (Kapitel 6.4). Die Art und Abfolge einer Arbeitstätigkeit sowie die Unterstützungsfunktion scheinen entscheidend für die "ideale" Passung eines Exoskeletts zu sein und werden auch von anderen Autor*innen in der Industrie beschrieben (Alabdulkarim & Nussbaum, 2019; Theurel & Desbrosses, 2019). Damit verbunden ist auch die Forderung, ausreichend zu verstehen, unter welchen konkreten Arbeitsbedingungen Exoskelette von wem als nützlich und entlastend empfunden werden. TAM3 schlägt beispielsweise

Einflussvariablen wie das Ansehen und die Wirkung (Image) innerhalb einer Berufsgruppe vor, von denen erwartet wird, dass sie den wahrgenommenen Nutzen und die Technologieakzeptanz beeinflussen (Venkatesh & Bala, 2008) (s. theoretischer Hintergrund, Kapitel 2.7). Darüber hinaus wird in TAM3 darauf hingewiesen, dass der körperliche Gesundheitszustand der Beschäftigten (z. B. Rückenschmerzen) einen weiteren Einfluss auf den Nutzen haben kann und sich auf das Verhalten und die Wahrnehmung von, hier der Pflegenden, auswirken kann (ebd.). In diesem Kontext wurde seitens der Pflegenden auf den Zusammenhang zwischen Rückenschmerzen und dem Nutzen von Exoskeletten hingewiesen (vgl. UK *Krankheitstage/Prävention*). Die Beeinflussung der genannten Aspekte konnte in der vorliegenden Studie nur teilweise aufgeklärt werden, bietet jedoch das Potenzial, in weiteren Forschungsarbeiten untersucht zu werden.

In Anbetracht der hier vorliegenden Ergebnisse kann zusammengefasst werden, dass der physische Nutzen und die Benutzer*innen-Freundlichkeit, die dem Exoskelett zugeschrieben werden, mit der Akzeptanz des Exoskeletts verbunden sind.

7.1 Limitationen

Die Grenzen der Mixed-Methods-Studie zeigen die geringe Integration und Interferenz der qualitativen und quantitativen Daten. Das Hauptinteresse lag auf den physischen Nutzen, insofern sind die Interferenzen auch in diesem Bereich zu finden, alle anderen neuen Erkenntnisse wurden separat betrachtet und interferieren kaum mit den quantitativ erhobenen Daten. Das eingebettete Design führte zu einem vertieften Verständnis in Bezug zum physischen Nutzen. Die Ergebnisse konnten in Form eines „Joint Displays“ zusammengeführt und vergleichend betrachtet werden. Anhand der Darstellung konnten Unterschiede und Gemeinsamkeiten aufgezeigt werden. In Bezug auf die Akzeptanz und den Nutzen konnte eine Wissenserweiterung gewonnen werden, die jedoch nicht mit den quantitativen Daten in Verbindung gebracht werden konnte. Die akzeptanz- und implementierungsbezogenen Aspekte der Pflegenden könnten in weiteren Mixed-Methods-Studien durch eine quantitative Beobachtungsstudie oder eine Fragebogenerhebung mit Interviews ergänzt und erweitert werden. Hier würden sich z.B. eine quantitative Beobachtung bzw. Fragebogenerhebung und qualitative Interviews zur Vertiefung der beobachteten Verhaltensweisen und Antworten anbieten (Schreier et al., 2023, S. 355).

Die Stärken dieser Studie liegen darin, dass beide Teilstudien den gängigen Gütekriterien der quantitativen und qualitativen Forschung folgten und somit die Qualitätssicherung auch im Hinblick auf die Qualitätsvoraussetzung einer Meta-Interferenz darstellen (ebd.). Zusätzlich wurde die Studie von der Ethikkommission der Universität Regensburg (Nummer: 20-2134-101, siehe Anhang 1) genehmigt, im Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS00030006) registriert und basiert auf den Richtlinien der Guten Klinischen Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2019). Eine weitere Stärke kann in der Größe der Stichprobe gesehen werden: Es kann von einer Sättigung der Daten in den Interviews ausgegangen werden.

Bei der Bewertung der Qualität von Meta-Interferenzen orientierte sich die Forscherin an den Empfehlungen von Bazeley (2018), die einen Rückbezug auf die Fragestellung und die Daten empfiehlt. Die übergeordnete Forschungsfrage nach dem physischen Nutzen für die Pflegenden konnte durch die Mixed-Methods-Studie beantwortet werden.

8 Konklusion

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Exoskelette in der Pflege ein großes Potenzial zur Entlastung des Pflegepersonals und zur Verbesserung der Pflegequalität bieten. Die erfolgreiche Einführung dieser Technologien hängt jedoch stark von der Akzeptanz der Nutzenden, einer adäquaten Schulung sowie wirtschaftlichen und organisatorischen Überlegungen ab. Zukünftige Forschung und Entwicklung sollte diese Aspekte berücksichtigen, um die Vorteile von Exoskeletten in der Pflege voll auszuschöpfen.

Die Stärke dieser Studie liegt in der multidimensionalen Betrachtung des Themas sowohl auf der Mikroebene (personenspezifisch) als auch auf der Makroebene (organisationsspezifisch), die für die Pflegenden selbst, das Arbeitsumfeld und die spezifischen Belastungssituationen relevant sind. Diese Aspekte können zur Akzeptanz von Exoskeletten beitragen. Wenn Exoskelette in Zukunft eingesetzt werden, könnten sie vorzeitiger subjektiver Ermüdung vorbeugen und dazu beitragen, die Bereitschaft zur Nutzung von Exoskeletten zu erhöhen, was die damit verbundenen indirekten Kosten wie Fehlzeiten reduzieren könnte.

Die Identifizierung dieser Aspekte aus dieser Mixed-Methods-Studie ist ein erster Schritt Faktoren für die langfristige Nutzung aufgezeigt zu haben. Durch den Einsatz

quantitativer und qualitativer Gütekriterien und der Orientierung an dem Studienprotokoll nach dem „SPIRIT 2013 Statement“ für klinische Studien (Chan et al., 2013) und dem "COREQ Guideline“ für qualitative Studien (Tong et al., 2007), konnte genau untersucht werden, welche Aspekte einzeln betrachtet relevant sind und durch die Mixed-Methods-Studie Aspekte hervorheben, die sich gegenseitig beeinflussen.

Die Entwicklung eines Exoskeletts stellt eine anspruchsvolle Aufgabe für den Pflegebereich dar. Aufgrund der qualitativen Ergebnisse kann die Forscherin folgende Aspekte benennen, die bei der Entwicklung von Exoskeletten in der Pflege zunächst mehr Aufmerksamkeit verdienen: der langfristige Tragekomfort eines Exoskeletts und die Kompatibilität des Exoskeletts mit den spezifischen Aufgaben, die Hygiene und ein körperbetontes Exoskelett. Gleichzeitig ist den weiteren Aspekten der Rahmenbedingungen der Pflegeeinrichtung sowie den prozessbezogenen Faktoren innerhalb der Organisation und der Implementierung eines Exoskeletts hohe Aufmerksamkeit zu schenken, die die Akzeptanz und den (körperlichen) Nutzen von Exoskeletten fördern können.

9 Ausblick und Empfehlung für die Forschung und den praktischen Einsatz von Exoskeletten in der Pflege

Um die Gesundheit der Mitarbeitenden in der Pflege zu fördern, ist ein Paradigmenwechsel notwendig, der die Gesundheit der Pflegenden in den Vordergrund stellt. Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung (BGM/BGF) sollten während der Arbeitszeit angeboten werden und nicht nur gesunde Mitarbeitende erreichen, sondern allen zugänglich sein. Dazu gehören Wissensvermittlung, anwendungsorientierte Schulungen und langfristig die Reduktion von Fehlzeiten. Kuntz (2011, S. 323) betont die Bedeutung der gesundheitsbezogenen Bildung durch differenzierte Schulungsprogramme, die in die Aus- und Weiterbildung sowie in Pflegeeinrichtungen integriert werden sollten. Brandt et al. (2024) bieten eine erste Orientierung zur Implementierung und Technikakzeptanz von kulturellen Aspekten in der Pflege.

Bischoff et al. (2023a, S. 21ff) betonen den Aufbau von Gesundheitskompetenz bei Pflegenden, sowohl in Bezug auf Selbstwahrnehmung und Verantwortungsübernahme als auch in Bezug auf das Gesundheitsverhalten und das Verständnis relevanter Gesundheitsinformationen. Eine lebens- und arbeitsweltbezogene Prävention und

Gesundheitsförderung sollte sowohl individuelle Verhaltensprävention (z.B. Bewegungsgewohnheiten, Stress- und Ressourcenmanagement) als auch die betriebliche Gesundheitsförderung mit dem Ziel der Schaffung eines gesundheitsförderlichen Arbeitsumfeldes umfassen. Organisationen können sich als gesundheitskompetent positionieren und Strategien zur Gesundheitsförderung in der gesamten Organisation verankern. Führungskräfte nehmen eine zentrale Rolle ein, indem sie gesundheitsförderliche Arbeitsprozesse vorleben und Physiotherapeut*innen zur Vermittlung von Gesundheitskompetenzen in den Prozess integrieren sollten.

Brach et al. (2012, S. 6) verstehen Pflegeeinrichtungen als „Health Literate Care Organizations“, in denen die Gesundheitskompetenz gefördert wird und sowohl Mitarbeitende als auch Gepflegte zu gesundheitsbewusstem Verhalten angeregt werden. In diesem Kontext könnten Exoskelette in die Pflege integriert werden, um sowohl auf der Verhältnis- als auch auf der Verhaltensebene positive Effekte zu erzielen. Dazu gehören Schulungsmaßnahmen zur Kompetenzerweiterung, die begleitete Anwendung durch bspw. Physiotherapeut*innen und die Benutzer*innen-Freundlichkeit der Exoskelette.

Das Wiener Konzept der „gesundheitskompetenten Krankenbehandlungsorganisationen“ (Pelikan & Dietscher, 2015, S. 992f.) bietet konkrete Handlungsansätze, wie Organisationen ihre Mitarbeitenden dabei unterstützen können, sich gesund zu bleiben. Dazu gehören die Integration von Gesundheitskompetenz in die Aus- und Weiterbildung sowie deren praktische Anwendung. Um evidenzbasierte Strategien zur Förderung von Gesundheitskompetenz in der Pflege zu entwickeln, besteht weiterhin Bedarf an Implementationsforschung, die alle beteiligten Akteure einbezieht.

Folgende Empfehlungen könnten in zukünftigen Studien zum Einsatz von Exoskeletten in der Pflege berücksichtigt werden:

- **Integration der Bedarfe und Bedürfnisse der Gepflegten:** Weitere Forschung sollte die Perspektive der Gepflegten stärker einbeziehen.
- **Quantitative und qualitative Forschung:** Es sollten weitere Beobachtungen und Analysen im Pflegealltag durchgeführt werden, die alle Akteur*innen mit einbeziehen.

- **Entwicklung eines partizipativen Leitfadens:** Unter Beteiligung aller Akteur*innen (Pfleger*innen, Gepflegte, Führungskräfte, Management) sollte ein Leitfaden zur Integration von Exoskeletten in die Pflege entwickelt werden.
- **Berücksichtigung von Organisationsstrukturen und Arbeitsabläufen:** Ein gesundheitsfördernder Ansatz sollte sowohl strukturelle als auch kulturelle Aspekte der Organisation berücksichtigen.
- **Kompetenzerweiterung durch Schulungen:** Schulungen spielen eine zentrale Rolle, um Pfleger*innen über den Nutzen von Exoskeletten aufzuklären und die praktische Anwendung zu fördern.
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit:** Nutzende von Exoskeletten sowie Interessensvertretende müssen für eine erfolgreiche Implementierung einbezogen werden.
- **Berücksichtigung normativer Aspekte der Pflege:** Technische Unterstützung darf die zwischenmenschliche Interaktion in der Pflege nicht beeinträchtigen. Diese Aspekte müssen bei der Implementierung und weiteren Forschung berücksichtigt werden.

Für eine erfolgreiche Implementierung von Exoskeletten in der Pflege ist ein ganzheitlicher und strukturierter Ansatz auf Organisationsebene erforderlich, der alle Beteiligten einbezieht. Forscher*innen können diese Studie nutzen, um weitere Faktoren zu untersuchen, die die Akzeptanz von Exoskeletten aus Sicht der Pflegebedürftigen beeinflussen. Unternehmen sollten den Einsatz von Exoskeletten sorgfältig planen und Nutzende frühzeitig in den Entwicklungsprozess einbeziehen, um Anpassungen kosteneffizient zu gestalten. Bei der vorliegenden Mixed-Methods-Studie handelt es sich um eine erste Bestandsaufnahme, wobei die vorliegenden Ergebnisse nur einen Ausschnitt zu Aspekten von Exoskeletten in der Pflege darstellen. Es ist daher festzuhalten, dass die Implementierung von Exoskeletten einer weiteren Diskussion bedarf und die vorliegende Studie einen ersten Anstoß für weitere Forschung gibt.

10 Literaturverzeichnis

- Abdoli, M., Agnew, M. J. & Stevenson, J. M. (2006). An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clinical Biomechanics*, 21(5), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.12.021>
- Abel, J., Hirsch-Kreinsen, H., Steglich, S. & Wienzek, T. (2019). *Akzeptanz von Industrie 4.0*. Forschungsbreirat. https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/akzeptanz-industrie40.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- Ahlers, E. (2016). *Arbeit und Gesundheit im betrieblichen Kontext: Befunde aus der Betriebsrätebefragung des WSI 2015*. WSI Report (Nr. 33).
- Alabdulkarim, S. & Nussbaum, M. A [Maury A.] (2019). Influences of different exoskeleton designs and tool mass on physical demands and performance in a simulated overhead drilling task. *Applied ergonomics*, 74, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.004>
- Albert, J. A., Owolabi, V., Gebel, A., Brahms, C. M., Granacher, U. & Arrrich, B. (2020). Evaluation of the Pose Tracking Performance of the Azure Kinect and Kinect v2 for Gait Analysis in Comparison with a Gold Standard: A Pilot Study. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(18). <https://doi.org/10.3390/s20185104>
- Alemi, M. M., Madinei, S., Kim, S., Srinivasan, D. & Nussbaum, M. A [Maury A.] (2020). Effects of Two Passive Back-Support Exoskeletons on Muscle Activity, Energy Expenditure, and Subjective Assessments During Repetitive Lifting. *Human factors*, 62(3), 458–474. <https://doi.org/10.1177/0018720819897669>
- Ammann, A. (2013). *Rückengerechtes Arbeiten in der Pflege: Leitfaden für gesundheitsfördernde Transfertechniken* (1. Aufl.). Schlütersche. <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1793531>
- Andreas Elm. (2014). *Evaluation of body position measurement and analysis using Kinect- at the example of golf swings*.
- Argubi-Wollesen, A. & Wollesen, B. (2023). Digitale und technische Unterstützungssysteme zur Gesundheitsförderung in der Pflege. In L. L. Bischoff, A.-K. Otto & B. Wollesen (Hrsg.), *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim: Praktische Umsetzung für Führungskräfte* (S. 97–109). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-67020-0_8
- Arjmand, N., Plamondon, A., Shirazi-Adl, A., Larivière, C. & Parnianpour, M. (2011). Predictive equations to estimate spinal loads in symmetric lifting tasks. *Journal of biomechanics*, 44(1), 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.08.028>
- Baltrusch, Houdijk, H [Han], van Dieën, J. H [Jaap H.], van Bennekom, C. A. M [Coen A. M.] & Kruif, A. J. T. C. M. de (2020). Perspectives of End Users on the Potential Use of

- Trunk Exoskeletons for People With Low-Back Pain: A Focus Group Study. *Human factors*, 62(3), 365–376. <https://doi.org/10.1177/0018720819885788>
- Baltrusch, van Bennekom, C. A. M [C. A. M.] & Houdijk, H [H.] (2018). The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Applied ergonomics*, 72, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.04.007>
- Baltrusch, van Dieën, J. H [J. H.], Bruijn, S. M., Koopman, A. S., van Bennekom, C. A. M [C. A. M.] & Houdijk, H [H.] (2019). The effect of a passive trunk exoskeleton on metabolic costs during lifting and walking. *Ergonomics*, 62(7), 903–916. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1602288>
- Baltrusch, van Dieën, J. H [J. H.], Koopman, A. S., Näf, M. B., Rodriguez-Guerrero, C [C.], Babič, J. & Houdijk, H [H.] (2020). SPEXOR passive spinal exoskeleton decreases metabolic cost during symmetric repetitive lifting. *European journal of applied physiology*, 120(2), 401–412. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04284-6>
- Bandow, G [Gerhard] & Holzmüller, H. H. (2010). *"Das ist gar kein Modell!": Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften* (1. Auflage). Gabler Research. Gabler Research.
- Bär, M., Luger, T., Seibt, R., Rieger, M. A. & Steinhilber, B. (2022). Using a Passive Back Exoskeleton During a Simulated Sorting Task: Influence on Muscle Activity, Posture, and Heart Rate. *Human factors*, 187208211073192. <https://doi.org/10.1177/00187208211073192>
- Bär, M., Steinhilber, B., Rieger, M. A. & Luger, T. (2021). The influence of using exoskeletons during occupational tasks on acute physical stress and strain compared to no exoskeleton - A systematic review and meta-analysis. *Applied ergonomics*, 94, 103385. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103385>
- Bashirov, R., Ianina, A., Iskakov, K., Kononenko, Y., Strizhkova, V., Lempitsky, V. & Vakhitov, A. (2021). Real-time RGBD-based Extended Body Pose Estimation, 2807–2816.
- Basmajian, J. V. & DeLuca, C. J. (1985). *Muscles Alive* (5.Auflage). Williams and Wilkins.
- Bazeley, P. (2018). *Integrating analyses in mixed methods research*. SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781526417190>
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. (2019). *Beurteilung von manuell zu handhabenden Lastgewichten*.
- Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege. (2017). *Starker Rücken: Ganzheitlich vorbeugen, gesund bleiben in Pflegeberufen*.
- Bischoff, L. L., Otto, A.-K. & Wollesen, B. (Hrsg.). (2023a). *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-67020-0>

