

# Einschätzung von Beschäftigten aus der Pflege zu physischen Belastungen und Akzeptanzfaktoren beim Patiententransfer mittels Exoskelett

H. Brandt<sup>1</sup>  
B. Steinhilber<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultät für Angewandte Gesundheits- und Sozialwissenschaften, Technische Hochschule Rosenheim

<sup>2</sup>Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen

(eingegangen am 25.04.2025, angenommen am 16.06.2025)

## ABSTRACT / ZUSAMMENFASSUNG

### Assessment of nursing staff on physical stress and acceptance factors during patient transfer using an exoskeleton – results of the qualitative part of a mixed-methods study

**Objective:** The study investigates the influence of a back-supporting exoskeleton on physical strain and user acceptance during a patient transfer task among nursing staff. It also identifies key aspects for the implementation of this technology.

**Methods:** This mixed-methods study analysed the physical effects (quantitative part) of a passive back-supporting exoskeleton during a simulated wheelchair-to-bed transfer (33 nursing staff) with exoskeleton (Exo), without exoskeleton (Control), and with exoskeleton without support (Exo-Off). Muscle activity (erector spinae, quadratus lumborum, iliocostalis muscles) was measured using electromyography, posture and hip angle were recorded using inertial sensors and the perception of exertion was assessed using the Borg scale. In an additional qualitative part of the study, guided interviews and subsequent content analysis according to Mayring (2015) and thematic analysis according to Braun and Clarke (2006) were used to enquire about specific requirements, acceptance and implementation factors in nursing care. This article focuses on the qualitative part and the integration of the quantitative and qualitative results which was visualised in a 'joint display'.

**Results:** The exoskeleton significantly reduced perceived exertion and maximum hip flexion, but did not affect average muscle activity. Qualitatively, carers emphasised that they experienced comfort, support, stability and relief with the exoskeleton. Challenges lay in hygiene, comfort in interaction and organisational framework conditions.

**Conclusion:** The subjective benefit of the exoskeleton shows potential for physical relief in patient care. For successful implementation, various factors such as work processes, storage locations of the exoskeletons, walking routes and the development of skills through training must be taken into account and systematically integrated into everyday care routines. Long-term studies are necessary to clarify the effects on musculoskeletal health, acceptance and specific work scenarios.

**Keywords:** back pain – physical work – nursing profession – prevention – load reduction

### Einschätzung von Beschäftigten aus der Pflege zu physischen Belastungen und Akzeptanzfaktoren beim Patiententransfer mittels Exoskelett – Ergebnisse des qualitativen Studienteils einer Mixed-Methods-Studie

**Zielstellung:** Die Studie untersucht den Einfluss eines rückenunterstützenden Exoskeletts auf die physische Belastung und Akzeptanz beim Patiententransfer bei Beschäftigten aus der Pflege. Sie identifiziert zudem Schlüsselaspekte für die Implementierung dieser Technologie.

**Methode:** In einer Mixed-Methods-Studie wurden die physischen Auswirkungen (quantitativer Studienteil) eines passiven rückenunterstützenden Exoskeletts während eines simulierten Rollstuhl-Bett-Transfers (33 Beschäftigte aus der Pflege) mit Exoskelett (Exo), ohne Exoskelett (Kontrolle) und mit Exoskelett ohne Unterstützung (Exo-Off) untersucht. Dabei wurde die Muskelaktivität (M. erector spinae, M. quadratus lumborum, M. iliocostalis) mittels Elektromyographie (oEMG) gemessen, die Hüftwinkel mit Inertialsensoren (XSens) erfasst und das Anstrengungsempfinden mit der Borg CR-10-Skala bewertet. In einem ergänzenden qualitativen Studienteil wurde durch leitfadengestützte Interviews und anschließender Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) und thematischer Analyse nach Braun und Clarke (2006) nach spezifischen Anforderungen, Akzeptanz und Implementierungsfaktoren in der Pflege gefragt. Der Fokus dieses Artikels liegt auf dem qualitativen Studienteil und der Integration der quantitativen und qualitativen Ergebnisse, was mit einem „Joint Display“ visualisiert wurde.

**Ergebnisse:** Das Exoskelett reduzierte signifikant die wahrgenommene Anstrengung und maximale Hüftbeugung, beeinflusste jedoch nicht die durchschnittliche Muskelaktivität. Qualitativ betonten Pflegekräfte, Komfort, Unterstützung, Stabilität und Entlastung durch das Exoskelett erfahren zu haben. Herausforderungen lagen in Hygiene, Komfort in der Interaktion und organisatorischen Rahmenbedingungen.

**Schlussfolgerung:** Der subjektive Nutzen des Exoskeletts zeigt Potenzial für die körperliche Entlastung in der Pflege. Für eine erfolgreiche Implementierung müssen verschiedene Faktoren wie Arbeitsabläufe, Lagerorte der Exoskelette, Laufwege sowie der Kompetenzaufbau durch Schulungen berücksichtigt und systematisch in den Pflegealltag integriert werden. Langzeitstudien sind einerseits notwendig, um den hier dargestellten subjektiven Nutzen anhand objektiver Verfahren und unter realen Pflegebedingungen zu bestätigen und Auswirkungen auf die muskuloskeletale Gesundheit, Akzeptanz und spezifische Arbeitsszenarien zu klären.