- Bischoff, L. L., Otto, A.-K. & Wollesen, B. (Hrsg.). (2023b). *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim: Praktische Umsetzung für Führungskräfte*. Springer. <https://link.springer.com/978-3-662-67019-4>
- Boniol, Mclsaac, XU, Wulliji, Diallo & Campbell. (2019). *Gender equity in the health workforce: Analysis of 104 countries*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/311314/WHO-HIS-HWF-Gender-WP1-2019.1-eng.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Bonse-Rohmann, M., Möhringer, A., Grosser, J., Schmidt, C., Israel, G., Krumm, J. & Bausch-Weis, G. (2007). *Gesundheitsförderung und Prävention: Eine Herausforderung für die Pflegeausbildung*.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 16 Suppl 1, 55–58. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1815>
- Borg, G. (2008). A general scale to rate symptoms and feelings related to problems of ergonomic and organizational importance. *Giornale italiano di medicina del lavoro ed ergonomia*, 30(1 Suppl A), A8-10.
- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K. & Looze, M. de (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied ergonomics*, 54, 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.12.003>
- Brach, C., Keller, D., Hernandez, L., Baur, C., Parker, R., Dreyer, B., Schyve, P., Lemerise, A. J. & Schillinger, D. (2012). Ten Attributes of Health Literate Health Care Organizations. *NAM Perspectives*, 02(6). <https://doi.org/10.31478/201206a>
- Brandt, H., Heidl, C. & Weber, K [Karsten]. (2024). Kulturelle Aspekte in der Pflegeversorgung für Technikakzeptanz und Implementierung. In S. Scholz & J. Zerth (Hrsg.), *Versorgung gestalten: Bd. 6. Versorgung gestalten in vulnerablen Lebenslagen* (1. Auflage, S. 132–147). W. Kohlhammer GmbH.
- Brandt, H., Zorn, M. & Pfingsten, A. (2023). Markerloses Tracking von Bewegung: Motion Capture in der Physiotherapie. *pt Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 75, 20–26.
- Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
- Budhrani-Shani, P., Berry, D. L., Arcari, P., Langevin, H. & Wayne, P. M. (2016). Mind-Body Exercises for Nurses with Chronic Low Back Pain: An Evidence-Based Review. *Nursing research and practice*, 2016, 9018036. <https://doi.org/10.1155/2016/9018036>
- Bundesagentur für Arbeit. (2023). *Arbeitsmarktsituation im Pflegebereich: Berichte: Blickpunkt Arbeitsmarkt* (Berichte: Blickpunkt Arbeitsmarkt).
- Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften. (2017). *Nationale*

Versorgungsleitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz – Langfassung, 2. Auflage.
Version 1. <https://doi.org/10.6101/AZQ/000353>

- Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG). § 5 Beurteilung der Arbeitsbedingungen (1996).
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2024). *Initiative Neue Qualität der Arbeit. Demographischer Wandel und Beschäftigung.* <https://www.inqa.de/DE/startseite/startseite.html>
- Büsch, D., Utesch, T. & Marschall, F. (2022). Entwicklung und Evaluation der Anstrengungsskala Sport. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 52(1), 173–178. <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00757-z>
- Campanini, I., Disselhorst-Klug, C [Catherine], Rymer, W. Z. & Merletti, R. (2020). Surface EMG in Clinical Assessment and Neurorehabilitation: Barriers Limiting Its Use. *Frontiers in Neurology*, 11, 934. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00934>
- Chan, A.-W., Tetzlaff, J. M., Altman, D. G., Laupacis, A., Gøtzsche, P. C., Krleža-Jerić, K., Hróbjartsson, A., Mann, H., Dickersin, K., Berlin, J. A., Doré, C. J., Parulekar, W. R., Summerskill, W. S. M., Groves, T., Schulz, K. F., Sox, H. C., Rockhold, F. W., Rennie, D. & Moher, D. (2013). SPIRIT 2013 statement: defining standard protocol items for clinical trials. *Annals of internal medicine*, 158(3), 200–207. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-158-3-201302050-00583>
- Clarys, J. P. (2000). Electromyography in sports and occupational settings: an update of its limits and possibilities. *Ergonomics*, 43(10), 1750–1762. <https://doi.org/10.1080/001401300750004159>
- Cochrane Deutschland, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften. (2016). *Bewertung des Biasrisikos (Risiko systematischer Fehler) in klinischen Studien: ein Manual für die Leitlinienerstellung.* <http://www.cochrane.de/de/rob-manual>; <http://www.awmf.org/leitlinien/awmf-regelwerk/II-entwicklung.html>
- Coenen, P., Gouttebauge, V., van der Burght, A. S. A. M., van Dieën, J. H [Jaap H.], Frings-Dresen, M. H. W., van der Beek, A. J. & Burdorf, A [Alex] (2014). The effect of lifting during work on low back pain: a health impact assessment based on a meta-analysis. *Occupational and environmental medicine*, 71(12), 871–877. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102346>
- Crea, S., Beckerle, P., Looze, M. de, Pauw, K. de, Grazi, L., Kermavnar, T., Masood, J., O'Sullivan, L. W., Pacifico, I., Rodriguez-Guerrero, C [Carlos], Vitiello, N., Ristić-Durrant, D. & Veneman, J. (2021). Occupational exoskeletons: A roadmap toward

- large-scale adoption. Methodology and challenges of bringing exoskeletons to workplaces. *Wearable Technologies*, 2, 1–26. <https://doi.org/10.1017/wtc.2021.11>
- Creswell, J. W. & Clark, V. L. P. (2010). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (2nd edition). Sage Publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Dehl, T., Hildebrandt-Heene, S., Zich, K. & Nolting, H.-D. (2024). *Gesundheitsreport 2024: Analyse der Arbeitsunfähigkeiten. Gesundheitsrisiko Hitze. Arbeitswelt Im Klimawandel* (Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung).
- Dekker, T. den. (2020). *Design Thinking*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003154532>
- Delsys Incorporated. (2021). *EMG-Works-Akquisitions [Computer software]*. Delsys Incorporated.
- DeLuca, C. J. (1997). The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 135–163.
- DeLuca, C. J. (2008a). *A Practicum on the Use of sEMG Signals in Movement Sciences*. Delsys Inc.
- DeLuca, C. J. (2008b). *A Practicum on the Use of Surface EMG Signals in Movement Sciences*. Delsys Inc.
- DeLuca, C. J., Gilmore, Kuznetsov, M. & Roy (2010). Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination. *Journal of biomechanics*, 43(8), 1573–1579. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.01.027>
- Deutsche Forschungsgemeinschaft. (2019). *Guidelines for Safeguarding Good Research Practice: Code of Conduct*.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (2018). *Bewegen von Menschen im Gesundheitsdienst und in der Wohlfahrtspflege*.
- Deutsches Institut für Normung e.V. *DIN SPEC 33420:2013-12, Ergonomie_- Manuelles Bewegen von Personen im Bereich der Pflege (ISO/TR_12296:2012); Deutsche Fassung CEN_ISO/TR_12296:2013* (DIN CEN ISO TR 12296). Beuth Verlag GmbH.
- Diong, J., Kishimoto, K. C., Butler, J. E. & Héroux, M. E. (2022). Muscle electromyographic activity normalized to maximal muscle activity, not to Mmax, better represents voluntary activation. *PloS one*, 17(11), e0277947. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277947>
- Dockweiler, C. (2016). Akzeptanz der Telemedizin. In F. Fischer & A. Krämer (Hrsg.), *eHealth in Deutschland: Anforderungen und Potenziale innovativer Versorgungsstrukturen* [1. Auflage], S. 257–271). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49504-9_13
- Dos Anjos, Gallo, Giustetto, Monferino, Micheletti, Di Pardo, Gazzoni (2019). Investigating the effect of a passive exoskeleton Investigating the effect of a passive exoskeleton on the

- activity of low back muscles during different phases of repetitive dynamic task. *Gait & Posture*, 74, 13–14. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.07.461>
- Drake, J. D. M. & Callaghan, J. P. (2006). Elimination of electrocardiogram contamination from electromyogram signals: An evaluation of currently used removal techniques. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 16(2), 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2005.07.003>
- Dresing, T. & Pehl, T. (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (8. Auflage). Eigenverlag.
- Edlich, R. F., Winters, K. L., Hudson, M. A., Britt, L. D. & Long, W. B. (2004). Prevention of disabling back injuries in nurses by the use of mechanical patient lift systems. *Journal of long-term effects of medical implants*, 14(6), 521–533. <https://doi.org/10.1615/jlongtermeffmedimplants.v14.i6.70>
- Elprama, S. A., Vanderborcht, B. & an Jacobs (2022). An industrial exoskeleton user acceptance framework based on a literature review of empirical studies. *Applied ergonomics*, 100, 103615. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103615>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A.-G. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175–191.
- Fauzi, N. I., Musa, Z. & Hujainah, F. (2024). Feature-Based Object Detection and Tracking: A Systematic Literature Review. *International Journal of Image and Graphics*, 24(03), Artikel 2450037. <https://doi.org/10.1142/S0219467824500372>
- Federici, S., Meloni, F., Bracalenti, M. & Filippis, M. L. de (2015). The effectiveness of powered, active lower limb exoskeletons in neurorehabilitation: A systematic review. *NeuroRehabilitation*, 37(3), 321–340. <https://doi.org/10.3233/NRE-151265>
- Fetters, M. D. & Guetterman, T. C. (2021). Development of a Joint Display as a Mixed Analysis. In A. J. Onwuegbuzie & R. B. Johnson (Hrsg.), *The Routledge Reviewer's Guide to Mixed Methods Analysis* (S. 259–276). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203729434-23>
- Field, M., Stirling, D., Naghdy, F. & Pan, Z. (2009). Motion capture in robotics review. In International Conference on Control and Automation (Hrsg.), *Control and Automation, 2009. ICCA 2009. IEEE International Conference on* (S. 1697–1702). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2009.5410185>
- Flick, U. (2007). *Qualitative Sozialforschung: Eine Einführung* (10. Auflage, Originalausgabe). Rororo Rowohlt's Enzyklopädie: Bd. 55694. rowohlt's enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag.

- Flick, U. (2010). Gütekriterien qualitativer Forschung. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 395–407). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Flick, U., Kardorff, E. von & Steinke, I. (2019). *Qualitative Forschung: Ein Handbuch* (14. Auflage, Originalausgabe). *Rororo: Rowohlt's Enzyklopädie*. Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Fosch-Villaronga, E. & Özcan, B. (2020). The Progressive Intertwinement Between Design, Human Needs and the Regulation of Care Technology: The Case of Lower-Limb Exoskeletons. *International Journal of Social Robotics*, 12(4), 959–972. <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00537-8>
- Foster, N. E., Anema, J. R., Cherkin, D., Chou, R., Cohen, S. P., Gross, D. P., Ferreira, P. H., Fritz, J. M., Koes, B. W., Peul, W., Turner, J. A. & Maher, C. G. (2018). Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. *Lancet (London, England)*, 391(10137), 2368–2383. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30489-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30489-6)
- Frasie, A., Bertrand-Charette, M., Compagnat, M., Bouyer, L. J. & Roy, J.-S. (2024). Validation of the Borg CR10 Scale for the evaluation of shoulder perceived fatigue during work-related tasks. *Applied ergonomics*, 116, 104200. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104200>
- Fraunhofer IFF. (2024). *Bewegungserfassung und -analyse: Forschung und Entwicklung in der Abteilung Fertigungsmesstechnik und digitale Assistenzsysteme*. <https://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/fertigungsmesstechnik-digitale-assistenzsysteme/bewegungserfassung-bewegungsanalyse.html>
- Freiberg, A., Euler, U., Girbig, M., Nienhaus, A., Freitag, S. & Seidler, A. (2016). Does the use of small aids during patient handling activities lead to a decreased occurrence of musculoskeletal complaints and diseases? A systematic review. *International archives of occupational and environmental health*, 89(4), 547–559. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1094-2>
- Frey, D., Rieger, S., Diehl, E. & Pinzon, L. C. E. (2018). Einflussfaktoren auf chronische Rückenschmerzen bei Pflegekräften in der Altenpflege in Rheinland-Pfalz [Factors Influencing Chronic Back Pain in Care Workers Attending to The Elderly in Germany]. *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))*, 80(2), 172–175. <https://doi.org/10.1055/s-0043-104693>
- Frey Law, L. A., Lee, J. E., McMullen, T. R. & Xia, T. (2010). Relationships between maximum holding time and ratings of pain and exertion differ for static and dynamic tasks. *Applied ergonomics*, 42(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.03.007>

- Galinsky, T. & Lu, M.-L. (2016). Revisiting the Limits of the 35 Pound Limit. *American journal of safe patient handling & movement*, 6(2), 47–48.
- Garcin, M., Fleury, A., Mille-Hamard, L. & Billat, V. (2005). Sex-related differences in ratings of perceived exertion and estimated time limit. *International journal of sports medicine*, 26(8), 675–681. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830440>
- GBD Low Back Pain Collaborators (2023). Global, regional, and national burden of low back pain, 1990-2020, its attributable risk factors, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet. Rheumatology*, 5(6), e316-e329. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00098-X)
- Glaser, J. & Höge, T. (2005). *Probleme und Lösungen in der Pflege aus Sicht der Arbeits- und Gesundheitswissenschaften*.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2012). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen* (4. Auflage). *Lehrbuch*. VS, Verl. für Sozialwiss. <http://d-nb.info/1002141753/04>
- Greene, J. C. & Caracelli, V. J. (1997). Defining and describing the paradigm issue in mixed-method evaluation. *New Directions for Evaluation*, 1997(74), 5–17. <https://doi.org/10.1002/ev.1068>
- Greene, J. C., Caracelli, V. J. & Graham, W. F. (1989). Toward a Conceptual Framework for Mixed-Method Evaluation Designs. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 11(3), 255–274. <https://doi.org/10.2307/1163620>
- Guetterman, T. C., Feters, M. D. & Creswell, J. W. (2015). Integrating Quantitative and Qualitative Results in Health Science Mixed Methods Research Through Joint Displays. *Annals of family medicine*, 13(6), 554–561. <https://doi.org/10.1370/afm.1865>
- Harvey, L., Smith, A. D. & Jones, R. (1999). The Effect of Weighted Leg Raises on Quadriceps Strength, EMG Parameters and Functional Activities in People with Multiple Sclerosis. *Physiotherapy*, 85(3), 154–161. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)65699-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)65699-4)
- Hein, Pfitzer, Lüth. (2016). Hilfsmittel zur passiven Kraftunterstützung für Altenpflegekräfte. In R. Weidner (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen: Zweite Transdisziplinäre Konferenz : Hamburg 2016* (S. 79–87). Laboratorium Fertigungstechnik smartASSIST Helmut Schmidt Universität.
- Heinrich, A., Engler, M., Güttler, F. & Teichgräber, U. (2022). Forensische Odontologie: Systematische Evaluation von Computer Vision Algorithmen zur Personenidentifizierung. In Deutsche Röntgengesellschaft (Hrsg.), *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 103. *Deutscher Röntgenkongress der Deutschen Röntgengesellschaft e. V.* Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1749785>

- Hensel, R. & Keil, M. (2018). Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(4), 252–263. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0122-y>
- Hermann, S., Michaelis, M. & Schulz, A. (2014). *"Ergonomisches Patientenhandling" in der Pflegeausbildung: Ist-Stand und Handlungsbedarfe. Projektbericht.*
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C [C.] & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361–374. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Hildebrandt, S., Dehl, T., Zich, K. & Nolting, H.-D. (2023). *Gesundheitsreport 2023: Analyse der Arbeitsunfähigkeiten. Gesundheitsrisiko Personalmangel: Arbeitswelt unter Druck* (Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung). medhochzwei Verlag GmbH.
- Hoppe, M. & Roth, I. (2020). *Leistungssteuerung und Arbeitsintensität: Eine Sonderauswertung des DGB-Index Gute Arbeit 2019 für den Dienstleistungssektor.*
- Hüsing, B., Bierhals, R., Bührlen, B., Friedewald, M., Kimpeler, S., Menrad, K., Wengel, J., Zimmer, R. & Zoche, P. (2002). *Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil.* <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/2b2f069a-8754-4cbbcca-b402d8f4fd0b/details>
- Hwang, J., Kumar Yerriboina, V. N., Ari, H. & Kim, J. H. (2021). Effects of passive back-support exoskeletons on physical demands and usability during patient transfer tasks. *Applied ergonomics*, 93, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103373>
- IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics* (Version 27.0.1) [Computer software]. IBM.
- Ijabadeniyi, O. A. & Fasae, J. K. (2023). Prevalence of low back pain among nurses and the effects on job performance in tertiary health institutions in Ondo State, Nigeria. *International Journal of Africa Nursing Sciences*, 18, 100560. <https://doi.org/10.1016/j.ijans.2023.100560>
- Institut DGB-Index Gute Arbeit & ver.di-Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft. (2018). *Arbeitsbedingungen in der Alten- und Krankenpflege: So beurteilen die Beschäftigten die Lage: Ergebnisse einer Sonderauswertung der Repräsentativumfragen zum DGB-Index Gute Arbeit.*
- Iridiastadi, H. & Nussbaum, M. A [M. A.] (2006). Muscle fatigue and endurance during repetitive intermittent static efforts: development of prediction models. *Ergonomics*, 49(4), 344–360. <https://doi.org/10.1080/00140130500475666>
- Ito, N., Sigurðsson, H. B., Seymore, K. D., Arhos, E. K., Buchanan, T. S., Snyder-Mackler, L. & Silbernagel, K. G. (2022). Markerless motion capture: What clinician-scientists need to know right now. *JSAMS plus*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.jsampl.2022.100001>

- Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Persson, R., Andersen, C. H. & Andersen, L. L. (2014). Is Borg's perceived exertion scale a useful indicator of muscular and cardiovascular load in blue-collar workers with lifting tasks? A cross-sectional workplace study. *European journal of applied physiology*, 114(2), 425–434. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2782-9>
- Jeong, H., Yamada, K., Kido, M., Okada, S., Nomura, T. & Ohno, Y. (2016). Analysis of Difference in Center-of-Pressure Positions Between Experts and Novices During Asymmetric Lifting. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, 4, 2100311. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2016.2599185>
- Jokisch, M. (2009). Das Technologieakzeptanzmodell: Die verhaltenswissenschaftliche Modellierung von Beziehungsstrukturen mit latenten Konstrukten am Beispiel von Benutzerakzeptanz. In G. Bandow & H. Holzmüller (Hrsg.), *Springer eBook Collection Business and Economics. "Das ist gar kein Modell!": Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften* (S. 233–250). Gabler.
- Kalita, B., Narayan, J. & Dwivedy, S. K. (2020). Development of Active Lower Limb Robotic-Based Orthosis and Exoskeleton Devices: A Systematic Review. *International Journal of Social Robotics*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00662-9>
- Karatsidis, A., Bellusci, G., Schepers, H. M., Zee, M. de, Andersen, M. S. & Veltink, P. H. (2016). Estimation of Ground Reaction Forces and Moments During Gait Using Only Inertial Motion Capture. *Sensors*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/s17010075>
- Kazerooni, H., Tung, W. & Pillai, M. (2019). Evaluation of Trunk-Supporting Exoskeleton. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 1080–1083. <https://doi.org/10.1177/1071181319631261>
- Kemper, C. (2019). Herausforderungen annehmen – Zukunftsvisionen in der Physiotherapie. *physiopraxis*, 17(01), 50–54. <https://doi.org/10.1055/a-0732-6522>
- Kese, A., Werner, H. & Weber, C. (Hrsg.) (2000). *Die Kutikula der Arthropoden: Ein Vorbild für technische Faser-Verbund-Werkstoffe*.
- Kim, Huang, C., Yun, D., Saakes, D. & Xiong, S. (2020). Comparison of Joint Angle Measurements from Three Types of Motion Capture Systems for Ergonomic Postural Assessment. In Karwowski, W., Goonetilleke, R. S., Xiong, S., Goossens, R. H. M. & Murata, A. (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing. Advances in Physical, Social & Occupational Ergonomics* (Bd. 1215, S. 3–11). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51549-2_1
- Kim, S., Madinei, S., Alemi, M. M., Srinivasan, D. & Nussbaum (2020). Assessing the potential for "undesired" effects of passive back-support exoskeleton use during a simulated