**Schlüsselwörter:** Rückenbeschwerden – körperliche Arbeit – Pflegeberuf – Prävention – Arbeitserleichterung

## Einleitung

Der Pflegebereich steht angesichts hoher physischer und psychischer Belastungen vor großen Herausforderungen (Institut DGB-Index Gute Arbeit u. ver.di-Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft 2018). Diese Belastungen, die durch Faktoren wie schwere körperliche Arbeit, Zeitdruck und Personalmangel verstärkt werden, können häufig zu gesundheitlichen Beschwerden wie beispielsweise Kreuzschmerzen führen (Techniker Krankenkasse 2019). Kreuzschmerzen stellen eine der Hauptursachen für Arbeitsunfähigkeit und Berufsunfähigkeit im Pflegeberuf dar, was nicht nur die Beschäftigten in der Pflege, sondern auch das Gesundheitssystem stark beansprucht (Dehl et al. 2024). Auch auf Unternehmensebene wird der Erhalt der Gesundheit von älteren Mitarbeitenden angesichts gesellschaftlicher Herausforderungen immer relevanter (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2024), so dass Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Gesundheit und Arbeitsfähigkeit von Beschäftigten in der Pflege dringend notwendig sind. Vor diesem Hintergrund ist die Suche nach innovativen Ansätzen zur Reduzierung dieser körperlichen Belastungen von zentraler Bedeutung. Eine gegenwärtige Möglichkeit zur Reduktion der physischen Belastung von Pflegefachkräften bei repetitiven pflegerischen Tätigkeiten stellt der Einsatz von Hilfsmitteln wie Gleitmatten, Haltegurten oder Patientenliftern dar (Hein et al. 2016, S. 79f.). Der Gebrauch dieser Hebehilfen ist unter Pflegekräften jedoch häufig umstritten, da sie aus Sicht der Anwendenden den Arbeitsprozess verlangsamen und ihre Handhabung aufgrund des teilweise erheblichen Platzbedarfs als umständlich wahrgenommen wird (Koppelaar et al. 2013, S. 537). Eine potenzielle Alternative sowie technologische Weiterentwicklung dieser traditionellen Hilfsmittel könnten körpernah getragene Unterstützungssysteme, insbesondere exoskelettale Systeme, darstellen. Diese lassen sich flexibler einsetzen, da sie im Vergleich zu beispielsweise stationären Hebevorrichtungen wie einem Lifter deutlich weniger Raum beanspruchen und zugleich durch eine einfache Handhabung gekennzeichnet sind (Elprama et al. 2022).

Der Einsatz von rückenunterstützenden Exoskeletten bei körperlicher Arbeit wird bereits seit einigen Jahren an industriellen Arbeitsplätzen erprobt und wissenschaftlich begleitet; zum Einsatz von Exoskeletten in der Pflege liegen nur wenig Kenntnisse vor. Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken. Im beruflichen Kontext zielen sie darauf ab, Funktionen des Skelett- und Bewegungssystems bei körperlicher Arbeit zu unterstützen (Steinhilber et al. 2020). Rückenunterstützende Exoskelette zeigen großes Potenzial, da sie bei Hebe- und Tragearbeiten im Bereich des unteren Rückens zu einer akuten Entlastung der Wirbelsäule führen können (Bär et al. 2021) und intuitiv und schnell einsetzbar sind. Somit könnte die Anwendung von Exoskeletten zur Unterstützung rückenbelastender Tätigkeiten in der Pflege wesentlich zur Gesundheitsförderung und zum Wohlbefinden von Pflegekräften beitragen.

Neben der rein physischen Wirkweise von Exoskeletten ist jedoch auch die Akzeptanz dieser Technologie durch die Nutzenden ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Implementierung (Elprama et al. 2022; Venkatesh u. Bala 2008; Venkatesh et al. 2003).

## Fragestellung

Die übergeordnete Fragestellung dieser Arbeit untersuchte, wie der Einsatz eines passiven rückenunterstützenden Exoskeletts bei Be-

schäftigten in der Pflege die physische Belastung beeinflusst, welche Akzeptanz damit verbunden ist und welche Faktoren für eine erfolgreiche Implementierung dieser Technologie entscheidend sind.

## Methode

Die vorliegende qualitative Studie ist Teil einer Mixed-Methods-Studie bei der ein paralleles, eingebettetes („embedded“) Mixed-Methods-Design gewählt wurde (QUAN->qual) (Creswell u. Clark 2010, S. 10; Greene et al. 1989, S. 271). Die primären Forschungsdaten (quantitativer Studienteil) sollten dabei durch sekundäre Forschungsdaten der leitfadengestützten Interviews (qualitativer Studienteil) komplementiert werden und dienen zusätzlich zur Erweiterung der Erkenntnisse (Greene u. Caracelli 1997, S. 14) in Bezug auf die Aspekte der Akzeptanz und Implementierung und in Bezug auf die physische Wirkung von Exoskeletten in der Pflege (Greene et al. 1989, S. 271f.).

Im vorliegenden Artikel wird der Fokus auf den qualitativen Studienteil gelegt und lediglich auf die Hauptergebnisse des quantitativen Studienteils verwiesen. Eine detaillierte Darstellung der quantitativen Ergebnisse wurde bereits veröffentlicht (Brandt 2024).

An der Studie nahmen 33 Pflegenden (22 Frauen, 11 Männer; Durchschnittsalter  $37 \pm 12,66$  Jahre) teil, die mittels Flyer, E-Mails und direkter Ansprache von Pflegeeinrichtungen und Kliniken rekrutiert wurden. 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/m<sup>2</sup>), keine medizinisch diagnostizierten oder aktuellen unteren Rückenschmerzen und keine neurologischen Symptome oder Erkrankungen.

Sämtliche Daten wurden pseudonymisiert aufgezeichnet und gespeichert. Die Speicherung erfolgte auf einem passwort- und zugriffsgeschützten Server der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg, zu denen nur die Forscherin (Erstautorin) und die Betreuenden Zugriff hatten. Personenbezogene Daten (insbesondere 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 dienten einzig zur Kontakttierung der Testpersonen für das Member-Checking (Flick 2010, S. 401) vor der Datenauswertung der leitfadengestützten Interviews. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt (Nummer: 20-2134-101), im Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS00030006) registriert und basierte auf den Leitlinien der Guten Klinischen Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2019).

Im quantitativen Studienteil wurden die Muskelaktivität, der Hüftwinkel sowie die subjektive körperliche Anstrengung bei einem simulierten Patiententransfer erhoben. Zur Messung der Muskelaktivität wurde ein kabelloses System verwendet (Trigno™ Wireless System, Delsys Inc., Natick, MA, USA) und die Elektroden wurden gemäß den SENIAM-Empfehlungen (Hermens et al. 2000) bilateral im Abstand von mindestens 2 cm im Lumbalbereich (M. erector spinae, M. quadratus lumborum, M. iliocostalis) platziert. In Anlehnung an die Empfehlungen von Maddox et al. (2022) wurden die Daten auf Basis der maximalen Muskelaktivität unter der Aufgabe normalisiert. Der Hüftwinkel wurde beidseits mittels Inertialsensoren (XSens MVN Awinda; Xsens Technologies BV, Enschede, Netherlands) erfasst. Weder bei den Inertialsensoren noch bei den EMG-Elektroden

kam es zu Interferenzen mit dem Exoskelett. Die Sensoren wurden an anatomischen Landmarken laut Paulich et al. (2018) angebracht, wobei das Anlegen des Exoskeletts zu keiner Beeinflussung der Sensorposition beigetragen hat. Zur Erhebung der subjektiven körperlichen Anstrengung wurde die Borg-CR-10-Skala genutzt (Borg 1990). Die Stichprobengröße basierte auf dem quantitativen Teil und wurde a priori (ANOVA: wiederholte Messungen, innerhalb von Faktoren) mit G\*Power (Faul et al. 2007) berechnet, wobei eine mittlere Effektgröße ( $F=0,25$ ) für die Messgröße der oEMG-Aktivität, Hüftgelenkwinkel und das subjektive Belastungsempfinden sowie ein Alphaniveau von 0,05 mit 80 % Power ( $\beta=0,8$ ) angenommen wurde.

Im qualitativen Studienteil wurde mit allen 33 Pflegekräften im Anschluss an den simulierten Patiententransfer ein leitfadengestütztes Interview geführt. Die Interviews wurden per Audioaufnahme aufgezeichnet und anschließend in Anlehnung an Dresing und Pehl (2018) wörtlich transkribiert. Die Analyse der Transkripte erfolgt mit dem Programm MAXQDA (VERBI Software 2022). Die Reihenfolge der Fragen des halbstandardisierten Leitfadens erfolgte in Anlehnung an Gläser u. Laudel (2012), der Aufbau orientierte sich an Mummendey (1987). Im Vorfeld der Interviews wurden zwei Pretests zur Überarbeitung des Leitfadens durchgeführt (Scholl 2018, S. 183f.). Die Auswertung der Interview-Transkripte erfolgte mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) und wurde, im Sinne eines Mixed-Methods-Ansatzes, mit den Schritten der thematischen Analyse nach Braun u. Clarke (2006) kombiniert. Anschließend wurden systematisch Kategorien gebildet (Mayring 2015) und durch eine thematische Exploration ergänzt (Braun u. Clarke 2006). Die Auswertung erfolgte kategoriengeleitet (Mayring 2015), wodurch sich die Struktur des „Codesystems“ ergab, das alle Kategorien abbildet und Textstellen als Codes den Kategorien zuordnet. Die Zuordnung erfolgte anhand eines Codierleitfadens, das Datenmaterial wurde deduktiv-induktiv analysiert. Zur Prüfung der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit wurden zwei Interviews unter Anwendung des Leitfadens zweifachcodiert. Als Maß zur Bestimmung der Intercoder-Reliabilität wurde Cohens Kappa herangezogen (Landis u. Koch 1977). Die Interviews fanden im Anschluss an die quantitative Datenerhebung der Transfers mit und ohne Exoskelett statt und orientierten sich dabei an der „COREQ Guideline“ zur Berichterstattung von qualitativen Studien (Tong et al. 2007). Die Integration der quantitativen und qualitativen Ergebnisse, auch als Meta-Interferenz bezeichnet (Teddlie u. Tashakkori 2009, S. 152), wurde in einem „Joint Display“ (s. Abb. 2) visualisiert (Creswell u. Clark 2010; Guetterman et al. 2015). Das „Joint Display“ wurde nach 14 Kriterien von Fetters u. Guetterman (2021, S. 260) erstellt. Diese Methode ermöglichte eine systematische Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Studienansätze (quantitativer und qualitativer Studienteil) und förderte ein ganzheitliches Verständnis der Wirksamkeit und Akzeptanz von rückenunterstützenden Exoskeletten bei Beschäftigten in der Pflege.

### Tätigkeitssimulation – Transfer vom Rollstuhl ins Bett

In einer Laborumgebung wurden drei Wiederholungen eines Patiententransfers vom Rollstuhl auf eine Liege und wieder zurück in den Rollstuhl unter drei Versuchsbedingungen durchgeführt. Einmal ohne Exoskelett (Kontrolle), einmal mit rückenunterstützendem Exoskelett (Exo) und einmal mit rückenunterstützendem Exoskelett, jedoch mit ausgeschalteter Unterstützungsfunktion (Exo-Off). Während den drei Versuchsbedingungen wurden die Muskelaktivität und der Hüftwin-

kel kontinuierlich gemessen. Im Anschluss an jede Versuchsbedingung wurde die körperliche Anstrengung mit der Borg-Skala erfragt. Alle Versuche wurden pro Versuchsperson an einem Tag mit einer reinen Versuchsdauer von etwa zwei Stunden durchgeführt. Das Exoskelett wurde individuell angepasst und eingestellt, und die Probandinnen und Probanden hatten 10 Minuten Zeit, sich mit dem Exoskelett und der experimentellen Aufgabe vertraut zu machen. Bei der Aufgabe wurde eine Dummy-Puppe (45 kg) bewegt, und umfasste sechs Bewegungen: (1) Greifen des Dummys 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 in den Rollstuhl unter Drehung des gesamten Körpers um 90° nach rechts; (6) Absetzen des Dummys mit Hüft- und Kniebeugung.

### Exoskelett

In dieser Studie wurde das Paexo Back Exoskelett von Ottobock® (Duderstadt, Deutschland) verwendet. Dieses passive Exoskelett ist kommerziell erhältlich und wurde zur Unterstützung von Arbeiterinnen und Arbeitern in der Logistik- und Lagerbranche entwickelt (Ottobock). Die Rumpfunterstützung wird durch zwei starre Stangen (Torsostrukturen) und zwei seitlich an den Oberschenkeln angebrachten Expander bereitgestellt. Die längenverstellbaren Rumpfstrukturen sind verbunden mit einem Brustpolster und einem Hüftgurt, die über Klettverschlüsse individuell an die Proportionen der Probanden angepasst werden können. Die Unterstützung durch das Exoskelett beträgt maximal 45 Nm und wird bei einem Hüftbeugewinkel von ca. 60° erreicht.