- manual assembly task: Muscle activity, posture, balance, discomfort, and usability. *Applied ergonomics*, 89, 103194. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103194>
- Klein, H. (2014). Quantitative Analyse von Zeitungsartikeln und Online-Nachrichten. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 1555–1562). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_64
- Kolahi, A., Hoviattalab, M., Rezaeian, T., Alizadeh, M., Bostan, M. & Mokhtarzadeh, H. (2007). Design of a marker-based human motion tracking system. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2(1), 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2007.02.001>
- Konrad, P. (2005). *The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*.
- Koopman, A. S., Kingma, I., Faber, G. S., DeLooze, M. P. & van Dieën (2019). Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks. *Journal of biomechanics*, 83, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.033>
- Koppelaar, E., Knibbe, J. J., Miedema, H. S. & Burdorf, A [A.] (2013). The influence of individual and organisational factors on nurses' behaviour to use lifting devices in healthcare. *Applied ergonomics*, 44(4), 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.11.005>
- Korstjens, I. & Moser, A. (2018). Series: Practical guidance to qualitative research. Part 4: Trustworthiness and publishing. *The European journal of general practice*, 24(1), 120–124. <https://doi.org/10.1080/13814788.2017.1375092>
- Kruse, J. (2014). *Qualitative Interviewforschung: Ein integrativer Ansatz. Grundlagentexte Methoden*. Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. (2017). *Mixed Methods: Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer VS.
- Kuhlmey, A [A.], Blüher, S., Nordheim, J. & Zöllick, J. C. (2019). *Technik in der Pflege - Einstellungen von professionell Pflegenden zu Chancen und Risiken neuer Technologien und technischer Assistenzsysteme: Projektbericht für das Zentrum für Qualität in der Pflege (ZQP)*. Institut für Medizinische Soziologie und rehabilitationswissenschaft.
- Kunhardt, H., Zerth, J [J.], Eberl, I., Flemming, D., Hilbert, J., Weber, K [K.], Kohls, N., Rester, D., Engel, L. & Engel, C. (2023). *Hochschulinitiative für eine personenzentrierte und nachhaltige Gestaltung von Technik und Digitalisierung in der Pflege - Wege von der Anwendungsforschung zur Implementierung und Evaluierung in der Praxis und Lebenswelt*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32095.64160>

- Kuntz, B. (2011). Bildung und Gesundheit. In T. Schott & C. Hornberg (Hrsg.), *Die Gesellschaft und ihre Gesundheit* (S. 311–327). VS Verlag für Sozialwissenschaften (GWV). https://doi.org/10.1007/978-3-531-92790-9_16
- Lamb, K. L., Eston, R. & Parfitt, G. (2017). *Oxford textbook of children's sport and exercise medicine* (3rd edition). Oxford University Press. <https://chesterrep.openrepository.com/handle/10034/620703>
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lawrence, J. H. & DeLuca, C. J. (1983). Myoelectric signal versus force relationship in different human muscles. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 54(6), 1653–1659. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.6.1653>
- Lea, J. W. D., O'Driscoll, J. M., Hulbert, S., Scales, J. & Wiles, J. D. (2022). Convergent Validity of Ratings of Perceived Exertion During Resistance Exercise in Healthy Participants: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine - Open*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00386-8>
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE.
- Looze, M. P. de [Michiel 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. *Ergonomics*, 59(5), 671–681. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1081988>
- Ludwigs, E., Bellmann, M [M.], Schmalz, T. & Blumentritt, S. (2010). Biomechanical differences between two exoprosthetic hip joint systems during level walking. *Prosthetics and Orthotics International*, 34(4), 449–460.
- Luger, T., Bär, M., Seibt, R., Rieger, M. A. & Steinhilber, B. (2023). Using a Back Exoskeleton During Industrial and Functional Tasks—Effects on Muscle Activity, Posture, Performance, Usability, and Wearer Discomfort in a Laboratory Trial. *Human factors*, 65(1), 5–21. <https://doi.org/10.1177/00187208211007267>
- Luger, T., Bär, M., Seibt, R., Rimmele, P., Rieger, M. A. & Steinhilber, B. (2021). A passive back exoskeleton supporting symmetric and asymmetric lifting in stoop and squat posture reduces trunk and hip extensor muscle activity and adjusts body posture - A laboratory study. *Applied ergonomics*, 97, 103530. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103530>
- Ma, Y., Sheng, B., Hart, R. & Zhang, Y. (2020). *The validity of a dual Azure Kinect-based motion capture system for gait analysis: a preliminary study*. Asia-Pacific Signal and Information Processing Association.
- Maddox, E. U., Bennett, H. J. & Weinhandl, J. T. (2022). Evidence for the use of dynamic maximum normalization method of muscle activation during weighted back squats.

Journal of biomechanics, 135, 111029.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111029>

- Madinei, S., Alemi, M. M., Kim, S., Srinivasan, D. & Nussbaum, M. A [Maury A.] (2020). Biomechanical Evaluation of Passive Back-Support Exoskeletons in a Precision Manual Assembly Task: "Expected" Effects on Trunk Muscle Activity, Perceived Exertion, and Task Performance. *Human factors*, 18720819890966. <https://doi.org/10.1177/0018720819890966>
- Manz, U. (1983). *Zur Einordnung der Akzeptanzforschung in das Programm sozialwissenschaftlicher Begleiterforschung: Ein Beitrag zur Anwenderforschung in technisch-organisatorischen Wandel. Hochschulschriften zur Betriebswirtschaftslehre: Bd. 19* ^A232820 ^A232820. Florentz.
- Marino, M. (2019). Impacts of Using Passive Back Assist and Shoulder Assist Exoskeletons in a Wholesale and Retail Trade Sector Environment. *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(3-4), 281–290. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1645057>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Beltz Pädagogik. Beltz.
- Mayring, P. & Brunner, E. (2009). Qualitative Inhaltsanalyse. In R. Buber & H. H. Holzmüller (Hrsg.), *Qualitative Marktforschung* (2., überarbeitete Auflage, S. 669–680). Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_42
- Mayring, P. & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (2. Aufl., S. 633–648). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42
- McCready, A. (2023). *Introducing the new exoskeleton cost-benefit analysis tool from TNO*. Interreg, North Sea Region, European Regional Development Fund.
- Menache, A. (2000). *Understanding motion capture for computer animation and video games*. Morgan Kaufmann. <http://www.loc.gov/catdir/description/els033/99064633.html>
- Merda, M., Schmidt, K. & Kähler, B. (2017). *Pflege 4.0 – Einsatz moderner Technologien aus der Sicht professionell Pflegender*.
- Microsoft. (2020). *Azure Kinect DK [Computer software]*. Microsoft. azure.microsoft.com/en-us/services/kinect-dk/
- Miura, H., Tetsuya, M., Toru, H., Hirosh, K., Yosuke, K., Hiroaki, Y. & Masashi (2020). Successful Use of the Hybrid Assistive Limb for Care Support to Reduce Lumbar Load in a Simulated Patient Transfer. *Asian spine journal*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.31616/asj.2019.0111>

- Mojtahedzadeh, N., Neumann, F. A., Rohwer, E., Augustin, M., Zyriax, B.-C., Harth, V. & Mache, S. (2021). Betriebliche Gesundheitsförderung in der Pflege. *Prävention und Gesundheitsförderung*, 16(2), 163–169. <https://doi.org/10.1007/s11553-020-00800-1>
- Mummendey, H. D. (1987). *Die Fragebogen-Methode: Grundlagen und Anwendung in Persönlichkeits-, Einstellungs- und Selbstkonzeptforschung*. C.J. Hogrefe.
- Nadin, S. & Cassell, C. (2006). The use of a research diary as a tool for reflexive practice. *Qualitative Research in Accounting & Management*, 3(3), 208–217. <https://doi.org/10.1108/11766090610705407>
- Nistor, N. (2018). Akzeptanz von Bildungstechnologien. In H. M. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Springer Reference Psychologie. Lernen mit Bildungstechnologien: Praxisorientiertes Handbuch zum intelligenten Umgang mit digitalen Medien* (S. 1–11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54373-3_46-1
- O'Connor, S. (2021). Exoskeletons in Nursing and Healthcare: A Bionic Future. *Clinical nursing research*, 30(8), 1123–1126. <https://doi.org/10.1177/10547738211038365>
- Otto, A. K. & Heuel, L. (2023). Gesundheitliche Belastungsfaktoren von Pflegekräften. In L. L. Bischoff, A.-K. Otto & B. Wollesen (Hrsg.), *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim: Praktische Umsetzung für Führungskräfte*. Springer.
- Ottobock SE & Co. KGaA. (2023). *Paexo Back Tutorials: Adjustments & Usage*.
- Paulich M., Schepers M., Rudigkeit N. & Bellusci G. (2018). *Xsens MTw Awinda: Miniature Wireless Inertial-Magnetic Motion Tracker for Highly Accurate 3D Kinematic Applications*. Unpublished. https://www.researchgate.net/publication/325465736_Xsens_MTw_Awinda_Miniature_Wireless_Inertial-Magnetic_Motion_Tracker_for_Highly_Accurate_3D_Kinematic_Applications?channel=doi&linkId=5b0fa022a6fdcc80995bd2d9&showFulltext=true <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23576.49929>
- Pelikan, J. M. & Dietscher, C. (2015). Warum sollten und wie können Krankenhäuser ihre organisationale Gesundheitskompetenz verbessern? [Why should and how can hospitals improve their organizational health literacy?]. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 58(9), 989–995. <https://doi.org/10.1007/s00103-015-2206-6>
- Pfeifer, K., Vogt, L. & Banzer, W. (2003). Kinesiologische Elektromyographie (EMG). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54(11), 331–332.
- Puchert, P. & Ropinski, T. (2021, 23. Juli). *Human Pose Estimation from Sparse Inertial Measurements through Recurrent Graph Convolution*.
- Quiring, O. (2006). *Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien*. Ludwig-Maximilians-Universität München.

- Radecka, A. & Lubkowska, A. (2020). The usefulness of surface electromyography in rehabilitation and physiotherapy: systematic review. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 66(3), 49–56. <https://doi.org/10.21164/pomjlifesci.724>
- Raspe, H. (2012). *Rückenschmerzen: Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. (Nr. 53).
- Rayssiguie, E. & Erden, M. S. (2022). A Review of Exoskeletons Considering Nurses. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/s22187035>
- Reinders, H., Ditton, H., Gniewosz, B. & Gräsel, C. (2011). *Empirische Bildungsforschung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rengelshausen, O. (2000). *Online-Marketing in deutschen Unternehmen*. Deutscher Universitätsverlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-08808-0>
- Riemer, J. & Wischniewski, S. (2023). Long-term effects and user acceptance of back-support exoskeletons in the workplace. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 77(4), 685–691. <https://doi.org/10.1007/s41449-023-00381-7>
- Rimmele, P., Steinhilber, B., Rieger, M. A. & Luger, T. (2023). Motor variability during a repetitive lifting task is impaired by wearing a passive back-support exoskeleton. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 68, 102739. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2022.102739>
- Robert-Lachaine, X., Mecheri, H., Muller, A., Larue, C. & Plamondon, A. (2020). Validation of a low-cost inertial motion capture system for whole-body motion analysis. *Journal of biomechanics*, 99, 109520. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109520>
- Rogers, B., Buckheit, K. & Ostendorf, J. (2013). Ergonomics and Nursing in Hospital Environments. *Workplace health & safety*, 61(10), 429–439. <https://doi.org/10.1177/216507991306101003>
- Rothgang, H., Müller, R. & Preuß, B. (2020). *BARMER Pflegereport 2020: Belastungen der Pflegekräfte und ihre Folgen*. Schriftenreihe zur Gesundheitsanalyse – Band 26.
- Roy, S. H., DeLuca, G., Cheng, M. S., Johansson, A., Gilmore, L. D. & Luca, C. J. de (2007). Electro-mechanical stability of surface EMG sensors. *Medical & biological engineering & computing*, 45(5), 447–457. <https://doi.org/10.1007/s11517-007-0168-z>
- Rubio, D. B. & Quiles, E. M. (2021). *Evaluation of exoskeleton using XSens System including ScaleFit*.
- Ryselis, K., Petkus, T., Blažauskas, T., Maskeliūnas, R. & Damaševičius, R. (2020). Multiple Kinect based system to monitor and analyze key performance indicators of physical training. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13673-020-00256-4>

- Saitou, K., Masuda, T., Michikami, D., Kojima, R. & Okada, M. (2000). Innervation zones of the upper and lower limb muscles estimated by using multichannel surface EMG. *Journal of human ergology*, 29(1-2), 35–52.
- Schäfer, M. & Keppler, D. (2013). *Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung: Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen: Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen* (Nr. 34). Technische Universität Berlin.
- Schmalz, T., Colienne, A., Bywater, E., Fritzsche, L., Gärtner, C., Bellmann, M [Malte], Reimer, S. & Ernst, M. (2022). A Passive Back-Support Exoskeleton for Manual Materials Handling: Reduction of Low Back Loading and Metabolic Effort during Repetitive Lifting. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 10(1), 7–20. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34763618/>
- Scholl, A. (2018). *Die Befragung* (4., bearbeitete Auflage). *UTB: 2413, Ed. 4*. UVK Verlagsgesellschaft.
- Schreier, M., Echterhoff, G., Bauer, J. F. & Hussy, W. (2023). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66673-9>
- Schubert, K. & Klein, M. (2021, 22. September). *Akzeptanz*. Das Politiklexikon. <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/politiklexikon/17053/akzeptanz/>
- Schünke, M., Schulte, E. & Schumacher, U. (2012). *Prometheus LernAtlas der Anatomie: LernAtlas der Anatomie* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). G. Thieme.
- Schwartz, M., Theurel, J. & Desbrosses, K. (2021). Effectiveness of Soft versus Rigid Back-Support Exoskeletons during a Lifting Task. *International journal of environmental research and public health*, 18(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph18158062>
- Scott, T. J., Black, C. R., Quinn, J. & Coutts, A. J. (2013). Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *Journal of strength and conditioning research*, 27(1), 270–276. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541d2e>
- Siedl, S. M. & Mara, M. (2021). Exoskeleton acceptance and its relationship to self-efficacy enhancement, perceived usefulness, and physical relief: A field study among logistics workers. *Wearable technologies*, 2, e10. <https://doi.org/10.1017/wtc.2021.10>
- So, B., Cheung, H. H., Liu, S. L., Tang, C. I., Tsoi, T. Y. & Wu, C. H. (2020). The effects of a passive exoskeleton on trunk muscle activity and perceived exertion for experienced auxiliary medical service providers in cardiopulmonary resuscitation chest compression. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, 102906. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102906>

- Statistisches Bundesamt (2019). Bevölkerung im Wandel: Annahmen und Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.
- Steinhilber, B., Luger, T., Schwenkreis, P., Middeldorf, S., Bork, H., Mann, B., Glinski, A. von & Jäger, M. (2020). Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden: S2k-Leitlinie. *Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.*
- Strübing, J., Hrischauer, S., Krähnke, U. & Scheffer, T. (2018). Gütekriterien qualitativer Sozialforschung.: Ein Diskussionsanstoß. *Zeitschrift für Soziologie*, 2(47), 83–100. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2018-1006>
- Tashakkori, A., Johnson, B. & Teddlie, C. (2021). *Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences* (Second edition). SAGE Publications, Inc.
- Techniker Krankenkasse. (2019). *Gesundheitsreport 2019 Pflegefall Pflegebranche?*
- Teddlie, C. & Tashakkori, A. (2009). *Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences* (3rd printing). SAGE.
- Theurel. & Desbrosses (2019). Occupational Exoskeletons: Overview of Their Benefits and Limitations in Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders. *IJSE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(3-4), 264–280. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1638331>
- Tong, A., Sainsbury, P. & Craig, J. (2007). Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups. *International journal for quality in health care : journal of the International Society for Quality in Health Care*, 19(6), 349–357. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzm042>
- Toxiri, S., Näf, M. B., Lazzaroni, M., Fernández, J., Sposito, M., Poliero, T., Monica, L., Anastasi, S., Caldwell, D. G. & Ortiz, J. (2019). Back-Support Exoskeletons for Occupational Use: An Overview of Technological Advances and Trends. *IJSE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(3-4), 237–249. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1626303>
- Troiano, A., Naddeo, F., Sosso, E., Camarota, G., Merletti, R. & Mesin, L. (2008). Assessment of force and fatigue in isometric contractions of the upper trapezius muscle by surface EMG signal and perceived exertion scale. *Gait & Posture*, 28(2), 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.002>
- Tröster, M., Kopp, V., Holl, M., Daub, U., Maufroy, C., Schneider, U. & Bauernhansl, T. (2022). Arbeitsgesundheit mit digitalen Exoskeletten: IPA Ergo-Solution basierend auf realen

- Anwendungsdaten. *wt Werkstattstechnik online*, 112(3), 137–141.
<https://doi.org/10.37544/1436-4980-2021-3-35>
- Turja, T., Saurio, R., Katila, J., Hennala, L., Pekkarinen, S. & Melkas, H. (2022). Intention to Use Exoskeletons in Geriatric Care Work: Need for Ergonomic and Social Design. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 30(2), 13–16.
<https://doi.org/10.1177/1064804620961577>
- Ulrey, B. L. & Fathallah, F. A. (2013). Effect of a personal weight transfer device on muscle activities and joint flexions in the stooped posture. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(1), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.08.014>
- Vallée, A. (2024). Exoskeleton technology in nursing practice: assessing effectiveness, usability, and impact on nurses' quality of work life, a narrative review. *BMC nursing*, 23(1), 156. <https://doi.org/10.1186/s12912-024-01821-3>
- Venkatesh, V. & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273–315. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 3(27), 425–478.
- VERBI Software. (2022). *MAXQDA, Software für qualitative Datenanalyse [Computer software]*.
- Vries, A. W. de, Krause, F. & Looze, M. P. de [Michiel Pieter] (2021). The effectivity of a passive arm support exoskeleton in reducing muscle activation and perceived exertion during plastering activities. *Ergonomics*, 64(6), 712–721.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1868581>
- Wade, L., Needham, L., McGuigan, P. & Bilzon, J. (2022). Applications and limitations of current markerless motion capture methods for clinical gait biomechanics. *PeerJ*, 10, e12995. <https://doi.org/10.7717/peerj.12995>
- Walz, G. (2020). *Interpolation von Daten und Funktionen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-30658-8>
- Waongenngarm, P., van der Beek, A. J., Janwantanakul, P., Akkarakittichoke, N. & Coenen, P. (2022). Can the Borg CR-10 scale for neck and low back discomfort predict future neck and low back pain among high-risk office workers? *International archives of occupational and environmental health*, 95(9), 1881–1889.
<https://doi.org/10.1007/s00420-022-01883-3>
- XSens Technologies BV. (2022). *MVN Analyze (Version 2022.0.0) [Computer software]*.
 Xsens Technologies BV.

Zöllick, J. C., Kuhlmeier, Suhr, R., Eggert, S., Nordheim, J. & Blüher, S. (2020a). Akzeptanz von Technik in unterschiedlichen Funktionsbereichen der professionellen Pflege. *Monitor Pflege*, 6(1), 21–25.