### Ergebnisse

#### Zusammenfassung der quantitativen Ergebnisse

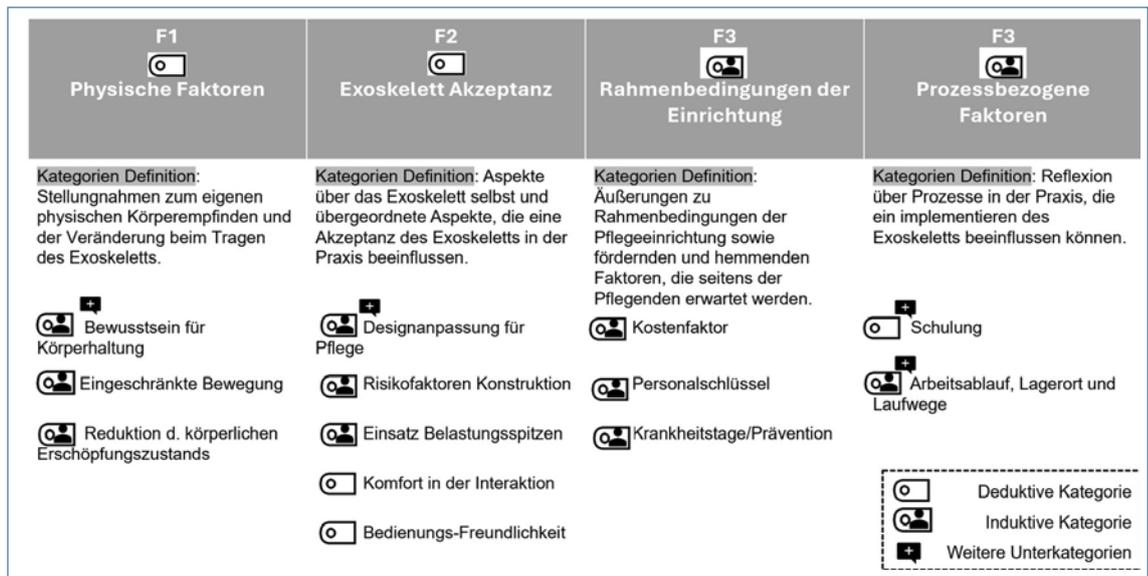
**Muskelaktivität.** Es zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p>0,05$ ) in der Muskelaktivität (M. erector spinae, M. quadratus lumborum, M. iliocostalis) zwischen den drei Versuchsbedingungen.

**Hüftflexionswinkel.** Es wurden statistisch signifikant geringere maximale Hüftwinkel (ca. 7° geringer,  $p<0,05$ ) erreicht, wenn das rückenunterstützende Exoskelett getragen wurde und die Unterstützungsfunktion eingeschaltet war. Wenn das Exoskelett getragen wurde, die Unterstützung jedoch deaktiviert war, kam es zu keinem veränderten Bewegungsverhalten.

**Körperliche Anstrengung.** Die wahrgenommene körperliche Anstrengung (0- bis 10-Skala) wurde von den 33 Studienteilnehmenden bei Verwendung des Exoskeletts mit eingeschalteter Unterstützung um ca. 2 Punkte geringer bewertet als ohne Exoskelett oder mit Exoskelett bei ausgeschalteter Unterstützungsfunktion. In beiden Fällen war der Unterschied statistisch signifikant ( $p<0,05$ ) und es lag ein starker Effekt vor (Eta-Quadrat,  $\eta^2p \geq 0,26$ ). Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der wahrgenommenen körperlichen Anstrengung zwischen den Bedingungen EXO-Off und Kontrolle ( $p>0,05$ ).

#### Qualitative Ergebnisse

Die Analyse der 33 Interviews ergab drei zentrale Themenschwerpunkte (Code-System; ➔ **Abb. 1**): physische Faktoren (1), Exoskelett-



**Abb. 1:** Themenschwerpunkte (Code-System) der qualitativen Ergebnisse der Studie (Brandt 2024)  
 Fig. 1: Key topics of (Code system) of the qualitative results of the study (Brandt 2024)

Akzeptanz (2), Rahmenbedingungen der Einrichtung und prozessbezogene Faktoren (3). Dieselben Kategorien wurden durch eine weitere Codiererin bestätigt, wobei der Kappa-Wert bei 0,68 ( $K = 0,84-0,5/0,5-1$ ) lag und gemäß der Klassifikation nach Landis und Koch als solide (0,61–0,80) einzuordnen ist.

**Themenschwerpunkt 1: Physische Faktoren (110 Codes)**

Die qualitative Analyse der Interviews verdeutlicht, dass der Einsatz von Exoskeletten im pflegerischen Kontext zu einer erhöhten Körperwahrnehmung führt. Mehrere Befragte beschrieben eine gesteigerte Achtsamkeit gegenüber ihrer eigenen Körperhaltung, die durch das Tragen des Exoskeletts angeregt werde. Dies äußerte sich insbesondere in einer aufrechteren Haltung und dem Eindruck einer ergonomischeren Arbeitsweise, vor allem bei Tätigkeiten, die mit dem Heben schwerer Lasten verbunden sind. In diesem Zusammenhang wurde die Unterstützung des Rückens als ein zentraler positiver Effekt benannt (I16, Pos. 9; I14, Pos. 9; I3, Pos. 25).

Ein weiterer thematischer Schwerpunkt lag auf dem subjektiv wahrgenommenen Gefühl körperlicher Unterstützung. Das Exoskelett wurde von vielen als entlastendes Hilfsmittel während körperlich belastender Tätigkeiten wie dem Transfer von Patientinnen und Patienten beschrieben. Es wurde als ein potenzieller Beitrag zur Reduktion physischer Belastungen im pflegerischen Alltag bewertet (I26, Pos. 35; I24, Pos. 19; I25, Pos. 3; I29, Pos. 21).

Gleichzeitig zeigten die Ergebnisse eine differenzierte Wahrnehmung hinsichtlich der Wirksamkeit. Einige Beschäftigte gaben an, nur geringe oder keine spürbare Entlastung durch das Exoskelett erfahren zu haben. Als mögliche Einflussfaktoren wurden eine bereits ausgeprägte körperliche Fitness (I12, Pos. 3), eine effektive Hebetechnik (I31, Pos. 5) sowie möglicherweise zu hohe Erwartungen an das Hilfsmittel benannt (I28, Pos. 15).

Ein zentrales Ergebnis stellt das von mehreren Teilnehmenden beschriebene Sicherheits- und Stabilitätsgefühl dar. Das Exoskelett vermittelte ihnen eine subjektiv stabilere Körperhaltung sowie eine verbesserte Rückenunterstützung, was im Arbeitsalltag als förderlich für das persönliche Sicherheitsempfinden und die Prävention körperlicher Überlastung wahrgenommen wurde. In diesem Zusammen-

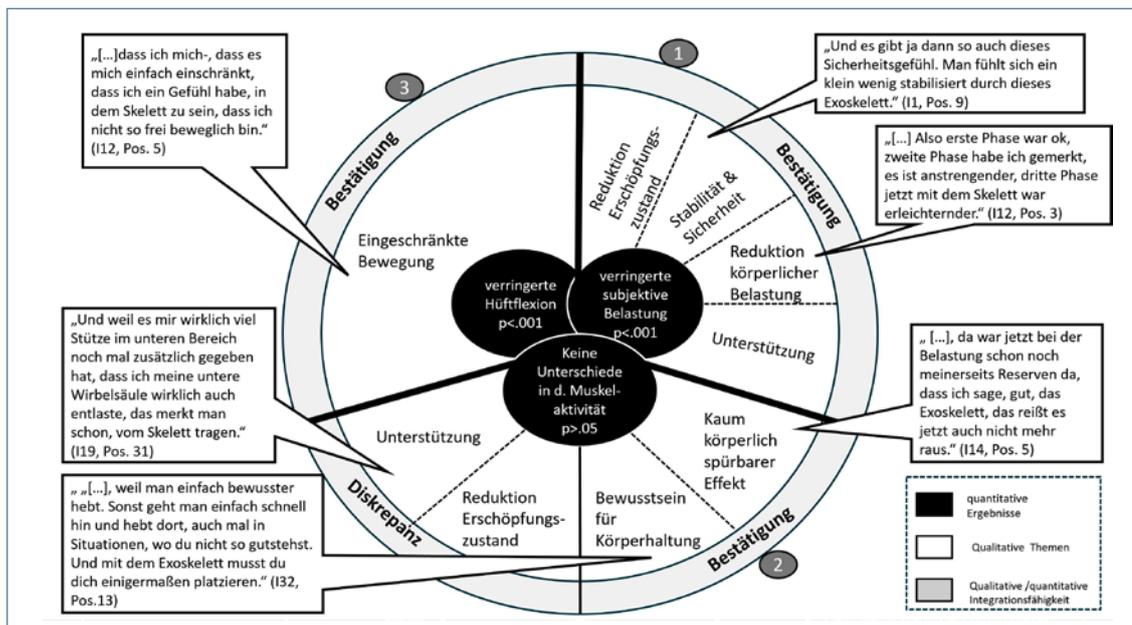
hang wurde auch eine reduzierte Angst vor Verletzungen thematisiert (I13, Pos. 15; I1, Pos. 9; I16, Pos. 3).

Darüber hinaus wurden Einschränkungen thematisiert: Einzelne Befragte beschrieben eine als störend empfundene Einschränkung der Bewegungsfreiheit, insbesondere beim Gehen. Diese Erfahrung führte in einigen Fällen zu einer ambivalenten oder skeptischen Haltung gegenüber dem dauerhaften Einsatz des Exoskeletts (I5, Pos. 5; I24, Pos. 5; I31, Pos. 13).

**Integration der Ergebnisse**

Die Integration der quantitativen und qualitativen Ergebnisse, auch als Meta-Interferenz bezeichnet (Teddlie u. Tashakkori 2009, S. 152), wurde in einem „Joint Display“ (→ **Abb. 2**) visualisiert (Creswell u. Clark 2010; Guetterman et al. 2015). Die Ergebnisse der quantitativen Untersuchung zur Muskelaktivität stehen teilweise im Widerspruch zu den qualitativen Ergebnissen der Beschäftigten in der Pflege, die einerseits angaben, sich kaum unterstützt zu fühlen, andererseits jedoch eine Reduktion ihres Erschöpfungszustands sowie eine gewisse Entlastung wahrnahmen. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte in der Sensibilisierung für die eigene Körperhaltung und der langjährigen Berufserfahrung (>3 Jahre) der Beschäftigten in der Pflege liegen, die zu harmonisierten Bewegungsabläufen führen und so eine geringere Muskelaktivität, auch ohne Exoskelett, erklären könnten. Diese Faktoren könnten somit die quantitativen Ergebnisse der Studie bestätigen. Gleichzeitig wurde jedoch eine subjektiv wahrgenommene Unterstützung berichtet, was den quantitativen Erkenntnissen der EMG-Messungen widerspricht.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Muskelaktivität konnten beim maximalen Hüftbeugewinkel signifikante Unterschiede festgestellt werden. Kontrolle vs. Exo ( $p < 0,05$ ) und Exo vs. Exo-Off ( $p < 0,05$ ). Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen maximaler Hüftbeugung Kontrolle und Exo-Off ( $p > 0,05$ ). Diese Ergebnisse wurden durch die subjektive Wahrnehmung der Beschäftigten gestützt, da sie während des Tragens des Exoskeletts eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit angegeben haben. Dies deutet darauf hin, dass das Exoskelett mit einer geringeren Hüftbeugung assoziiert ist und zu einer Veränderung des Bewegungsverhaltens führt.



**Abb. 2:** Joint Display zur Darstellung der Integration von quantitativen und qualitativen Ergebnissen der Studie (Brandt 2024)

Fig. 2: Joint Display showing the integration of quantitative and qualitative results of the study (Brandt 2024)

Die unterschiedliche Wahrnehmung der physischen Entlastung durch die Beschäftigten in der Pflege legt nahe, dass Exoskelette keine universelle Lösung darstellen, sondern individuell unterschiedlich wahrgenommen werden.

## Erweiterung der Erkenntnisse zur Akzeptanz und Implementierung von Exoskeletten

### Themenschwerpunkt 2: Exoskelett-Akzeptanz (142 Codes)

Weiterhin wurde die Akzeptanz des Exoskeletts untersucht, die in zwei deduktive und drei induktive Kategorien unterteilt wurden. Die deduktiven Kategorien basieren auf dem „Technology Acceptance Model“ (TAM3) und beinhalten Bedienungsfreundlichkeit sowie Komfort in der Interaktion. Die induktiven Kategorien entwickelten sich aus den Interviews und umfassen Designanpassung für Pflege, Hygiene, Risikofaktoren Konstruktion und Einsatz in punktuellen Belastungssituationen (→ Abb. 3).

**Bedienungsfreundlichkeit.** Die einfache Handhabung und das unkomplizierte An- und Ablegen wurden von den Befragten positiv bewertet. Die Nutzung des Exoskeletts im Arbeitsalltag erscheint ihnen vorstellbar, insbesondere wenn es schnell angelegt werden kann. Allerdings besteht der Wunsch nach einer weiteren Optimierung, um die Integration in den Arbeitsprozess zu erleichtern (I3, Pos. 11; I9, Pos. 9; I16, Pos. 7).