Zöllick, J. C., Kuhlmeier, Suhr, R., Eggert, S., Nordheim, J. & Blüher, S. (2020b). Akzeptanz von Technikeinsatz in der Pflege: Zwischenergebnisse einer Befragung unter professionell Pflegenden. In K. Jacobs, A. Kuhlmeier, S. Greß, J. Klauber & A. Schwinger (Hrsg.), *Pflege-Report 2019* (S. 211–218). Springer Berlin Heidelberg.

11 Danksagung

Ich möchte mich bei folgenden Personen bedanken, die mich während meiner Dissertation durch regelmäßige Gespräche und wertvolle Anregungen zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Arbeit unterstützt haben:

Mein besonderer Dank gilt Frau Professorin Dr.'in Andrea Pfingsten, die mir als meine Doktormutter stets wichtige Hinweise bei inhaltlichen und methodischen Entscheidungen gab und mir geduldig zur Seite stand;

Herrn Professor Dr. Achim Benditz, der mich mit konstruktiven Anmerkungen und Hinweisen zum Forschungsthema begleitet hat;

Herrn Professor Dr. Sebastian Dendorfer, der mir als Mentor zur Seite stand und mich während der gesamten Promotionszeit bei verschiedenen biomechanischen Fragestellungen unterstützte;

Herrn PD Dr. Benjamin Steinhilber, der mit konstruktiven Anmerkungen und Ideen zur Veröffentlichung meines Manuskripts beigetragen hat.

Besonderer Dank gilt der Landeskonferenz für Frauen- und Gleichstellungsbeauftragten (LaKoF-Bayern), die diese Arbeit durch ein Promotionsstipendium ermöglicht und vollständig finanziert hat, sowie der ideellen Förderung durch die Bayerische Wissenschaftsgemeinschaft (BayWISS), Kolleg Gesundheit.

Großer Dank gilt auch dem Regensburg Center for Health Sciences and Technology (RCHST) in Regensburg, dessen Räumlichkeiten ich für die Durchführung der Studie nutzen durfte.

Ich bedanke mich bei den teilnehmenden Proband*innen, ohne die es nicht möglich gewesen wäre, diese Studie durchzuführen.

Inbesondere möchte ich mich bei meinen Freund*innen Vera, Christian, Manu, Denise, Katrin, Katarina, Natalie, Olli, Tom, Cosi und Lea bedanken, die mich während der gesamten Zeit unterstützt, motiviert und mich mit Sport, aufbauenden Gesprächen und Spaziergängen wieder in die Balance gebracht haben.

12 Anhang

Anhang 1



Universität Regensburg

Ethikkommission bei der Universität Regensburg

Ethikkommission · Universität Regensburg · 93040 Regensburg

OTH Regensburg
Hanna Brandt
[REDACTED]
93049 Regensburg
Deutschland

Prof. Edward K. Geissler, PhD, Vorsitzender

Dr. iur. Frederike Seitz, M.A., Geschäftsführerin

Geschäftsstelle:

Telefon +49 941 943-5370

Telefax +49 941 943-5369

Postanschrift:

Universität Regensburg

ETHIKKOMMISSION

D-93040 Regensburg

ethikkommission@ur.de

<http://ethikkommission.uni-regensburg.de>

09.12.2020

Unser Zeichen: 20-2134-101

Beratung nach § 15 Abs. 1 Berufsordnung für die Ärzte Bayerns

für das Forschungsvorhaben:

Forschungsvorhaben	Exoskeletale Unterstützung in der Pflege – Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens beim (passiven) Transfer Sitz-Stand von Patient*innen unter Einsatz der Elektromyographie und Bewegungsanalyse.
Antragssteller	Hanna Brandt

Die Ethikkommission der Universität Regensburg hat in Ihrer Sitzung am 09.12.2020 über das o.g. Forschungsvorhaben auf Grundlage der im Anhang aufgeführten Unterlagen beraten. Es ergeben sich daraus keine berufsethischen oder rechtlichen Bedenken gegen das vorgelegte Forschungsvorhaben.

Die Ethikkommission geht dabei davon aus, das folgende Hinweise berücksichtigt werden, die Gegenstand der Beratung waren:

Der Abschluss einer Unfall- und Wegeversicherung wird empfohlen.

Es wird auf folgendes grundsätzlich hingewiesen:

Unabhängig vom Beratungsergebnis verbleibt die ärztliche und juristische Verantwortung beim Forscher und seinen Mitarbeitern. Eine Nichtbeachtung des Beratungsergebnisses kann berufs- und haftungsrechtliche Folgen nach sich ziehen.

Die Auflagen der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes in ihrer aktuellen Fassung hinsichtlich ethischen und rechtlichen Aspekten biomedizinischer Forschung am Menschen sind strikt zu beachten.

Die Ethikkommission erwartet bei Interventionsstudien, dass ihr alle schwerwiegenden oder unerwarteten unerwünschten Ereignisse (u.a. Todesfälle), die während der Studie auftreten und die Sicherheit der Studienteilnehmer oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen können, unverzüglich schriftlich mitgeteilt werden. Dieses sollte in Verbindung mit einer Stellungnahme des

Antragsstellers geschehen, ob aus seiner Sicht die Nutzen-Risiko-Relation des Vorhabens verändert ist.

Die Ethikkommission bittet darum, dass ihr der Abbruch oder Abschluss einer Studie mitgeteilt werden.

Dieses Schreiben ist mit den Studienunterlagen jederzeit sorgfältig aufzubewahren. Duplikate oder Abschriften dieses Schreibens können im Nachhinein nicht erstellt werden.

Auf die Rechtspflichten zum Umgang mit dienstlichem Schriftgut bzw. Urkunden wird verwiesen.

Auf Grundlage dieser rein berufsrechtlichen Beratung können Sie nachträgliche Änderungen am Protokoll dieses Forschungsvorhabens vornehmen, ohne dafür eine erneute Beratung (umgangssprachlich 'Amendmentvotum') durch die Ethikkommission beantragen zu müssen. Zur Begrenzung rechtlicher Risiken wird eine solche Beratung aber gleichwohl dringend empfohlen.

Sobald Sie jedoch ein neues Forschungsvorhaben durchführen wollen, müssen Sie dieses einer eigenständigen Beratung durch die Ethikkommission zuführen. Hierfür gilt gemäß Grundsatzbeschluss unserer Ethikkommission vom 02.08.2016:

In der Regel handelt es sich noch um ein und dasselbe Forschungsvorhaben, wenn sich lediglich ergänzende Fragestellungen im Rahmen der selben Hypothese, methodische Erweiterungen oder Beschränkungen oder Erweiterungen oder Beschränkungen in der Studienpopulation nachträglich ergeben. Um ein neues Forschungsvorhaben handelt es sich aber in der Regel, wenn die Formulierung einer neuen Hypothese, wesentliche Änderungen am Studiengegenstand bzw. der Entität sowie wesentliche Änderungen an der wissenschaftlichen oder technischen Vorgehensweise vorgenommen werden sollen, was dann eine Pflicht zur neuerlichen Beratung durch die Ethikkommission begründet. Gesetzliche Vorschriften bleiben unberührt.

Die Ethikkommission bestätigt die Bearbeitung gemäß der GCP/ICH-Richtlinien.

Die Ethikkommission empfiehlt im Einklang mit der Deklaration von Helsinki nachdrücklich die Registrierung der Studie vor Studienbeginn in einem öffentlich zugänglichen Register, das die von der WHO geforderten Voraussetzungen erfüllt.

Falls kein gesetzlicher Kostenbefreiungstatbestand greift, wird ein gesonderter Kostenbescheid für die Gebühren und Auslagen der Ethikkommission ergehen.

Die Übermittlung personenbezogener Daten einschließlich DNA-tragender Biomaterialien in datenschutzrechtlich unsichere Drittstaaten, wie etwa die USA, bedarf einer gesonderten datenschutzrechtlichen Beurteilung und Risikoaufklärung.

Mit dem Urteil des Europäischen Gerichtshofs vom 16. Juli 2020 [Aktenzeichen C3-11/18] stellen die Regelungen des EU-US-Privacy Shield insbesondere vor dem Hintergrund des Clarifying Lawful Overseas Use of Data Act (CLOUD Act) bzw. des Foreign Surveillance Act (FISA) keinen tauglichen Rechtsrahmen mehr dar. Es sollte seitens der Verantwortlichen im Einzelfall geprüft werden, inwieweit personenbezogene/personenbeziehbare Daten (also auch i.S.d. Art. 4 Abs. 5 DSGVO pseudonymisierte Datensätze) rechtssicher entweder auf Basis geeigneter Garantien (etwa verbindlicher Unternehmensregeln, Standardvertragsklauseln oder auf Basis einer ausdrücklichen Einwilligung nach erfolgter Risiko-Aufklärung nach Art. 49 Abs. 1 lit. a) DSGVO) übermittelt werden können. Es bleiben v.a. hinsichtlich der Standardvertragsklauseln die Auswirkungen des Urteils und die voraussichtlich folgenden regulatorischen Leitlinien seitens der zuständigen

Behörden aufmerksam zu verfolgen. Es ist daher den Sponsoren dringend zu raten, sich mit dem zuständigen Landesbeauftragten für den Datenschutz abzustimmen.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen



Prof. Edward K. Geissler, PhD
Vorsitzender

Anlage

Abbildung 34: Positives Ethikvotum

Anhang 2



Hiermit willige ich,

Vorname:

Name:

Adresse:

Geburtsdatum:

Code-Nr.:

in die Teilnahme an der Studie

Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens beim (passiven) Transfer Sitz-Stand von Patient*innen

ein, bei welcher an mir im Rahmen der Untersuchung der ergonomischen Haltung zusätzlich Muskelaktivitäten gemessen und Bewegungsaufnahmen erhoben werden.

Mir ist bekannt, dass bei dieser klinischen Prüfung personenbezogene Daten, insbesondere medizinische Befunde, über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Angaben über meine Gesundheit erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an der klinischen Prüfung folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, d.h. ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der klinischen Prüfung teilnehmen.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie mich betreffende personenbezogene Daten/Angaben durch das betreuende ärztliche Fachpersonal/ Experiment durchführende Personal erhoben verschlüsselt (pseudonymisiert) auf elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und verarbeitet werden dürfen. Ich bin auch damit einverstanden, dass die Studienergebnisse in nicht rück-entschlüsselbarer (anonymisierter) Form, die keinen Rückschluss auf meine Person zulassen, veröffentlicht werden.

Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne nachteilige Folgen für mich zurückziehen und einer Weiterverarbeitung meiner Daten und Proben jederzeit widersprechen und ihre Löschung bzw. Vernichtung verlangen kann.

Mir ist bekannt, dass die Teilnahme an der Studie auf mein eigenes Risiko erfolgt. Aufgrund der Teilnahme an der Studie kann und werde ich keine Ansprüche aufgrund von Folgeschädigungen anmelden.

Ort, Datum

Unterschrift der teilnehmenden Person

Einwilligung zur Studie „Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens beim (passiven) Transfer Sitz-Stand von Patient*innen“ Version vom 13. November 2020

Abbildung 35: Einwilligungserklärung zur Studie

Anhang 3

Das Aufklärungsgespräch hat geführt:

Name:

Adresse:

Hiermit erkläre ich, den/die o.g. Teilnehmer/in am _____ über Wesen, Bedeutung, Tragweite und Risiken der o.g. Studie mündlich und schriftlich aufgeklärt und ihm/ihr eine Ausfertigung der Information sowie dieser Einwilligungserklärung übergeben zu haben.

Ort, Datum

Unterschrift der Forscherin

Abbildung 36: Aufklärungsgespräch zu Studie

Einverständniserklärung für Audio- und/oder Videoaufnahmen

Einwilligung zur Studie „Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens beim (passiven) Transfer Sitz-Stand“ Version vom 13. November 2020

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen der Teilnahme an der o.g. Studie Audio- bzw. Videoaufnahmen von mir / meinem Kind / meinem/r Angehörigen gemacht werden, die zu wissenschaftlichen Zwecken gespeichert und ausgewertet werden dürfen. ja nein

Ich bin zusätzlich damit einverstanden, dass die aufgenommenen Audio- bzw. Videoaufnahmen von mir / meinem Kind / meinem/r Angehörigen in Ausschnitten zu Lehr- und Forschungszwecken verwendet werden dürfen, z.B. für einen wissenschaftlichen Vortrag oder als Beispiel in einer Lehrveranstaltung. ja nein

Die Daten sowie die Video- und Tonaufnahmen werden 10 Jahre lang aufbewahrt. Sie können dieses Einverständnis jederzeit zurückziehen, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen. Die Löschung bzw. Aushändigung der Ihre Person betreffenden Daten können von Ihnen jederzeit verlangt werden. Darüber hinaus gilt für die studierendurchführende und die sie betreuende Person die Schweigepflicht gegenüber Personen, die nicht an der Durchführung der Studie beteiligt sind, wie z.B. Angehörige oder Therapeut/-innen bzw. Pflegepersonal.

Ein Exemplar dieser Einverständniserklärung habe ich erhalten, gelesen und verstanden.

Diese Einwilligung kann ich ohne Angabe von Gründen jederzeit widerrufen.

Ort, Datum

Name Studienteilnehmende/r (leserlich)

Unterschrift Studienteilnehmende/r,
Erziehungsberechtigte/r, gesetzl. Vertreter/in

Abbildung 37: Einverständniserklärung für Audio- und/oder Videoaufnahmen

Anhang 4



Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Regensburg Center of Health Sciences and Technology (RCHST)

Hanna Brandt

Am Biopark 9

93053 Regensburg

E-Mail: hanna1.brandt@oth-regensburg.de

Telefon: 0941/943 9437

Teilnahme-Information

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

herzlichen Dank für Ihr Interesse an der Studie zum Thema:

Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens beim (passiven) Transfer Sitz-Stand von Patient*innen

Mit diesem Schreiben sollen Sie über die geplante Studie informiert werden. Diese findet im Rahmen meiner Doktorarbeit an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg statt. Die Arbeit wird betreut von Prof. Dr. Andrea Pfingsten.

Ziel der Studie

Untersuchung des Unterschieds der muskulären Aktivität des Rumpfes und Haltung des Oberkörpers mit und ohne exoskelettale Unterstützung während des Transfers Bett-Rollstuhl und Rollstuhl-Bett mit vorheriger ergonomischer Schulung bei Pfleger*innen.

Ablauf der Studie

Zu Beginn der Studie werden Sie praktisch ergonomisch geschult, dabei wird von der Forscherin auf rückengerechtes Heben und Tragen von Lasten geachtet. Dabei Heben Sie eine Dummypuppe (45kg) aus dem Bett und Transferieren diese in einen Rollstuhl – alles nach ergonomischen Empfehlungen seitens der Forscherin.

Folgend kalibrieren wir ein passives Exoskelett (passives stützendes Gerät zum Speichern und Freisetzen von Energien bei Bewegungen) individuell, so dass sie eine Unterstützung der Lendenwirbelsäule bei der zu hebenden Last des Dummys spüren. Zur Bestimmung der muskulären Aktivität der Lendenwirbelsäule wie auch der Rumpfmuskulatur, welche im Zusammenhang mit der Funktion der auszuführenden Lendenwirbelsäulenbewegungen (Vorneigen und Aufrichten des Oberkörpers) steht,

werden EMG-Sensoren (Trigno™ Wireless System, Delsys Inc.) auf den entsprechenden Muskelreferenzpunkten auf Ihrer Haut platziert. Durch eine beidseitige Anlage der EMG-Sensoren können die Aktivitäten der lendenwirbelsäulenumgebenen und ansetzenden Muskulatur erfasst werden. Zusätzlich wird über zwei Kameras und Klebe-Markern an Schulter, Hüft- und Kniegelenk der Gelenkwinkel die Bewegung beim Transfer erfasst.

Neben dem objektiven Erfassen der muskulären An- und Entspannung sollen nach den Video- und Bewegungsaufnahmen durch ein Interview die subjektive Beanspruchung, Belastung oder Entlastung und die Praktikabilität erfasst werden.

Ihre Beteiligung an der Studie

Unter Supervision wird seitens der Forscherin überprüft, ob Sie die ergonomischen Bewegungen beim Transfer umsetzen können, bei Bedarf werden Ihnen von der Forscherin nochmal die wichtigen Aspekte des Hebens und Tragens von Lasten erklärt und demonstriert.

Anschließend wird Ihnen ein Exoskelett an den Rücken angelegt und auf Sie kalibriert. Sie haben eine gewisse Zeit, um sich an das Exoskelett zu gewöhnen und diesem zu vertrauen. Anschließend sollen Sie die vorher durchgeführten Bewegungen des Transfers mit einer Dummypuppe mit Exoskelett (ohne Unterstützung), mit Exoskelett (mit Unterstützung) als auch ohne exoskelettale Unterstützung jeweils dreimal durchführen. Anschließend bitten wir Sie noch einen Fragebogen zur Versuchsdurchführung auszufüllen.

Zum Zeitpunkt der Studiendurchführung ist eine Teilnahme an der Studie möglich, wenn Sie unter keinen akuten oder chronischen Rückenschmerzen leiden.

Ethische Aspekte und Datenschutz

Eine generelle (verschuldensunabhängige) Teilnehmersversicherung ist aufgrund des geringen Risikopotenzials der Studie und wegen des möglichen Nutzens für die Proband*innen nicht vorgesehen.

Bei der Teilnahme an der Studie entstehen Ihnen keine Kosten. Eine Aufwandsentschädigung, z.B. von Fahrtkosten, kann leider nicht erfolgen.

Bei der Teilnahme an der Studie können keine Nebenwirkungen bzw. Risiken auftreten.

Die erhobenen Daten fließen in meine Doktorarbeit an der OTH Regensburg ein und werden ausschließlich durch mich oder durch die o.g. Betreuungsperson gesichtet. In der Doktorarbeit und bei den ggf. daraus entstehenden Präsentationen bei Tagungen oder wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird sichergestellt, dass die Darstellung der Daten nicht zu einer Identifizierung einzelner Personen führen kann. Sofern Sie der Präsentation von Videoaufnahmen ausdrücklich zugestimmt haben, können diese bei wissenschaftlichen Tagungen in Ausschnitten präsentiert werden.

Personenbezogene Daten werden von Ergebnisdaten getrennt für Dritte unzugänglich aufbewahrt. Nach Beendigung der Studie werden Ihre Kontaktdaten vernichtet. Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Sie haben die Möglichkeit, die Teilnahme an einzelnen Teilen der Studie oder an der gesamten Studie abubrechen, weitere Teilnahmen abzulehnen und Ihr Einverständnis in eine Datenerhebung zurückziehen,



ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen. Sofern Sie Ihre Teilnahme vorzeitig beenden wollen, werden keine weiteren Daten erhoben. Bei Widerruf des Einverständnisses werden bereits erhobene Daten in anonymisierter Form weiter genutzt. Die nicht personenbezogenen Daten werden 10 Jahre lang aufbewahrt. Darüber hinaus gilt für die studierendurchführende und die sie betreuende Person die Schweigepflicht gegenüber Personen, die nicht an der Durchführung der Studie beteiligt sind, wie z.B. Angehörige oder Therapeut/-innen bzw. Pflegepersonal.