**Komfort in der Interaktion.** Das Komfortempfinden variiert: Kurzzeitiges Tragen wurde als angenehm empfunden, langfristiges Tragen hingegen könnte durch vermehrtes Schwitzen und Bewegungseinschränkungen unangenehm werden. Einige Befragte wünschten sich eine „Zweite-Haut“-Passform (I25, Pos. 3; I30, Pos. 7).

**Designanpassung für Pflege.** Pflegenden wiesen auf spezifische Designanpassungen hin:

- kompakter, körperbetonter Schnitt (I15, Pos. 3),

- Griff zum Festhalten für Patient\*innen (I1, Pos. 17),
- reduziertes Gewicht und geringerer Umfang (I23, Pos. 37).

Zudem erschweren enge Räume in Kliniken die Nutzung, und in Notfallsituationen wie Reanimation könnte das Exoskelett hinderlich sein (I30, Pos. 17; I31, Pos. 21; I33, Pos. 41).

**Hygiene.** Aufgrund des engen Körperkontakts muss das Exoskelett gut desinfizierbar sein, insbesondere bei isolierten oder infizierten Patientinnen und Patienten. Die Reinigung mit Desinfektionsmitteln könnte Materialprobleme verursachen, was eine weitere Anpassung notwendig macht (I32, Pos. 29; I22, Pos. 29; I9, Pos. 21).

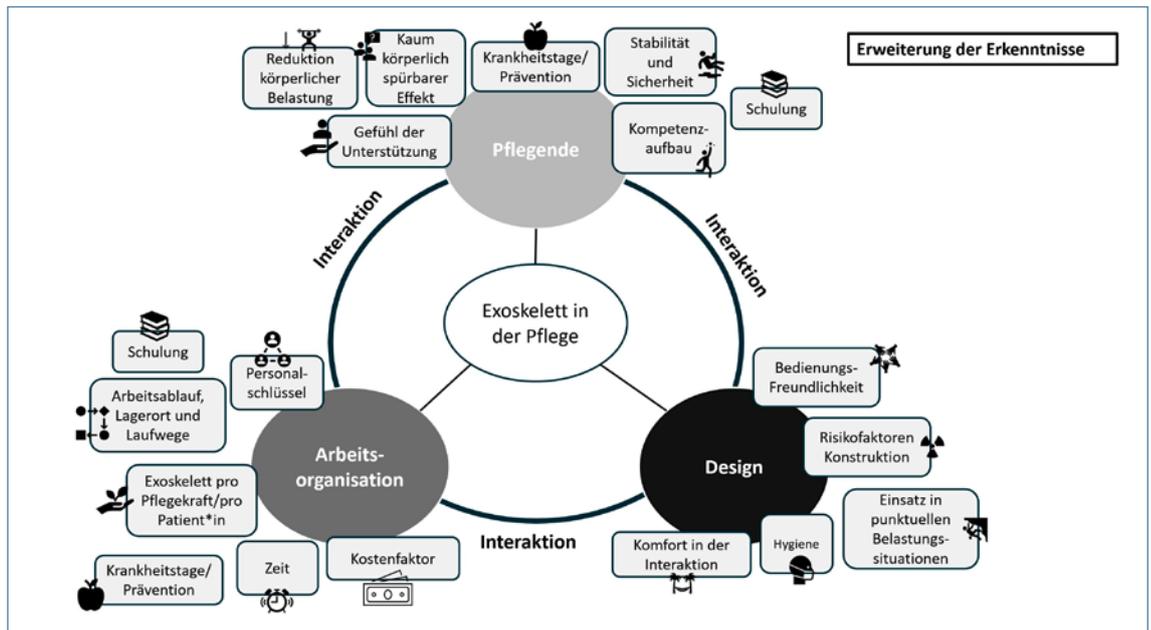
**Risikofaktoren Konstruktion.** Es wurden Risiken identifiziert, darunter:

- Kabel oder Drainagen könnten durch das Exoskelett versehentlich herausgezogen werden (I11, Pos. 17; I2, Pos. 23),
- Klemmgefahren und Verletzungsrisiken für Patientinnen und Patienten (I7, Pos. 25; I6, Pos. 21),
- besondere Herausforderungen bei der Interaktion mit Menschen mit Demenz (I12, Pos. 25; I13, Pos. 19).

**Einsatz in punktuellen Belastungssituationen.** In Situationen, in denen die Belastungsspitzen besonders hoch sind und sich über einen längeren Zeitraum erstrecken oder körperlich besonders anspruchsvoll sind, kann ein Exoskelett eine große Hilfe darstellen, insbesondere bei

- Mobilisation und Transfer von Patientinnen und Patienten (I32, Pos. 31),
- langem, vorgeneigtem Stehen, z. B. in der OP-Pflege (I31, Pos. 23),
- Wechsel von schweren Dialysebeuteln (I16, Pos. 19).

Die Befragten sehen Potenzial in der Entlastung bei körperlich anspruchsvollen Tätigkeiten, wobei insbesondere die Flexibilität und einfache Handhabung entscheidend sind (I5, Pos. 3; I9, Pos. 9).



**Abb. 3:** Erweiterung der Erkenntnisse; Wechselwirkung Pflege, Arbeitsorganisation und Design von Exoskeletten in der Pflege (Brandt 2024)

*Fig. 3: Expansion of findings; interaction between carers, work organisation and design of exoskeletons in care (Brandt 2024)*

### Themenschwerpunkt 3: Rahmenbedingungen der Einrichtung und prozessbezogene Faktoren

#### Rahmenbedingungen der Einrichtung (32 Codes)

Im Rahmen der Interviews wurden Aspekte der Implementierung von Exoskeletten untersucht, wobei sich die induktive Oberkategorie der Rahmenbedingungen der Einrichtung ableiten ließ. Die Oberkategorie wurde in die Unterkategorien Kostenfaktor, Personalschlüssel und Krankheitstage/Prävention unterteilt.