Abbildung 38: Teilnahme-Information

Anhang 5


RhVk
Rheinisches Versicherungskontor

Einzelbeauftragung

Hiermit beauftrage ich,

(Name und Anschrift des Kunden/Auftraggebers)

den Versicherungsmakler RhVk – Rheinisches Versicherungskontor e. K. mit der Besorgung von Versicherungsschutz ausschließlich für eine Wegesicherung für Probanden

Titel der Studie: Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens beim Transfer Sitz-Stand

Beginn der Studie: 16.8.2021 **Voraussichtliches Ende der Studie:** 15.12.2021

Versicherungssummen Invalidität ohne Progression: 100.000 EUR Tod: 50.000 EUR

Beitragsberechnung
Beitrag A: 1,00 EUR für Proband ohne Begleitperson
Beitrag B: 1,75 EUR für Proband mit Begleitperson/en

Probandenzahl 42	x Besuchstage 1	<input checked="" type="checkbox"/> Beitrag A	<input type="checkbox"/> ergibt Einmalbeitrag (Netto)	150,00 €	zzgl. 19 % Vers.-Steuer
		<input checked="" type="checkbox"/> Beitrag B	<input type="checkbox"/> ergibt Einmalbeitrag (Netto)	150,00 €	zzgl. 19 % Vers.-Steuer

Der Mindestbeitrag je Versicherungsschein beträgt 150,- EUR jeweils zuzüglich Versicherungssteuer.
Kosten für einen Versicherungsnachtrag wegen kundenseitig gewünschter Vertragsänderung: 50,- EUR je Ausfertigung.

- Mit dem Zustandekommen des Versicherungsvertrages ist dieser Vermittlungsauftrag abgeschlossen. Eine Betreuung in dieser Versicherungsangelegenheit wird ausdrücklich gewünscht. Eine weitere Beratung und Betreuung in anderen Versicherungsangelegenheiten ist nicht gewünscht, es sei denn, es wird schriftlich etwas anderes vereinbart.
- Die Haftung des Versicherungsmaklers ist für den einzelnen Schadenfall auf 3 Mio. € begrenzt, soweit der Schaden nicht auf einer Verletzung von Leben, Körper oder Gesundheit oder auf einer vorsätzlichen oder grob fahrlässigen Pflichtverletzung beruht. Dies gilt nicht für Verletzungen von Beratungs- und Dokumentationspflichten.
- Die Leistungen des Versicherungsmaklers werden durch die Courtagezahlung der jeweiligen Versicherungsgesellschaft abgegolten; sie ist Bestandteil der Versicherungsprämie.
- Dieser Vermittlungsauftrag unterliegt dem Recht der Bundesrepublik Deutschland. Erfüllungs- und Gerichtsstand für alle Ansprüche aus diesem Vertrag und seiner Durchführung ist, soweit gesetzlich zulässig, Ratingen.
- Die in der Anlage angefügte Datenschutzklausel und die ergänzenden Mitteilungen sind Bestandteil dieses Vertrages. Mit der nachstehenden Unterschrift bestätigt der Auftraggeber die Kenntnisnahme der ergänzenden Mitteilungen.

Ort, Datum Regensburg 16. Aug. 2021 Ort, Datum _____

Unterschrift Kunde *M. Braun* Unterschrift Versicherungsmakler _____

Pflichtinformationen nach § 15 Versicherungsvermittlungsverordnung:
RhVk Rheinisches Versicherungskontor e.K. | Büroanschrift: Josef-Schappe-Straße 21 | 40882 Ratingen | Briefanschrift: Postfach 10 11 10 | 40831 Ratingen
Telefon: 02102-709077 | Fax: 02102-709076 | Email: mail@rhvk.info | Internet: www.rhvk.info

Eingetragen als Versicherungsmakler. Erlaubnis nach § 34d Abs. 1 der GewO.

Gemeinsame Registerstelle:
Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) e.V. | Breite Straße 29 | 10178 Berlin | Telefon: 0180 600 58 50
(Festnetzpreis 0,20 €/Anruf; Mobilfunkpreise maximal 0,60 €/Anruf) | Internet: www.vermittlerregister.info

Registrierungsnummer: D-MY3N-RQ681-57

Vergütung:
Für die Vermittlung und die Betreuung von Versicherungsverträgen erhalten wir in der Regel eine Courtage, die vom Versicherungsunternehmen an uns ausbezahlt, aber wirtschaftlich vom Kunden getragen wird, da sie in der Versicherungsprämie enthalten ist. Bei Bedarf und nach Vereinbarung mit unseren Kunden werden wir auch auf Basis anderer Vergütungsmodelle tätig, z.B. in Form von Honorarvereinbarungen oder von Kombinationen der Vergütungsmodelle. Über die vorgenannten Vergütungen hinaus erhalten wir keine anderen Zuwendungen.

Beschwerdestellen / Schlichtungsstellen:
Versicherungsombudsmann e.V. | Postfach 080632 | 10006 Berlin | Internet: www.versicherungsombudsmann.de
Ombudsmann Private Kranken- und Pflegeversicherung | Postfach 06 02 22 | 10052 Berlin | Internet: www.pkv-ombudsmann.de

Information zur Teilnahme am Streitbeilegungsverfahren gemäß § 36 Verbraucherstreitbeilegungsgesetz:
Wir sind bereit, am Streitbeilegungsverfahren vor folgenden Verbraucherschlichtungsstellen teilzunehmen:
Versicherungsombudsmann e.V. | Postfach 080632 | 10006 Berlin | Internet: www.versicherungsombudsmann.de
Ombudsmann Private Kranken- und Pflegeversicherung | Postfach 06 02 22 | 10052 Berlin | Internet: www.pkv-ombudsmann.de

RhVk - Rheinisches Versicherungskontor e.K. Inh. Marcus Hans Rexfort Josef-Schappe-Str. 21 D - 40882 Ratingen	Telefon: (02102) 709077 Telefax: (02102) 709076 E-Mail: mail@RhVk.info I-Net: www.RhVk.info	Bankverbindung: Sparkasse H. • R. • V. BLZ 334 500 00 Konto Nr. 42215947	Amtsgericht Düsseldorf HRA 20044 Steuernummer 147/5286/1215
--	---	---	--

Abbildung 39: Wege- und Unfallversicherung Proband*innen

Anhang 6

Proband*in	Bewegungs- analyse-System	Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwerts
ANNN11 (1)	XSens re/li	43.56/42.96	18.59/17.10	0.41/0.39
	Kinect _{master} re/li	27.92/27.92	17.75/17.75	0.39/0.39
CHED10 (2)	XSens re/li	18.14/32.07	7.55/9.98	0.12/0.16
	Kinect _{master} re/li	19.69/27.04	12.08/13.39	0.19/0.16
CHIG08 (3)	XSens re/li	39.43/33.67	17.32/17.43	0.32/0.32
	Kinect _{master} re/li	18.79/16.01	8.89/9.59	0.17/0.18
CHRD02 (4)	XSens re/li	37.53/44.19	9.45/10.48	0.16/0.18
	Kinect _{master} re/li	30.38/43.19	9.98/10.54	0.17/0.17
ELES12 (5)	XSens re/li	7.31/39.02	5.52/7.18	0.16/0.18
	Kinect _{master} re/li	7.12/14.29	7.16/10.80	0.20/0.27
ELMI03 (6)	XSens re/li	20.89/15.21	9.48/8.29	0.17/0.15
	Kinect _{master} re/li	29.09/15.21	17.08/10.66	0.31/0.19
ELNS01 (7)	XSens re/li	28.22/28.89	11.11/11.40	0.17/0.17
	Kinect _{master} re/li	36.93/27.14	17.17/15.43	0.26/0.24
FAEM05 (8)	XSens re/li	23.14/20.94	9.47/9.33	0.22/0.31
	Kinect _{master} re/li	23.69/21.63	15.41/12.94	0.36/0.31
GAEF11 (9)	XSens re/li	48.33/46.72	17.70/13.04	0.27/0.19
	Kinect _{master} re/li	29.41/29.94	15.55/16.19	0.23/0.24
GEER08 (10)	XSens re/li	24.02/30.74	10.28/13.07	0.14/0.18
	Kinect _{master} re/li	22.07/21.10	14.95/13.96	0.21/0.19
HEUS12 (11)	XSens re/li	27.45/27.38	13.65/11.86	0.20/0.17
	Kinect _{master} re/li	7.23/21.67	6.75/13.95	0.09/0.21
IREF02 (12)	XSens re/li	22.71/27.04	19.95/21.42	0.29/0.31
	Kinect _{master} re/li	37.85/26.37	22.79/22.42	0.33/0.33
IREF10 (13)	XSens re/li	20.72/20.13	8.96/7.01	0.15/0.12
	Kinect _{master} re/li	20.64/7.29	9.30/6.67	0.15/0.11
JONZ03 (14)	XSens re/li	42.52/46.40	15.69/15.58	0.32/0.32
	Kinect _{master} re/li	31.01/38.81	13.29/13.48	0.27/0.28
KAMA01 (15)	XSens re/li	26.54/33.18	10.03/7.48	0.18/0.14
	Kinect _{master} re/li	29.26/24.51	17.62/13.99	0.31/ 0.26
KIEL05 (16)	XSens re/li	27.27/17.22	7.86/ 8.00	0.14/ 0.14
	Kinect _{master} re/li	18.47/17.58	9.05/ 13.62	0.16/ 0.24

MAED07 (17)	XSens re/li	29.35/22.58	17.98/ 13.84	0.31/ 0.24
	Kinect _{master} re/li	23.09/26.65	10.48/ 11.49	0.18/ 0.20
MAIG03 (18)	XSens re/li	31.69/23.81	10.39/ 8.32	0.21/ 0.17
	Kinect _{master} re/li	45.67/42.87	13.56/ 13.83	0.28/ 0.28
MAIN05 (19)	XSens re/li	19.04/16.56	9.41/ 8.09	0.18/ 0.15
	Kinect _{master} re/li	19.52/23.65	8.67/ 9.74	0.16/ 0.18
MAIR06 (20)	XSens re/li	40.21/42.01	15.40/ 15.90	0.28/ 0.29
	Kinect _{master} re/li	45.38/40.97	18.64/ 15.25	0.34/ 0.28
MANN07 (21)	XSens re/li	25.31/22.7	12.19/ 12.50	0.24/ 0.25
	Kinect _{master} re/li	41.96/30.28	18.71/ 15.01	0.38/ 0.30
MANN09 (22)	XSens re/li	26.09/24.83	15.70/ 24.83	0.28/ 0.28
	Kinect _{master} re/li	23.31/15.68	16.52/ 11.81	0.29/ 0.21
MARD07 (23)	XSens re/li	22.64/22.95	8.55/ 8.59	0.10/ 0.10
	Kinect _{master} re/li	34.85/26.08	14.24/ 13.16	0.17/ 0.16
MART06 (24)	XSens re/li	18.76/20.46	12.13/ 9.98	0.20/ 0.16
	Kinect _{master} re/li	31.56/20.88	17.46/ 13.30	0.29/ 0.22
PEWO01 (25)	XSens re/li	24.76/24.12	6.35/ 6.87	0.10/ 0.10
	Kinect _{master} re/li	12.01/12.27	6.97/ 9.64	0.11/ 0.15
RONZ01 (26)	XSens re/li	37.69/39.91	14.91/ 14.67	0.25/ 0.26
	Kinect _{master} re/li	34.84/20.41	15.52/ 14.10	0.26/ 0.25
ROLR08 (27)	XSens re/li	29.81/26.62	14.29/ 13.20	0.15/ 0.14
	Kinect _{master} re/li	26.37/20.20	13.67/ 13.04	0.15/ 0.14
SAED04 (28)	XSens re/li	22.41/18.05	13.16/ 10.82	0.16/ 0.13
	Kinect _{master} re/li	30.21/26.12	16.60/ 13.56	0.20/ 0.16
SUER07 (29)	XSens re/li	32.00/34.00	12.53/ 12.31	0.20/ 0.20
	Kinect _{master} re/li	44.67/47.99	18.07/ 17.53	0.29/ 0.28
SUIO10 (30)	XSens re/li	33.93/35.61	8.63/ 8.65	0.15/ 0.15
	Kinect _{master} re/li	14.43/17.83	13.22/ 13.11	0.23/ 0.23
SYUS01 (31)	XSens re/li	26.69/29.86	9.80/ 11.53	0.21/ 0.24
	Kinect _{master} re/li	36.97/22.88	14.27/ 12.39	0.30/ 0.26
THPH02 (32)	XSens re/li	35.06/35.43	12.10/ 13.35	0.24/ 0.27
	Kinect _{master} re/li	42.40/32.76	14.29/ 14.15	0.29/ 0.28
UTNG03 (33)	XSens re/li	23.13/23.93	15.97/ 15.72	0.25/ 0.24
	Kinect _{master} re/li	22.56/19.30	14.93/ 13.49	0.23/ 0.21

Tabelle 16: Intraindividueller Vergleich XSens - Kinect Hüftgelenkwinkel Flexion re/li über den kompletten Bewegungsablauf ohne Exoskelett

Anhang 7

Wer wir sind?



STRUKTUR

Das „Regensburg Center of Health Sciences and Technology“ (RCHST) ist eine fakultätsübergreifende Forschungseinrichtung der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH), die von der bayerischen Staatsregierung maßgeblich unterstützt wird.

FACHBEREICH PHYSIOTHERAPIE

Die wissenschaftliche Leiterin der Studie ist Hanna Brandt (M.Sc. Public Health). Sie arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachbereich Physiotherapie des RCHST und ist gelernte Physiotherapeutin.

Die Untersuchung findet im Rahmen ihrer Doktorarbeit zu dem Thema: „Untersuchung der muskuloskeletalen Belastung des unteren Rückens mit und ohne Exoskelett beim Transfer Bett-Rollstuhl“ statt.

Erstbetreuende der Promotion ist Frau Prof. Dr. Andrea Pflingsten, Studiengangsleitung Physiotherapie, OTH Regensburg.



Hanna Brandt (M.Sc. Public Health)
Leiterin der Studie, Doktorandin
RCHST Regensburg



Prof. Dr. Andrea Pflingsten
Studiengangsleitung Physiotherapie
OTH Regensburg

Sie haben Interesse an der Studie teilzunehmen?

Dann schreiben Sie uns gerne eine E-Mail:
M: physio@oth-regensburg.de
oder rufen Sie uns direkt an:
T: 0941 943-9437



ADRESSE

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Regensburg Center of Health Sciences and Technology
Am Biopark 9 (Gebäude I)
93053 Regensburg
www.rchst.de

GESCHÄFTSFÜHRUNG

Dr. Alexander Leis
M: alexander.leis@oth-regensburg.de
T: 0941 943-5291



OSTBAYERISCHE
TECHNISCHE HOCHSCHULE
REGENSBURG
RCHST
REGENSBURG CENTER OF HEALTH
SCIENCES AND TECHNOLOGY



Pflegefachkräfte für Studienteilnahme gesucht!

Studie: Untersuchung der Entlastung des unteren Rückens durch Exoskelette beim Transfer Bett-Rollstuhl.

Aufwandsentschädigung: 20€



rchst.de

Abbildung 40: Flyer zur Rekrutierung Rückseite

Worum geht es?

Die Zunahme an Pflegebedürftigen bei gleichzeitiger Abnahme der Pflegefachkräfte belastet und überlastet das Pflegesystem. Die Auswirkungen der körperlichen wie auch häufig sehr starken psychischen Belastung wird durch die Höhe an Fehlzeiten im Vergleich zu anderen Berufstätigen deutlich. Dabei stellt die häufigste Diagnose in der Pflege Rückenschmerzen dar.

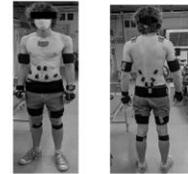
Um Sie als Pflegefachkräfte körperlich zu entlasten stehen in ihrem Alltag momentan unterschiedliche Assistenzsysteme wie z.B. Transferkräne oder Rutschbretter zur Verfügung. Die Alltagstauglichkeit von technischen Lösungen wie z.B. einer Entlastung durch ein exoskelettales System, könnte zu einer Reduktion der körperlichen Belastung Ihres Rückens bei regelmäßigen Bewegungsabläufen führen.

Was ist das Ziel der Studie?

Im Mittelpunkt der Untersuchung des Fachbereichs Physiotherapie steht die Änderung der muskulären Anspannung mit und ohne Exoskelett. Zusätzlich wird untersucht, welchen Einfluss das Exoskeletts auf die Fußbelastung und die muskuläre Anspannung hat.

Nach der Durchführung interessiert uns vor allem Ihre Meinung als Pflegefachkraft, wie Sie das Tragen des Exoskeletts empfunden haben und inwiefern Sie sich den beruflichen Alltag mit einem Exoskelett vorstellen können.

Dafür benötigen wir Ihre Unterstützung!



Wer kann an der Studie teilnehmen?

An der Studie teilnehmen können:

- ◆ Pflegefachkräfte in VZ/TZ oder innerhalb der letzten 12 Monate
- ◆ Körpergröße von 160-190cm
- ◆ Körpergewicht max. 100kg
- ◆ Keine medizinisch diagnostizierten Rückenschmerzen in den letzten 12 Monaten
- ◆ Deutsch oder Englischkenntnisse
- ◆ Mindestens 3 Jahre Berufserfahrung
- ◆ Keine Arthrose, Rheumatoide Arthritis oder Osteoporose
- ◆ Keine neurologischen Symptome wie z.B. Paresen, Lähmungssyndrome, Gang- und Bewusstseinsstörungen, Multiple Sklerose

Wann ist der Startpunkt der Studie?

Die Messungen starten ab Mitte August, je eher Sie sich melden, desto besser können wir planen und die Messungen durchführen. Sie können sich aber auch noch während der Messungen bis spätestens Anfang Dezember bei uns per E-Mail melden.

Mail: physio@oth-regensburg.de

Wie ist der Ablauf der Studie ?

Innerhalb von zwei Stunden werden Sie mit einem körperrnah getragenen passiven Exoskelett eine Arbeitssituation mit einer Pflegepuppe durchführen. Das anschließende Feedback über einen Fragebogen hilft uns, Erkenntnisse für den Arbeitsplatz von Morgen gewinnen zu können.

Bei der Studie wird auf die erforderlichen Hygienemaßnahmen zum Umgang mit dem Coronavirus geachtet.

Wo finden Sie uns?

Die Termine finden im RCHST (Regensburg Center of Health Science and Technology, Am Biopark 9, Gebäude I, 93053 Regensburg) statt.