**Kostenfaktor.** Einige Befragte sehen die Kosten von Exoskeletten als gerechtfertigt im Vergleich zu anderen Hebehilfen und bejahen eine Investition (I13, Pos. 27; I26, Pos. 35). Andere sind skeptischer und betonen, dass die Entscheidung letztlich bei der Geschäftsleitung liegt, die vor einer hohen finanziellen Belastung steht. Zudem wird kritisiert, dass in der Pflege generell gespart wird und finanzielle Mittel für Personalaufstockung fehlen (I25, Pos. 25; I11, Pos. 23).

**Personalschlüssel.** Die Befragten diskutieren den Einsatz von Exoskeletten im Kontext des Personalmangels. Besonders in Nachtschichten könnten Exoskelette eine wertvolle Unterstützung bieten, wenn Pflegekräfte allein arbeiten (I25, Pos. 13; I26, Pos. 35). Die Anschaffung hängt jedoch von der Relation zwischen Pflegekräften und Patientinnen/Patienten ab. Einige halten es für ineffizient, wenn eine zweite Person schneller helfen kann als das Exoskelett anzulegen (I3, Pos. 21, I2, Pos. 21).

**Krankentage/Prävention.** Mehrere Befragte betonen den potenziellen gesundheitlichen Nutzen von Exoskeletten, insbesondere zur Reduzierung von Rückenschmerzen (I7, Pos. 27). Dies könnte Fehlzeiten senken und die langfristige Arbeitsfähigkeit von Pflegekräften sichern. Exoskelette werden als Chance gesehen, gesundheitsschädigende „Hauruck-Aktionen“ zu vermeiden (I1, Pos. 25). Besonders für Pflegekräfte mit bestehenden Beschwerden könnten sie eine sinnvolle Investition sein (I1, Pos. 21).

#### Prozessbezogene Faktoren (109 Codes)

Die induktive Oberkategorie, prozessbezogene Faktoren, differenziert sich in die Unterkategorien: Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege; Exoskelett-Verteilung pro Beschäftigte; Zeit; Schulung und Kompetenzaufbau.

**Arbeitsablauf, Lagerort und Laufwege.** Die Befragten heben hervor, dass die Integration eines Exoskeletts in den Arbeitsablauf gut durchdacht sein muss. Zentral sind dabei die Aspekte Lagerung und Laufwege. Es wird betont, dass das Exoskelett möglichst nah und schnell verfügbar sein muss, um Hemmschwellen in der Nutzung zu reduzieren. Veränderungen in bestehenden Arbeitsprozessen und deren kulturelle Verankerung in der Organisation werden als essenziell angesehen (I32, Pos. 27; I14, Pos. 15; I19, Pos. 23). Während einige befürchten, dass das Exoskelett den Arbeitsfluss verlangsamt, glauben andere, dass eine regelmäßige Nutzung zu einer Effizienzsteigerung führen kann (I20, Pos. 17; I17, Pos. 13). Ein zentrales Problem stellt der begrenzte Platz in Kliniken dar, insbesondere in Umkleieräumen, was die Lagerung erschwert (I1, Pos. 19).

#### Exoskelett-Verteilung pro Beschäftigte/pro Patientin und Patient.

Die Verteilung der Exoskelette ist ein wichtiges Thema. Einige Befragte plädieren dafür, dass jede Beschäftigte in der Pflege ihr eigenes Exoskelett haben sollte, um eine durchgängige Nutzung zu ermöglichen und Wartezeiten zu vermeiden (I19, Pos. 19; I17, Pos. 15).

**Zeit.** Die Zeitdimension wird in drei Kategorien unterteilt:

1. **Erhöhter Zeitdruck:** Der zusätzliche Aufwand für An- und Ablegen könnte den Arbeitsdruck erhöhen. Einige Pflegenden verzichten aus Zeitmangel bewusst auf ergonomische Hebetekniken (I18, Pos. 31; I28, Pos. 27; I39, Pos. 9), „weil das Hochfahren vom Bett Zeit nimmt“ (I8, Pos. 25).
2. **Strategische Zeitinvestition:** Eine bewusste Einführung und Nutzung des Exoskeletts könnte langfristig die Arbeitsqualität verbessern. Eine durchdachte Planung und Integration in den

Arbeitsablauf werden als entscheidend angesehen (I33, Pos. 25; I30, Pos. 11; I33, Pos. 25; I30, Pos. 11).

3. *Zeitersparnis*: Einige Befragte sehen das Exoskelett als Zeiterparnis, da sie weniger Unterstützung durch Kolleginnen und Kollegen benötigen. Verglichen mit Hebeliftern könnte der Einsatz des Exoskeletts effizienter sein (I2, Pos. 25; I9, Pos. 21; I24, Pos. 21; I21, Pos. 11).

**Schulung und Kompetenzaufbau.** Die Schulung des Personals spielt eine zentrale Rolle für die erfolgreiche Einführung. Eine gezielte Schulung kann Hemmungen abbauen und die Akzeptanz fördern. Gleichzeitig betonen die Befragten, dass praktische Erfahrung essenziell ist, um Sicherheit im Umgang mit dem Exoskelett zu gewinnen (I33, Pos. 39; I25, Pos. 25; I4, Pos. 7). Langfristige und regelmäßige Nutzung könnten helfen, das Exoskelett in den Arbeitsalltag zu integrieren und Akzeptanzprobleme zu reduzieren (I19, Pos. 25; I26, Pos. 15; I16, Pos. 13).

## Diskussion

### Physische Entlastung

Viele Studien konnten durch die Anwendung von rückenunterstützenden Exoskeletten für die Industrie, eine klare Reduktion der physischen Beanspruchung feststellen (Bosch et al. 2016; Kim et al. 2020; Koopman et al. 2019; Ulrey u. Fathallah 2013).

Pflegekräfte sind durch repetitive Bewegungen und schweres Heben einem erhöhten Risiko für chronische Schmerzen und Verletzungen ausgesetzt (Glaser u. Höge 2005; Rothgang et al. 2020; Techniker Krankenkasse 2019), dabei könnten Exoskelette durch ihre mechanische Unterstützung die Belastung der Wirbelsäule und Gelenke verringern (Bosch et al. 2016; Kim et al. 2020), jedoch wurde ihr subjektives Tragegefühl in der Pflege bislang kaum untersucht.