Eine detaillierte Anfahrtsbeschreibung und weitere Details zur Studie erhalten Sie separat per Mail oder über unsere Webseite. Nutzen hierfür unseren praktischen QR-Code:



Abbildung 41: Flyer zur Rekrutierung Vorderseite

Anhang 8

Pseudonym	Versuchsreihe
ELES12	1,2,3
GEER08	1,3,2
GAEF11	2,3,1
IREF02	3,1,2
CHED10	2,1,3
RORL08	2,3,1
ANNN11	3,2,1
MAIG03	1,2,3
MAIN05	1,3,2
CHIG08	2,1,3
THPH02	3,1,2
HEUS12	3,2,1
SYUS01	1,2,3
MAED07	1,3,2
CHRD02	2,3,1
PEWO01	2,1,3
JONZ03	3,2,1
KIEL05	3,1,2
UTNG03	1,2,3
SUIO10	1,3,2
MANN09	2,3,1
MAIR06	2,1,3
KAMA01	3,1,2
MARD07	3,2,1
ELMI03	1,2,3
FAEN05	1,3,2
ELNS01	2,1,3
SAED04	3,2,1
SUER07	3,1,2
MANN07	1,2,3
IREF10	1,3,2
MART06	2,1,3
RONZ01	2,3,1

Tabelle: Pseudonomisierungsliste: 1=ohneExo, 2=mitExo_mit, 3=mitExo_ohne

Tabelle 17: Pseudonymliste mit stratifizierter Randomisation

Anhang 9

Interview	Dauer
1	13:26:00
2	13:09:00
3	10:46:00
4	06:38:00
5	06:57:00
6	10:32:00
7	10:59:00
8	11:18:00
9	19:41:00
10	06:42:00
11	11:08:00
12	15:27:00
13	10:08:00
14	20:41:00
15	11:06:00
16	09:29:00
17	08:53:00
18	09:53:00
19	12:38:00
20	09:03:00
21	08:40:00
22	09:12:00
23	07:53:00
24	11:50:00
25	09:59:00
26	10:29:00
27	09:29:00
28	12:46:00
29	08:47:00
30	17:02:00
31	12:42:00
32	13:25:00
33	15:26:00
Durchschnitt	11:24:04

Tabelle 18: Dauer der Interviews

Anhang 10



SPIRIT 2013 Checklist: Recommended items to address in a clinical trial protocol and related documents

UND

COREQ

Sektion/item	Item Nr	Beschreibung
Administrative Informationen		
Titel	1	Exoskelette in der Pflege – Evaluation der muskuloskelettalen Belastung des unteren Rückens und der Akzeptanz von Exoskeletten beim passiven Transfer Sitz-Stand. Eine Mixed-Methods-Studie.
Registrierung	2a	Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS00030006)
Protokoll Version	3	Version 5; 16.06.2021
Finanzierung	4	University of Applied Sciences in Regensburg (OTH Regensburg)
Rollen und Zuständigkeiten	5a	Hanna Brandt, M.Sc.; Studienleiterin
	5b	Prof. Dr. Andrea Pfingsten; Studienbegleiterin
Einleitung		

Hintergrund und
Beweggründe

6a Das allgemeine Ziel ist die Untersuchung des Unterschieds der muskulären Aktivität des Rumpfes und Haltung des Oberkörpers mit exoskelettaler Unterstützung mit einem Widerstand (2; Exo), mit exoskelettaler Unterstützung ohne Widerstand (3; Exo-Off) und ohne Exoskelett (1; Control) während des Transfers Sitz-Stand, Stand, Rotation, Stand-Sitz mit vorheriger ergonomischer Schulung bei Pfleger*innen.

Die unabhängigen Variablen (UV) stellen die Winkelvariablen dar, welche einerseits das nicht Tragen bzw. Tragen des Exoskeletts mit und ohne Unterstützung und zum anderen die Winkelveränderung des Hüftgelenks darstellt. Die Auswirkungen der Moment- und Winkelvariablen sollen sich in den abhängigen Variablen der Muskelaktivität (oEMG) (primäre Zielgröße) wie auch der Analyse der Veränderung des subjektiven Belastungsempfindens (CR-10-Skala) und der Hüftgelenksflexion (Xsens) (sekundäre Zielgröße) erklären.

Neben der quantitativen Erhebung wird mit Hilfe eines leitfadengestützten Expert*innen-Interviews der Frage nach dem subjektiven Empfinden beim Tragen und Nicht-Tragen des Exoskeletts gefragt und welche Aspekte der Akzeptanz und Implementierung für Pflegende entscheidend sind (sekundäre Zielgrößen).

2/8

Zielsetzungen

- 7 Primäres Outcome (1): Gibt es einen Unterschied beim Tragen eines Exoskeletts mit Unterstützung (Exo), mit Exoskelett ohne Unterstützung (Exo-Off) und ohne Exoskelett (Control) beim simulierten Transfer von Pflegekräften zwischen der Muskelaktivität (1), dem subjektivem Belastungsempfinden (2) und maximalen Hüftbeugewinkel (3)?

1)

Hieraus ergibt sich die Nullhypothese (H0)

H0 1.1: Der Transfer mit exoskelettaler Unterstützung zeigt keinen Unterschied in der Muskelaktivität der lumbalen Rückenmuskulatur mit Exoskelett (Exo) im Vergleich zur relativen Muskelaktivität der lumbalen Rückenmuskulatur ohne exoskelettale Unterstützung (Control; Exo-Off).

$$\Sigma [(\Delta\text{Exo}) = \Delta\text{Control} = \Delta\text{Exo-Off}]$$

und die Alternativhypothese (H1)

H1 1.1: Der Transfer mit exoskelettaler Unterstützung zeigt einen Unterschied in der Muskelaktivität der lumbalen Rückenmuskulatur mit Exoskelett (Exo) im Vergleich zur relativen Muskelaktivität der lumbalen Rückenmuskulatur ohne exoskelettale Unterstützung (Control; Exo-Off).

$$\Sigma [(\Delta\text{Exo}) \neq \Delta\text{Control} \neq \Delta\text{Exo-Off}]$$

Sekundäres Outcome (2,3):

H0 2.1/3.1: Der Transfer mit exoskelettaler Unterstützung mit Unterstützung zeigt keinen Unterschied im subjektiven Belastungsempfinden und Hüftflexion im Vergleich mit Exoskelett ohne Unterstützung (Exo-Off) und ohne exoskelettale Unterstützung (Control).

$$\Sigma [(\Delta\text{Exo}) = \Delta\text{Control} = \Delta\text{Exo-Off}]$$

und die Alternativhypothese (H1)

H1 2.1 Der Transfer mit exoskelettaler Unterstützung mit Unterstützung (subj_Exo) zeigt einen Unterschied im subjektiven Belastungsempfinden im Vergleich mit Exoskelett ohne Unterstützung (subj_Exo-Off) und ohne exoskelettale Unterstützung (subj_control).

$$\Sigma [(\Delta\text{Exo}) \neq \Delta\text{Control} \neq \Delta\text{Exo-Off}]$$

H1 3.1: Der Transfer mit exoskelettaler Unterstützung mit Unterstützung (subj_Exo) zeigt einen Unterschied in der Hüftgelenksflexion im Vergleich mit Exoskelett ohne Unterstützung (subj_Exo-Off) und ohne exoskelettale Unterstützung (subj_control).

$$\Sigma [(\Delta\text{Exo}) \neq \Delta\text{Control} \neq \Delta\text{Exo-Off}]$$

Forschungsfragen Qualitative Studie:

F1: Welche physischen Faktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F2 Welcher Akzeptanzfaktoren werden im Einsatz von Exoskeletten zur Unterstützung in der Pflege identifiziert?

F3: Welche Aspekte werden aus Sicht der Pflegenden erwartet, um Exoskelette in der Pflegepraxis zu implementieren?

Übergeordnete Mixed-Methods-Fragestellung:

„Wie beeinflusst der Einsatz von Exoskeletten in der Pflege die physische Belastung und Akzeptanz von Pflegekräften, und welche Aspekte sind für eine erfolgreiche Implementierung dieser Technologie in der Praxis entscheidend?“

- Studiendesign 8 Mixed-Methods-Studie (Embedded-Design; QUAN -> QUAL)
- 1) Experimentelle Querschnittsstudie
 - 2) Leitfadengestützte Interviews (15 Minuten; mit Member-Check)

Methoden: Teilnehmer*innen, Interventionen, und Outcomes

- Studienort 9 Laborstudie im Regensburg Center for Health Sciences and Technology (RCHST) in Regensburg

- Einschlusskriterien 10 Einschlusskriterien waren: erfahrene Pflegekräfte mit mindestens 3 Jahre Berufserfahrung, eine Körpergröße von 160 bis 190 cm und ein statistisch normales Gewicht (BMI: 18,5 bis 30 kg/m²), keine medizinisch diagnostizierten oder aktuellen unteren Rückenschmerzen und keine neurologischen Symptome oder Erkrankungen. Diese Einschlusskriterien wurden gewählt, um sicherzustellen, dass das Exoskelett ohne gesundheitliche Risiken verwendet wird, dass die Aufgabe ohne gesundheitliche Beeinträchtigungen ausgeführt werden kann und dass das Exoskelett optimal angepasst werden kann.

- Interventionen 11 Drei Versuchsbedingungen wurden gewählt um den Einfluss des
- a Exoskeletts alleine auf die Körperhaltung und Muskelaktivität zu untersuchen ohne eine Unterstützung (Exo-Off), im Vergleich zu einer Unterstützung mit Hilfe des Exoskeletts (Exo) und einer natürlichen Bewegung ohne Hilfsmittel (Control).

- 11 (1) Das Exoskelett wird individuell angepasst und eingestellt, und die Versuchspersonen haben 10 Minuten Zeit, sich mit den Bewegungen (Oberkörper nach vorne lehnen) mit und ohne Unterstützung des Exoskeletts vertraut zu machen.
- (2) Danach wird das Exoskelett abgelegt und die Versuchspersonen sollen in die simulierte Patient*innen-Transferaufgabe eingeführt werden.
- (3) Vor der Durchführung des Experiments sollen die Versuchspersonen die Transferaufgabe üben. Während des Übens erhalten die Proband*innen gegebenenfalls verbale Anweisungen, um einen ergonomischen Hebestil anzuwenden (Ammann, 2013). Diese kurze Ergonomie Schulung sollte zu einer rüchenschonenden Körperhaltung beitragen und die Versuchsbedingungen vergleichbarer machen.
- Die Transferaufgabe wurde in drei Sätzen zu je drei Wiederholungen mit fünfminütigen Pausen zwischen den jeweiligen Testbedingungen (Exo, Exo-Off, Control) durchgeführt

Outcomes	12	<ul style="list-style-type: none"> • Primäres und sekundäres Outcome wurden bereits erwähnt und berichtet; • Die Stichprobengröße wurde a priori (ANOVA: repeated measures, within factors) mit G*Power (Faul et al., 2007) unter der Annahme einer mittleren Effektgröße ($F=0,25$) und einem Alpha-Niveau von 0,05 bei 80% Power ($\beta=0,8$) berechnet. Diese Annahmen führten zu einer Stichprobengröße von 33 Proband*innen. • Die Übereinstimmung der Codes wird über eine Zweitcodierung erfolgen und anhand des Kappa-Werts dargestellt
Zeitplan für die Teilnehmer*innen	13	Jede Versuchsperson soll an einem einzigen Tag an den Experimenten teilnehmen, die etwa 4 Stunden dauern. Das Verfahren soll den simulierten Patient*innentransfer unter drei Versuchsbedingungen (Exo, Exo-Off, Control) und die Interviews umfassen.
Stichprobengröße	14	Es wird eine Rekrutierungsgröße von 33 (26 weibliche Probandinnen, 7 männliche Probanden) angestrebt, eine mögliche Drop-Out Rate von 20% wurde entsprechend berücksichtigt. Die minimale Anzahl an Proband*innen entspricht einer Fallzahl von 28 (22 weiblich, 6 männliche Proband*innen). Es fand eine a priori G*Power Berechnung über das Programm G*Power von Faul et al. (2007) statt.
Rekrutierung	15	mittels Flyer, E-Mails und direkter Ansprache von Pflegeeinrichtungen und Kliniken

Methode

Zuteilung: Stratifizierung

Reihenfolge	16	Erstellen der Versuche basierend auf den Kombinationen der Stufen a der drei Bedingungen (Exo, Exo-Off, Conrol). Dies ergibt 3×3×3=27 unterschiedliche Bedingungen
Mechanismus zur Verdeckung der Zuweisung	16	Die Reihenfolge der Messbedingungen pro Proband*in wurde vorher von der Forscherin stratifiziert festgelegt; die Proband*innen stellen allerdings sofort beim Benutzen der Exoskelette fest, welche Bedingung Sie testen (Exo, Exo-Off, Control); Verblindung somit nicht möglich;
Umsetzung	16	Umsetzung erfolgt durch die Forscherin c
Verblindung	17	Keine Verblindung a

Methoden: Datenerhebung, -verwaltung und -analyse

Methoden der Datenerhebung	18	<ul style="list-style-type: none"> • Muskelaktivität gemessen über oEMG • Subjektives Belastungsempfinden über CR-10 BORG Skala • Hüftflexionswinkel gemessen über IMU-basiertes Tracking • Aufbau der Interviews orientiert an Mummendey (1987); halbstandardisiertes Interview; Interview-Leitfaden wurde an den drei Grundprinzipien der <i>Offenheit</i>, <i>Prozesshaftigkeit</i> und <i>Kommunikation</i> nach Reinders et al. (2011, S. 71f.) und Scholl (2018, S. 184ff) orientiert; • Um die Zuverlässigkeit der Daten zu gewährleisten, wurden die fünf Kriterien Glaubwürdigkeit (credibility), Übertragbarkeit (transferability), Abhängigkeit (dependability), Bestätigung (confirmability) und Reflexivität (reflexivity) nach Lincoln und Guba (1985), (Flick, 2010, S.401f.) und Korstjens und Moser (2018, S. 121) angewendet und durch die zwei Kriterien der Intercoder-Reliabilität (Objektivität) und Intracoder-Reliabilität (Reliabilität) und theoriegeleitetes Kategoriensystem (Konstruktvalidität) nach Mayring und Brunner (2009, S. 677) ergänzt.
	18	Von Teilnehmer*innen, die die Intervention abbrechen oder von den b Interventionsprotokollen abweichen, wird berichtet
Datenmanagement	19	Die Dateneingabe, -verschlüsselung, -sicherung und -speicherung einschließlich aller damit verbundenen Prozesse zur Förderung der Datenqualität erfolgt in anonymisierter Form auf einem passwortgeschützten Server der OTH Regensburg.

Statistische Methoden	20 a	<ul style="list-style-type: none"> • Primäre und sekundäre Outcomes über eine ANOVA mit Messwiederholung mit dem Statistik Programm SPSS (IBM) • Interviews ausgewertet nach Mayring (2015) und Braun und Clarke (2006) ergänzt; deduktiv-induktives Vorgehen; mit MAXQDA (Verbi Software) • Meta-Interferenz nach dem Vorgehen nach Bazeley (2018) und der Darstellung eines ‚Joint Displays‘ nach Fetters und Guetterman (2021)
	20 b	Keine Methoden für zusätzliche Analysen (z. B. Untergruppen- und angepasste Analysen)
	20 c	<p>Wenn formale statistische Methoden zur Behandlung von Protokollverletzungen und fehlenden Daten nicht anwendbar sind, wird eine deskriptive Analyse der Daten angewandt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung der Anzahl und Charakteristika der Teilnehmer*innen, die das Protokoll nicht eingehalten haben. • Narrative Beschreibung der potenziellen Auswirkungen der Protokollverletzungen und der fehlenden Daten auf die Ergebnisse.

Methoden: Überwachung

Datenüberwachung	21 a	Keine Sponsoren und unabhängig von konkurrierenden Interessen
	21 b	Zugang von Zwischenergebnissen als auch den Ergebnissen haben die Gutachtenden, Mentoren und meine Doktormutter
Schäden	22	<p>Pläne für die Erfassung, Bewertung, Meldung und Verwaltung von angeforderten und spontan gemeldeten unerwünschten Ereignissen und anderen unbeabsichtigten Auswirkungen von Prüfungsmaßnahmen oder der Prüfungsdurchführung werden protokolliert und in einem Ordner auf einem passwortgeschützten Server der OTH gespeichert;</p> <p>Registrierung im Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS) (DRKS00030006)</p>

Ethik und Verbreitung der Ergebnisse

Ethische Genehmigung	24	Ethikvotum der Universität Regensburg (Nummer: 20-2134-101)
Protokolländerungen	25	Pläne für die Mitteilung wichtiger Änderungen am Prüfplan (z. B. Änderungen der Einschlusskriterien, Ergebnisse, Analysen) werden an die Studienteilnehmer*innen und im DRKS gemeldet
Zustimmung/ Einwilligung	26 a	Die Einwilligung der Aufklärung und die Zustimmung der Studienteilnehmer*innen oder bevollmächtigten Stellvertretern holt die Forscherin selbst ein

Vertraulichkeit	27	Informationen über Teilnehmer*innen werden verschlüsselt auf elektronischen Datenträgern der OTH Regensburg passwortgeschützt und anonymisiert gesammelt, und aufbewahrt
Interessenserklärung	28	Es liegen keine finanziellen oder andere konkurrierende Interessen der Hauptprüferin für die gesamte Studie und das Studienzentrum vor
Zugang zu den Daten	29	Zugang zu den endgültigen Studiendaten werden die Gutachtenden und die Forscherin selbst sein
Begleitende und nachbereitende Maßnahmen	30	Entschädigung von Personen, die durch die Teilnahme an der Prüfung geschädigt wurden wurde eine Wegeversicherung abgeschlossen (RhVk)
Veröffentlichungspolitik	31	Die Studienergebnisse sollen in unterschiedlichen Veröffentlichungen a dargestellt werden

8/8

Abbildung 42: Studienprotokoll nach der SPIRIT-Checkliste und der COREQ-Guideline

Anhang 11

Interview-Leitfaden				
Interviewnummer	Name	Ort	Datum	Dauer
<hr/>				
Vorbereitung + Einführung				
<ul style="list-style-type: none">– Befragte Person nochmals für die Teilnahme bedanken– Um was geht es: Einsatz von Exoskeletten in der Pflege– Ziel des Interviews: In dem Interview möchte ich erfahren, welche Perspektive Sie auf den Einsatz von Exoskeletten in Ihrem Arbeitsbereich der Pflege haben, wie Sie die Benutzer*innen-Freundlichkeit einschätzen und welche Herausforderungen und Chancen für den Einsatz des bereits erprobten passiven rückenunterstützenden Exoskeletts bestehen.– Zeitrahmen: 10 bis max. 20 min– Freiwilligkeit betonen: Wenn immer Sie etwas nicht beantworten wollen, müssen Sie das selbstverständlich nicht. Sie können das Interview jederzeit abbrechen, falls Sie sich dabei nicht wohl fühlen. Wichtig: Das hat selbstverständlich keine Nachteile oder Folgen!– Vertraulichkeit: Das Interview wird aufgezeichnet, damit das Gespräch anschließend verschriftlicht und ausgewertet werden kann. Ihre Angaben sind vertraulich. Ihre Aussagen werden pseudonymisiert und nicht mit Ihrem Namen veröffentlicht. Somit wird niemand außer Ihnen oder uns erfahren, was Sie in diesem Interview gesagt haben.– Fragen: Haben Sie Fragen?				
Aufnahme starten				

Abbildung 43: Interviewleitfaden

Interviewfragen

In Ihrer pflegerischen Praxis gibt es Hilfsmittel wie Rutschbretter, Haltegurte oder Patient*innenlifter, die Ihre körperliche Anstrengung reduzieren können. Eine Alternative könnte ein körpernah getragenes Exoskelett darstellen, wie Sie es eben getragen haben. Dabei interessiert mich vor allem, ob für Sie ein Exoskelett ein vorstellbares technisches Hilfsmittel sein kann, um die körperlichen Anforderungen in Ihrer Tätigkeit zu reduzieren.

Nr.	Frage	Detailfrage	Zielsetzung	Theoretischer Hintergrund
1	Wenn Sie sich nochmal in die Versuchssituation hineinversetzen, als Sie das Exoskelett getragen haben... Wie haben Sie das Benutzen des Exoskeletts wahrgenommen?	Konnten Sie das Exoskelett in dem Experiment intuitiv benutzen?	Erfassen der subjektiven Einschätzung zur Benutzer*innen-Freundlichkeit als Basis für die folgenden Inhalte.	Entsprechend der Forschungsfrage soll die Benutzer*innen-Freundlichkeit untersucht werden, um einen Hinweis auf die Technikakzeptanz und damit einen Faktor der Implementierung von Exoskeletten zu erhalten (Elprama et al., 2022). Grundlage der Frage ist das Modell des „Technology Acceptance Model“ (TAM III), in dem die Nutzung von Technologie von zwei Variablen abhängt. Der wahrgenommenen Nützlichkeit und Benutzer*innen-Freundlichkeit (Davis, 1989; Venkatesh & Bala, 2008).
2	Hatten Sie Erwartungen, wenn ja, welche?	Hat sich das Exoskelette beim Benutzen so verhalten, wie Sie es erwartet haben?	Erwartungen/Vorannahmen, die Einfluss auf das Benutzen hatten	Die wahrgenommene Bedienbarkeit führt, nach Gerhard Bandow und Holzmüller (2010), zu einer erhöhten Technikakzeptanz. Dazu gehört auch das Erfassen von Erwartungen, um positive oder negative Assoziationen in Bezug zum Einsatz von Exoskeletten zu identifizieren (Baltrusch et al., 2020).
3	Würden Sie sich nach einer Schulung selbst zutrauen, dass Exoskelett in Ihrer Arbeit zu benutzen?	Haben Sie sich nach der heutigen Schulung in der Benutzung des Exoskeletts so gefühlt, als könnten Sie es in Ihrer Arbeit einsetzen?	Einfluss von Schulung und der Vermittlung von Wissen zur Nutzung von Exoskeletten in der Pflege	Das Gefühl informiert und sicher im Umgang mit einem technischen Gerät zu sein erhöht die Nutzung im Arbeitsumfeld (Davis, 1989). In der Industrie und der Implementierung von Exoskeletten stellen Schulungen eine wesentliche Rolle dar (Abel et al., 2019).

4	Hatten Sie das Gefühl, dass sich Ihre Haltung durch das Exoskelett verändert?	Wie hat sich Ihre Haltung verändert?	Einfluss des Tragens vom Exoskelett auf das subjektive Empfinden der Körperhaltung	Bär et al. (2021) stellen in ihrer systematischen Übersicht fest, dass sich durch das Tragen von unterschiedlichen Exoskeletten die Haltung verändert. Neben der quantitativen Erhebung (Hüftgelenksflexionswinkel) kann das subjektive Empfinden einen weiteren Anhaltspunkt der Veränderung der Haltung liefern.
5	<i>Wenn Sie sich nun einmal vorstellen</i> , dass Exoskelett auf Ihrer Arbeit einzusetzen.... Meinen Sie, dass Sie eine Veränderung in Ihrer Leistungsfähigkeit über den Tag spüren würden, wenn Sie eine Unterstützung bei schweren körperlichen Tätigkeiten, wie z.B. beim Transfer oder Waschen von Pflegebedürftigen, hätten?	Glauben Sie, dass Sie mehr Energie durch das Tragen des Exoskeletts hätten?	Einfluss des Tragens vom Exoskelett auf die subjektive, physische Leistungsfähigkeit für das übergeordnete Ziel der Technikakzeptanz	Vorstellung von erhöhter Leistungsfähigkeit und reduzierter körperlicher Belastung, auch nach dem beruflichen Alltag, kann motivierend sein, um ein technisches Gerät einzusetzen. Zöllnick et al. (2020a) stellt eine erhöhte Akzeptanz bei Pflegenden durch den Einsatz von Technik zur körperlichen Unterstützung in der Pflege fest.
6	Was sind, Ihrer Meinung nach, die größten Herausforderungen, um ein Exoskelett bei Ihnen auf der Arbeit einzusetzen?	Was könnten Barrieren/ Hindernisse auf Ihrer Arbeit darstellen?	Erfassen von Barrieren zum Einsatz von Exoskeletten in der Pflege	Bislang existieren wenig Ergebnisse zum Einsatz von Exoskeletten in der Pflege und der Frage nach möglichen Barrieren. Elprama et al. (2022) stellten unterschiedliche Faktoren vor, die das implementieren von Exoskeletten in der Industrie beeinflussen.
7	Abschließend möchte ich noch wissen, welches Gesamturteil, auf einer Skala von 0=nicht einsatzfähig bis 10=genau passend für meine Tätigkeit, Sie dem Exoskelett geben und warum?	Was genau sind Hindernisse auf der Arbeit? Was sind Chancen?	Darstellung weiterer Faktoren, die den Einsatz fördern oder hindern.	Ergänzend zur Frage 6 können evtl. weitere Punkte genannt werden, die zusammenfassend nochmal die Stärken und Schwächen zum Einsatz dieses passiven rückenunterstützenden Exoskeletts in dem jeweiligen Arbeitsort der Pflegenden hervorheben.
8	Möchten Sie noch etwas ergänzen?	Was ist Ihnen abschließend noch wichtig zu sagen?		

Ich bedanke mich herzlich für Ihre Zeit!

Abbildung 44: Interviewleitfaden

Anhang 12

	Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Codierregel
1 Oberkategorie (OK), deduktiv	Physische Faktoren	Stellungnahmen zum eigenen physischen Körperempfinden und der Veränderung beim Tragen des Exoskeletts.		
1.1 Unterkategorie (UK), induktiv	Reduktion des körperlichen Erschöpfungsstands	Aussagen, sich durch das Tragen des Exoskeletts während der Arbeitszeit weniger als erwartet, müde zu fühlen und dadurch mehr Energie während des Tages und am Abend zu haben.	„Ich wäre wahrscheinlich am Ende des Tages zumindest nicht so kaputt vom Mobilisieren. Also, ja, dadurch die Leistungsfähigkeit wäre natürlich erhöht, weil ich ja am Abend nicht ganz so ausgelaugt oder, ja, erschöpft bin.“ (I20, Pos.15)	Aussagen zur Verringerung der Erschöpfung über den Tag und dadurch auch am Abend noch mehr Energie zu haben.
1.2 UK, induktiv	Bewusstsein für Körperhaltung	Äußerungen zur veränderten Wahrnehmung der Körperhaltung. Bewusstsein beim Heben	„Also, es unterstützt halt eine korrektere Haltung einzunehmen. Daher, also, das ist das. Ich meine, wenn man eine gute, klar, eine	

		Körperposition und Sensibilisierung für den beispielsweise den Rücken.	ja, also, wirklich, den Benefit, den größten Benefit von der Haltung einfach, dass man die bewusster hebt, et cetera, indem man das Exoskelett anzieht und dann (?einfach gleich) einen Griff oder eine andere Position oder das einfach ich hebe jetzt. Und dann setzt man das einfach ins Gedächtnis oder setzt sich ins Bewusstsein (?dann nachher auch). Als wenn man einfach hinstürzt und (?hebt).“ (I32; Pos. 19)	
1.2.1 UK, induktiv	Stabilität und Sicherheit	Aussagen zum Empfinden der Stabilität und damit verbundenen Sicherheit durch das Tragen des Exoskeletts.	„Und ich bin überrascht von der Stabilität, also von der Sicherheit beim Stand und von der Sicherheit vom Rumpf.“ (I17, Pos.7)	In Abgrenzung zur Unterkategorie „Vertrauen und Sicherheit durch das Exoskelett“. In dieser Kategorie geht es um das Erleben der Stabilität im Körper, welches im Zusammenhang mit einem

				<p>Sicherheitsgefühl genannt wird.</p> <p>Die Unterkategorie „Vertrauen und Sicherheit durch das Exoskelett“ steht in dem Zusammenhang, wie sich das Exoskelett als Objekt in der Benutzung anfühlt.</p>
1.2.2 UK, induktiv	Gefühl der Unterstützung	Aussagen zum unterschiedlich stark empfundenen Gefühl der körperlichen Unterstützung durch das Exoskelett.	<p>„Was ich, ja, was sich <u>auch letztlich</u> in meiner Beurteilung niedergeschlagen hat, ist, dass ich die Unterstützung als (...) nicht so dominant empfunden habe. Das heißt, ja, (...) insbesondere-. Also das hat sich jetzt ja sehr auf Oberschenkel, Rumpf bezogen. Also der Rücken war ohnehin gerade (...) ja, das hat mir jetzt nicht so viel geholfen, dass ich sage, das-. Ja, die Unterstützung empfinde ich durch das Exoskelett, da ist eher-, in Prozenten mir einfach zu</p>	<p>Explizite Nennung des Gefühls der Unterstützung durch das Tragen des Exoskeletts</p>

			wenig, sodass ich es gespürt hätte.“ (I14, Pos. 3) „Also man merkt einfach, dass man schon Unterstützung kriegt in seinem Tun, auf jeden Fall.“ (I4, Pos. 11)	
<i>Skalierung</i>	Kaum körperlich spürbaren Effekt	Aussagen zum Gefühl keinen körperlichen Vorteil durchs Benutzen zu haben oder keinen Effekt zu spüren.	„Allerdings muss ich sagen, wenn man so an sich fit ist und viel Sport macht und so weiter, dann, muss ich sagen, für mich persönlich hat das jetzt keinen sehr großen Unterschied gemacht.“ (I31, Pos. 5)	
1.2.3 UK, induktiv	Physische Belastung	Aussagen zur physischen Belastung, die sich auf die körperliche Anstrengung oder Beanspruchung während des Transfers oder im Übertrag auf Belastungen während der pflegerischen Arbeit beziehen.	„Ich finde da habe ich es im Rücken nicht so gespürt. Also, die Schmerzen, also was heißt Schmerzen, Belastung im Rücken empfindet man da weniger, [...] als ohne quasi.“ (Interview23, Pos.5).	Explizite Nennung des Gefühls der Entlastung bzw. einer Verringerung der physischen Belastung durch das Tragen/nicht Tragen des Exoskeletts.

1.3 UK, induktiv	Eingeschränkte Bewegung	Aussagen zum Gefühl durch das Exoskelett eingeschränkt oder starr in der Bewegung des Oberkörpers oder während des Gehens zu sein.	„Das Gehen war ein bisschen anders, fand ich, weil es halt doch einfach irgendwie ein Fremdkörper ist und in einer gewissen-, ja, limitiert ist in seinen Bewegungen, sage ich mal und der Körper hat ja dann doch andere Winkel, die er gehen kann.“ (I31, pos. 13)	Aussagen zum Gefühl roboterartig durch einen Fremdkörper bewegt zu werden oder das Gefühl entsteht beim Tragen des Exoskeletts in der Bewegung eingeschränkt zu sein.
3 OK, deduktiv	Exoskelett Nutzung	Aspekte über das Exoskelett selbst und übergeordnete Aspekte, die eine Nutzung des Exoskeletts in der Praxis beeinflussen.		
3.1 UK, induktiv	Risikofaktoren Konstruktion	Stellungnahmen zum Aussehen, der Wirkung von Exoskeletten auf Andere, und Risikofaktoren bzw. Gefahren in der Pflegepraxis, die durch das Tragen auftreten können.	„Dann muss man auf jeden Fall, glaube ich, erst mal die Dimensionen, gerade am Rücken abschätzen können, weil oftmals nicht viel Platz ist, irgendwo, wenn du dazwischengehen musst oder so was, ja. Und viele Schläuche, die hängen	Aussagen zu Klemmgefahren, Hängenbleiben oder Umschmeißen von Geräten. Risikofaktoren können gleichzeitig auch Ablehnung und Ängste bei Patient*innen sein.

			<p>bleiben könnten oder wo du gegen kommen könntest. Das wäre zum Beispiel ein Problem, weil schon so der Platz immer recht gering ist. Und dann, wenn du halt hinten einfach noch mehr <u>Mensch bist</u> quasi, kann ich mir vorstellen, dass es ein bisschen schwierig ist. Also, wenn es jetzt wesentlich dichter am Körper dran wäre, hätte ich da weniger Probleme damit, glaube ich als das.“ (I31, Pos. 21)</p>	
3.2 UK, deduktiv	Bedienungs-Freundlichkeit	Aussagen zu Erwartungen und Vorannahmen zum Benutzen des Exoskeletts.	<p>„Aber ich konnte es dann eigentlich ganz gut benutzen. Also, das An- und Ausziehen war überhaupt kein Problem und auch die Nutzung an sich, also, das Heben war, also, es war nicht so, als hätte ich-, als wäre was im Weg gewesen.“ (I20, Pos. 3)</p>	
3.3 UK, deduktiv	Komfort in der Interaktion	Wahrnehmung zur komfortablen Benutzung		

		des Exoskeletts während des Transfers. Gleichzeitig können auch Aussagen zu Druck, Schmerzen oder unangenehmes Gefühl beim Tragen genannt werden.	„Also ich fand, dass der Tragekomfort war schon gegeben. Also ich fand es jetzt nicht, dass es irgendwie gestört hätte. Auch in meinem Bewegungsablauf, den ich hatte. Und ich habe das jetzt schon als angenehm empfunden.“ (I7, Pos. 3)	Es kann ein Komfort, ein angenehmes Gefühl beim Tragen, gleichzeitig können auch Aussagen zu unangenehmen Gefühlen geäußert werden.
3.4 UK, induktiv	Designanpassung für Pflege	Anpassungsvorschläge zum besseren Umgang mit dem Exoskelett in der Pflegepraxis und der Interaktion zwischen Patient*innen und Pflegenden	„Und vielleicht es auch wirklich vielleicht ein bisschen-, vielleicht gibt es auch schon (Lacht.) wo bisschen körperbetontere schon. Nicht so-. Ich habe das jetzt nicht von hinten gesehen, wie viel Abstand da ist, ich weiß es nicht. (I: Ja, ist schon.) Ja, also bisschen körperbetonter würde schon helfen.“ (I15, Pos. 3)	Hier können Ideen zu speziellen Griffen zum Festhalten von Patient*innen beim Transfer genannt werden, oder die allgemeinen Vorschläge zu einem enger anliegenden oder unter der Kleidung getragenen Exoskelett.
3.5 UK, induktiv	Einsatz bei Belastungsspitzen	Beschreibung von Szenarien zum Einsatz des Exoskeletts bei	„Und zum Mobilisieren, ist es eine feine Sache. Oder direkt auf so Stationen, wo dann viel Transfer vom Bett raus und rein ist. Weil ich rede	

		Belastungsspitzen und Arbeitsanforderungen, die eine hohe körperliche Hebelbelastung erfordern oder Pflegende auf sich allein gestellt sind, wie in der ambulanten Pflege.	jetzt von meiner Sicht. Also, wir haben <u>Kardio</u> viel Pflege immobile Patienten, ja, so 50 Prozent liegt halt im Bett. Und wenn draußen 30, 40 Prozent, die nicht mehr aus dem Bett rausgehen. Natürlich, auf so einer chirurgischen Station oder so, wo man halt dann Schenkelhals viel mobilisiert oder so, das ist vielleicht auch nicht schlecht.“ (I32. Pos.31)	
4 OK, deduktiv	Rahmenbedingungen der Pflegeeinrichtung	Äußerungen Rahmenbedingungen der Pflegeeinrichtung sowie fördernden und hemmenden Faktoren, die seitens der Pflegenden erwartet werden.		
4.1 UK, induktiv	Krankheitstage/ Prävention	Aussagen zur Reduktion von Krankheitstagen durch den Einsatz von Exoskeletten durch den	„Ja, vielleicht ist dann die Möglichkeit da, dass man länger im Beruf bleibt und dass halt weniger Gesundheitsschäden entstehen. Ich	

		<p>Gedanken, Krankheiten präventiv zu vermeiden. Oder auch gegenteilige Äußerungen mehr Mitarbeitende einzusetzen, anstatt in Exoskelette zu investieren, um die Krankheitslast zu reduzieren.</p>	<p>weiß jetzt nicht genau den Hintergrund, was für Gesundheitsproblematiken körperlich in der Pflege Sache ist.“ (I15, Pos.17)</p>	
<p>4.2 UK, induktiv</p>	<p>Kostenfaktor</p>	<p>Um Exoskelette in der Praxis zu nutzen, müssen diese angeschafft werden und das Unternehmen investieren.</p>	<p>„Kostenfaktor mit Sicherheit. Also wenn man die Pflegekräfte einfach besser zahlen würde, dann-. Also, nicht? Ich kann mir-, wenn man ja sagt, man hat-, ich weiß nicht, wie groß die Station ist, aber man braucht so und so viel Exoskelette für die Schicht, bin ich gespannt, wer das zahlt. Bei der Pflege wird ja nur gespart. Und ich glaube, man könnte vielleicht, wenn man jetzt überlegt, wir arbeiten jetzt, weiß ich nicht, 40 Stunden die Woche, weil wir ständig</p>	<p>Stellungnahmen zu Rahmenbedingungen der Einrichtungen, ob und wie viele Exoskelette angeschafft werden. Aber auch Kostenfaktoren, die durch eine zusätzliche Lagerung und Lagerhaltung entstehen können.</p>

			<p>Überstunden schichten. Und es geht aber nicht, dass man da eine Kraft mehr einstellt, damit man vielleicht nur 37 Stunden arbeiten muss, weil man dafür zu wenig finanzielle Mittel hat. Dann bin ich gespannt, ob das dann so einfach angenommen wird. Ob da für so viele Pflegekräfte dann Geld ausgegeben wird.“ (I11, Pos. 23)</p>	
4.1 UK, induktiv	Personalschlüssel	<p>Aussagen zum Einsatz von Exoskeletten, wenn genug Pflegepersonal vorhanden ist.</p> <p>Im Gegensatz zu Aussagen, die den Einsatz gerade aus Gründen einer Unterbesetzung oder im Nachtdienst tragen würden, weil sie allein sind.</p>	<p>„Und ich glaube, dass es auch schon ein Unterschied ist. Auf einer Intensivstation, glaube ich, wird es fast eher eingesetzt werden als jetzt auf einer Normalstation. Weil man einfach der Pflegeschlüssel einfach besser ist. Weil man hat einfach weniger Patienten. [...] und Normalstation ist eigentlich immer unterbesetzt.“ (Interview 28, Pos. 27)</p> <p>„Also ich denke, dass es in der geriatrischen Abteilung oder grundsätzlich auf den</p>	

			Normalstationen, wo man nicht sofort einen Helfer zur Hand hat. Dass es da definitiv besser einsetzbar wäre, vor allem auch im Nachtdienst, weil man da auf den Normalstationen teilweise allein ist. Und beim Lagern, ja, Hilfe gebrauchen könnte. Dafür wäre das Exoskelett an sich eigentlich perfekt.“ (13, Pos. 23)	
5 OK, deduktiv	Prozessbezogene Faktoren	Reflexion über Prozesse in der Praxis, die ein implementieren des Exoskeletts beeinflussen können.		
5.1 UK, induktiv	Arbeitsablauf und Lagerung	Aussagen zur Lagerung und Integration in den Arbeitsablauf werden getroffen, dabei spielt der fließende Übergang zum Einsatz und zur Verfügung stehenden Hilfsmittel, eine	„Es muss, das Gerät muss aber greifbar sein. Also das ist wie ein anderes Hilfsmittel, das muss zur Verfügung stehen und es muss umgesetzt werden. Ich glaube, das ist der Knackpunkt eigentlich.“ (117, Pos. 13)	Aussagen stehen in Abgrenzung zur UK „Erfahrung in der Praxis“; bei der UK „Arbeitsablauf“ steht der Ablauf und die Integration von Exoskeletten im Vordergrund.

		entscheidende Rolle, um Zeit zu sparen.		
5.1.1 UK, induktiv	Zeit	Aussagen zum Zeitfaktor beim An- und Ausziehen des Exoskeletts und der Anpassung an den Körper. Vergleiche zu anderen Hilfsmitteln und deren Einsatz können gezogen werden.	„Der Zeitfaktor. Also, die Mitarbeiter dafür zu sensibilisieren, sich wirklich diese Zeit zu nehmen. So, wie man auch schon immer die Problematik hatten, es gibt einfach Mitarbeiter, die sagen: Das dauert mir zu lange, bis ich den Lifter benutze.“ (I24, Pos. 21)	
5.1.2 UK, induktiv	Ressourcenverteilung der Exoskelette	Beschreibung von Fragen nach der Verteilung der Exoskelette auf die Mitarbeitenden, ob jede Pflegekraft eins zur Verfügung gestellt bekommt oder pro Station eine Anzahl an Exoskeletten zur Verfügung gestellt wird.	„Und dann natürlich, ja, wäre es natürlich eigentlich schon praktisch, wenn, in Anführungszeichen jeder sein eigenes Exoskelett, weil sonst geht ja auch wieder Zeit drauf, das für jeden einzustellen. Und wenn man jetzt vielleicht nur ein oder zwei hat, auf der-, oder, ja, und das wollen mehrere benutzen, dann muss man es jedes Mal erst mal wieder neu	

			anpassen an den einzelnen.“(I27, Pos.13)	
5.1.3 UK, induktiv	Hygiene	Aussagen zu hygienischen Aspekten in der Benutzung der Exoskelette und Arbeitsabläufen, von Patient*innen, die isoliert sind oder im Krankenhaus auf Intensivstation liegen.	„Also, erst mal die Hygiene an sich ist, glaube ich, ein bisschen schwierig. Also, wenn, dann müsste ich es halt unter meiner Arbeitskleidung tragen. Und, also, gut, ich könnte natürlich einfach eine größere Größe an Arbeitskleidung tragen und dann würde das auf jeden Fall, denke ich, darunter passen. Also, das wäre jetzt vielleicht nicht das Problem.“ (Interview 31, Pos. 21)	
5.2 UK, deduktiv	Schulung	Aussagen zur Benutzung und des sicheren Umgangs durch eine Schulung und Begleitung in der Anwendung bei den Gepflegten.	„[...] wenn man, ja, eine gute Schulung kriegt, damit man es sich allein anziehen kann und anpassen kann. Also dafür würde ich es mir echt gut vorstellen können.“ (I3, Pos.23)	

5.2.1 UK, induktiv	Kompetenzaufbau	Aussagen zum Ausbau der Kompetenzen im Umgang mit dem Exoskelett, die auf einer langfristigen Praxiserfahrung basieren.	„Aber an sich könnte ich mir das dann auch schon vorstellen, dass man es an mehreren macht. Klein, also, klein anfangen und sich dann immer steigern. Also, dass man sagt, okay, wenn man jetzt acht Patienten zu versorgen hat, dass man es jetzt zum Beispiel an zwei, drei erst mal probiert. Und dann sich langsam Woche für Woche dann steigert oder so zum Beispiel, um sich erst mal zurechtzufinden mit dem Exoskelett.“ (I25, Pos. 15)	
-----------------------	-----------------	---	--	--

Tabelle 19: Kodierleitfaden

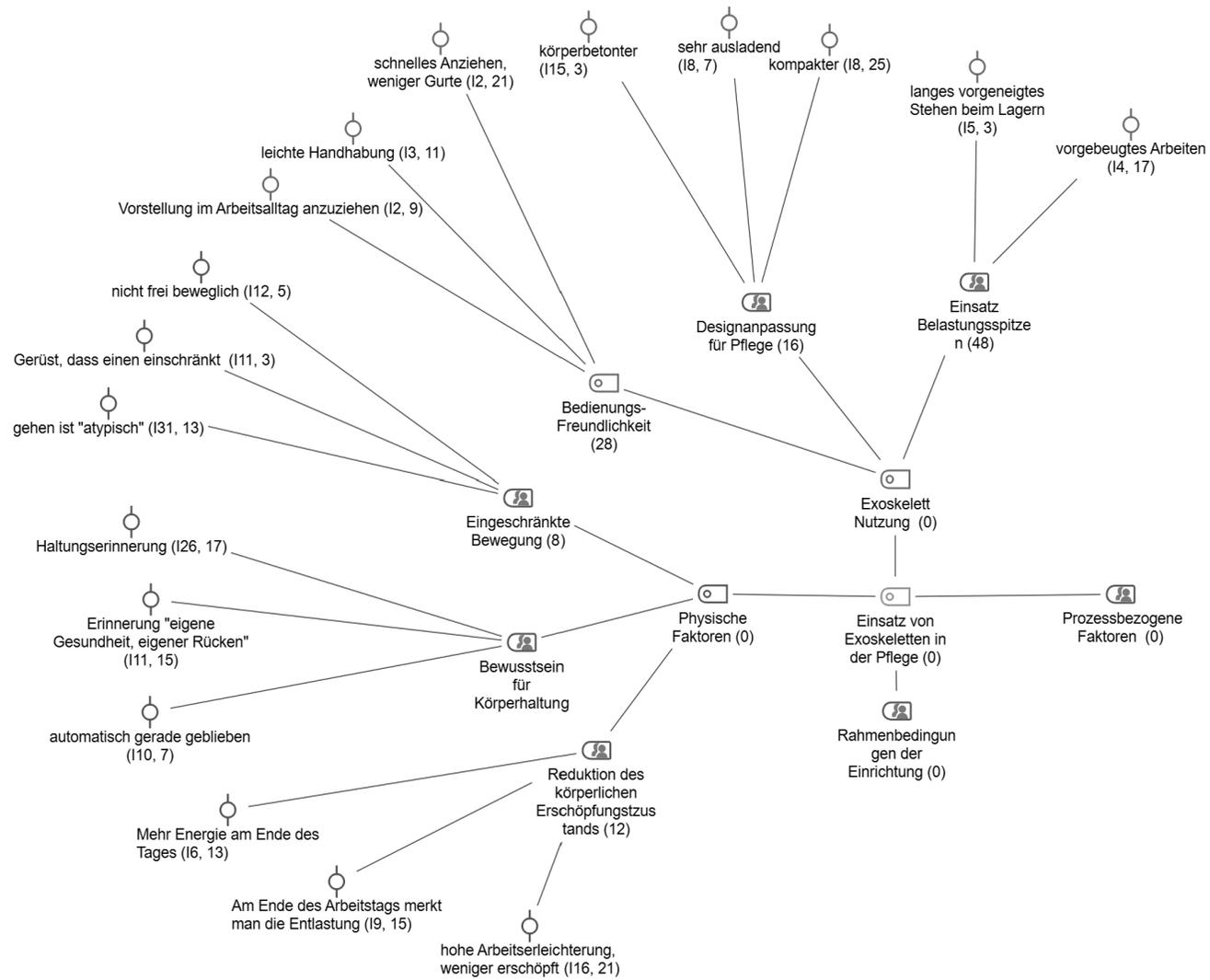


Abbildung 45: Thematic Map, Themen der Ebene 2 des Kategoriensystems 1 von 2

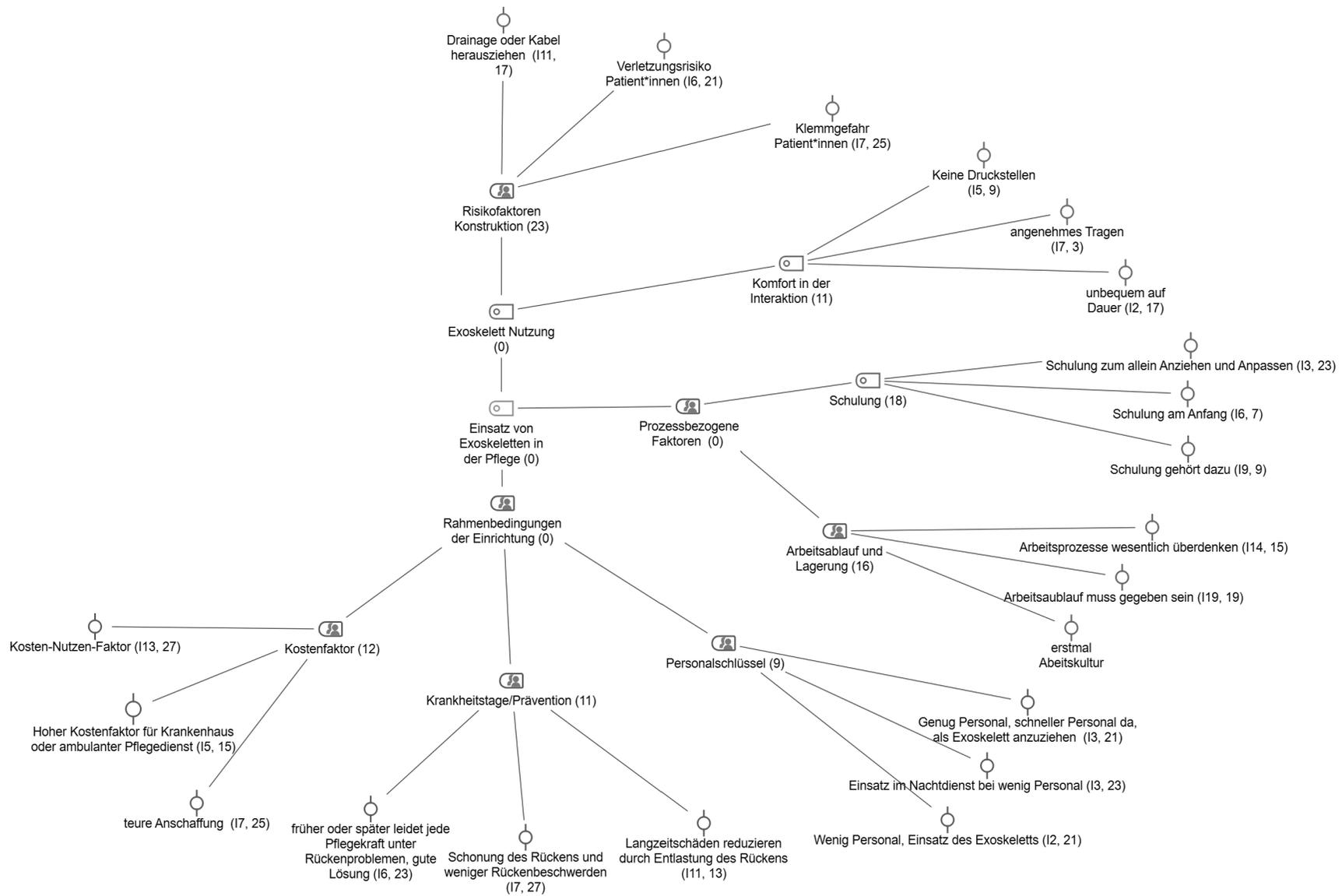


Abbildung 46: Thematic Map, Themen der Ebene 2 des Kategoriensystems 2 von 2

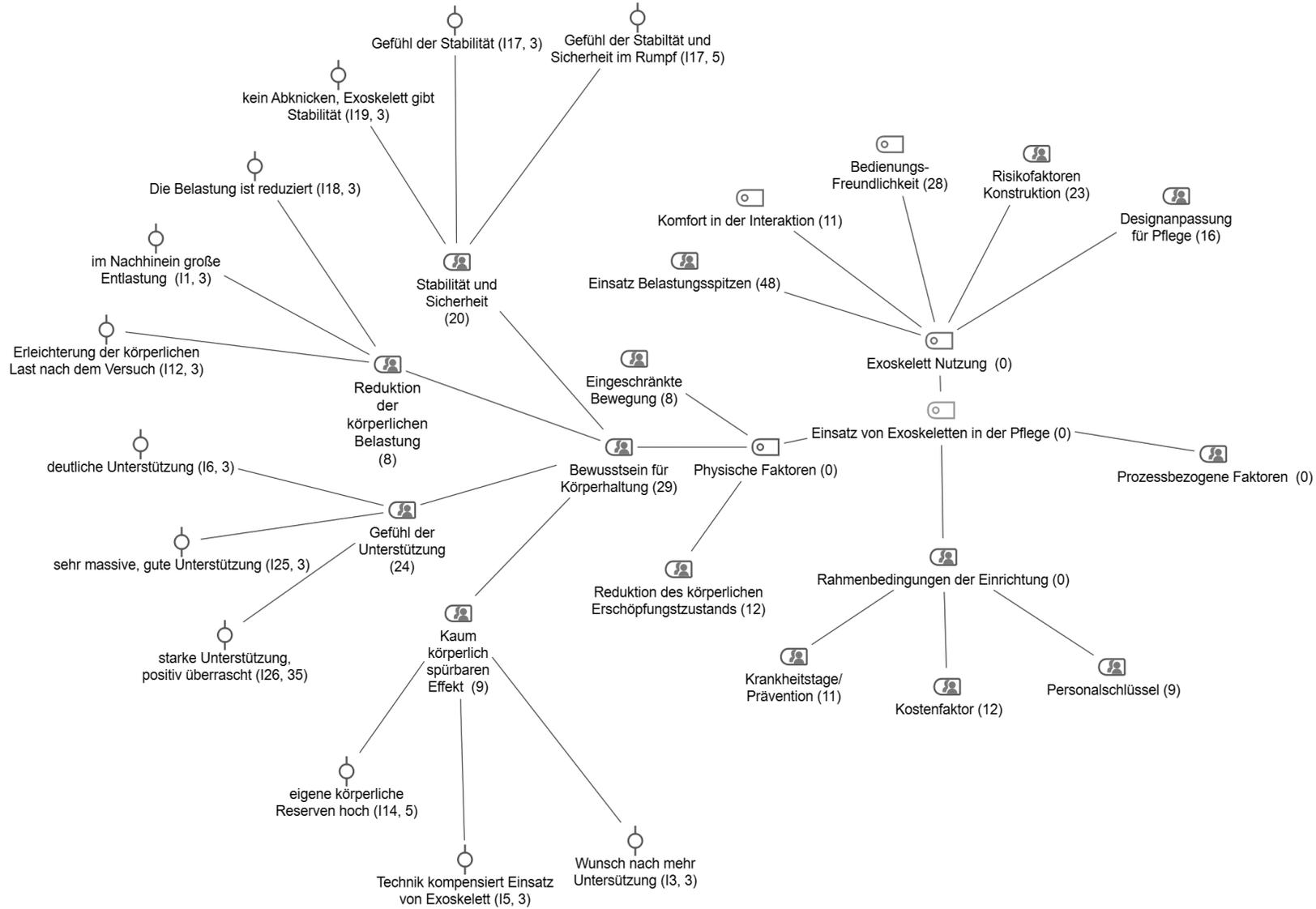


Abbildung 47: Thematic Map, Themen der Ebene 3 des Kategoriensystems 1 von 2

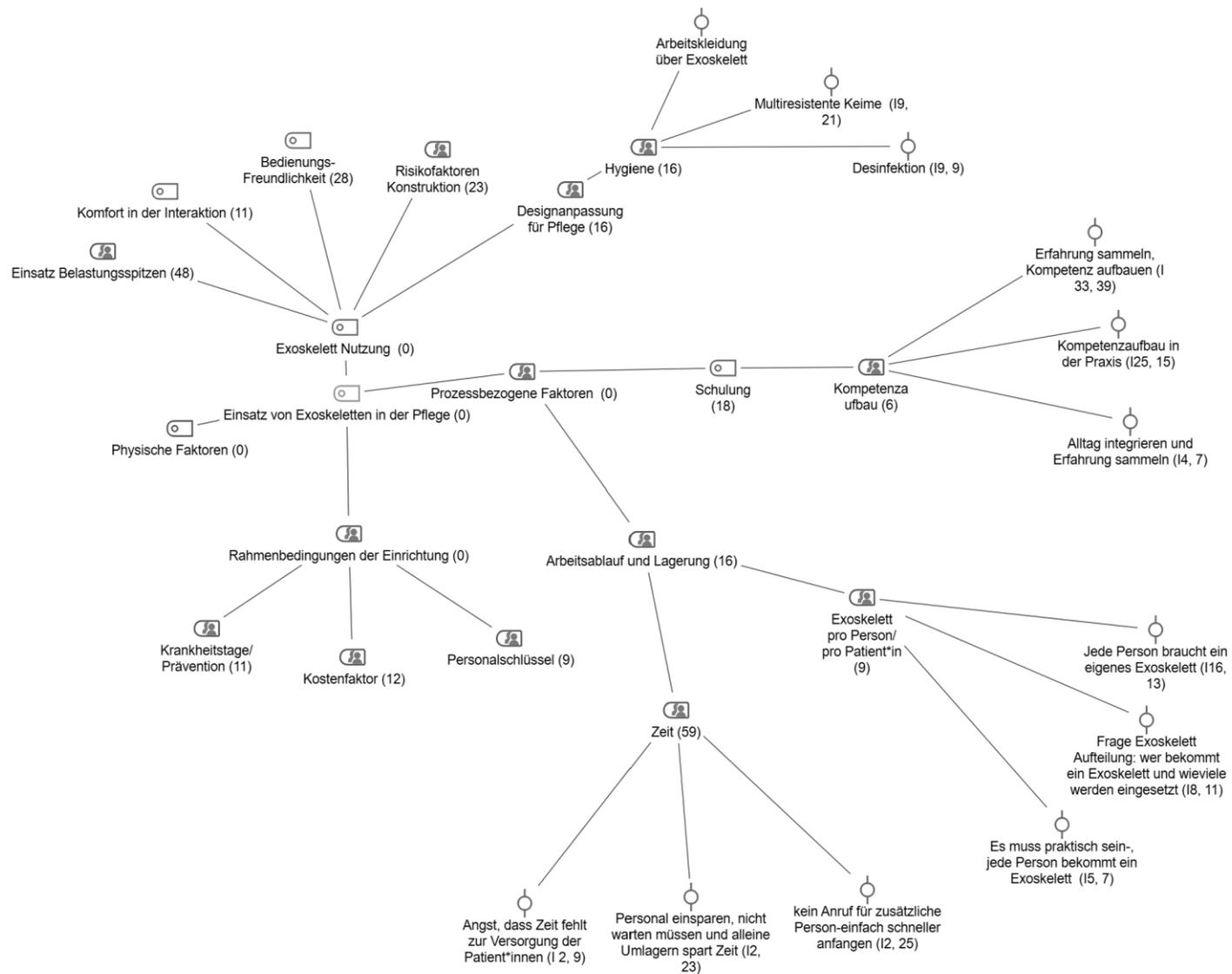


Abbildung 48: Thematic Map, Themen der Ebene 3 des Kategoriensystems 2 von 2

13 Selbstständigkeitserklärung

“Ich, Hanna Brandt geboren am 5.03.1988 in Hildesheim erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.”

Regensburg,

Ort, Datum

Unterschrift