Die Erkenntnisse aus der aktuellen Studie zeigen, dass Exoskelette bei Beschäftigten in der Pflege ein Gefühl der Unterstützung (1), Stabilität und Sicherheit (2) sowie eine gesteigerte Sensibilität für die eigene Körperhaltung erzeugen können. In Wechselwirkung kann dies zu einer empfundenen Reduktion der körperlichen Belastung (3) führen. Mehrere Befragte gaben an, sich der langfristigen Folgen von schwerem Heben nicht bewusst zu sein und ihre körperlichen Ressourcen oft zu überschätzen. Hoppe u. Roth (2020 S. 69) erklären diese Überforderung mit den hohen Arbeitsanforderungen in der Pflege.

Dies verweist auf den breiteren ergonomischen Diskurs über das gesundheitsschützende Potenzial von Exoskeletten. Während passive Exoskelette wahrscheinlich zur Reduktion der körperlichen Belastung des Rückens beitragen (Bosch et al. 2016; Koopman et al. 2019), bleibt weiterhin unklar, ob sie tatsächlich ein wirksames Mittel zur Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen wie Rückenschmerzen darstellen. Dies liegt unter anderem daran, dass der Einsatz von Exoskeletten von einer Vielzahl an arbeitsplatzspezifischen Faktoren abhängt (Steinhilber et al. 2020). In dieser Studie wurden verschiedene Anforderungen an die Gestaltung eines Exoskeletts für den Pflegebereich beleuchtet. Dabei wurde deutlich, dass die Art und Abfolge der Arbeitsaufgaben sowie die spezifische Unterstützungsfunktion des Exoskeletts eine entscheidende Rolle für dessen Effektivität spielen. Ähnliche Überlegungen wurden auch für den industriellen Kontext beschrieben (Alabdulkarim u. Nussbaum 2019; Theurel u. Desbrosses 2019).

Die vorliegende Studie zeigt zudem, dass durch Hektik, Zeitmangel und Stress das Körperbewusstsein im Pflegealltag verloren geht. Gleichzeitig könnte das Exoskelett dazu beitragen, das Bewusstsein für den eigenen Körper und mögliche Überlastungen zu erhöhen. Dies könnte langfristig nicht nur die Akzeptanz von Hilfsmitteln wie Exoskeletten fördern, sondern auch zu weniger Fehlzeiten aufgrund von Muskel-Skelett-Erkrankungen führen.

Die subjektiven Ergebnisse des quantitativen Studienteils zeigen, dass rückenunterstützende Exoskelette die allgemein wahrgenommene physische Anstrengung der Beschäftigten verringern (ca. 2 Punkte Reduktion auf der Borg-CR10-Skala) können. Diese Ergebnisse sind konsistent mit Studien aus der Industrie, die ebenfalls eine Reduktion der körperlichen Belastung durch Exoskelette dokumentieren (Bosch et al. 2016; Koopman et al. 2019). Dabei sollten primär alle in der Pflege bereits vorhandenen technischen und organisatorischen Maßnahmen ergriffen werden, wie beispielsweise Rutschbretter und elektrisch höhenverstellbare Betten. Zusätzlich sollten die Beschäftigten durch die Kombination einer körpernahen Unterstützung mit einem rückenunterstützenden Exoskelett entlastet werden. In diesem Zusammenhang sollten Schulungen, als Arbeitsschutzmaßnahmen, eine noch größere Rolle einnehmen. Dennoch bleibt die Frage offen, inwieweit diese Entlastung langfristig zur Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen beiträgt, da unterschiedliche Aspekte beim Einsatz von rückenunterstützenden Exoskeletten im beruflichen Kontext eine Rolle spielen (Steinhilber et al. 2020). Weitere Langzeitstudien sind notwendig, um diese Frage zu klären.

### Technologieakzeptanz

Die Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege hängt von Faktoren wie Praktikabilität, Komfort und Sicherheit ab. Benutzerfreundlichkeit und eine intuitive Bedienung fördern die Akzeptanz (Riemer u. Wischniewski 2023). Eine zentrale Herausforderung stellt die Anpassung der Exoskelette an die Körpergröße dar, die von Beschäftigten in der Pflege als zeitaufwendig empfunden wird. Die Befragten wünschen sich entweder eigene Exoskelette oder eine schnellere Anpassung.

Hensel u. Keil (2018) zeigten, dass Kontaktstellen wie Beinschalen und Brustgurte in der Industrie als störend empfunden wurden. Marino (2019) und Kazerooni et al. (2019) berichten von einer negativen Bewertung der Bewegungsqualität nach vier Wochen Nutzung. Ähnliche Bedenken äußerten Pflegekräfte: Exoskelette könnten bei längerem Tragen unbequem sein und sollten daher nur in bestimmten Belastungssituationen eingesetzt werden. Zudem müsse das schnelle An- und Ablegen in punktuellen Belastungssituationen gewährleistet sein. Hitzeempfindlichkeit und vermehrtes Schwitzen stellen weitere Hürden dar. Eine mögliche Lösung könnte die Integration von Exoskeletten in Arbeitskleidung sein, woran aktuell geforscht wird (O'Connor 2021). Ein Design-Thinking-Ansatz könnte spezifische Anforderungen der Pflegeberufe berücksichtigen (Dekker 2020, S. 87ff).

Vallée (2024) beschreibt entscheidende Einflussfaktoren für Exoskelette in der Pflege, die mit den Ergebnissen der Studie übereinstimmen: Komfort, pflegezentriertes Design und Auswirkungen auf die Patientenversorgung. Die Befragten betonten den Wunsch nach körpernahen Designs und äußerten Sicherheitsbedenken, beispielsweise hinsichtlich möglicher Risiken durch Hängenbleiben an Schläuchen oder Maschinen. Hygienische Aspekte wurden ebenfalls als wichtig erachtet, da Exoskelette leicht zu desinfizieren sein. Ähnliche Bedenken, insbe-

sondere Klemmgefahren beim Patiententransfer, wurden bereits von Argubi-Wollesen und Wollesen (2023) identifiziert.

Neben ergonomischen Faktoren sind wirtschaftliche und organisatorische Aspekte von Bedeutung. Eine Kosten-Nutzen-Analyse sollte qualitative (Gesundheit, Berufsattraktivität) und quantitative (Produktivität, Krankheitstage, Kosten) Faktoren umfassen (McCready 2023). Langzeitstudien zeigen eine reduzierte Belastung der Lendenwirbelsäule durch passive Exoskelette in der Industrie (Hensel u. Keil 2018; Marino 2019), was langfristig zu geringeren Fehlzeiten führen könnte. Pflegekräfte äußerten jedoch Zweifel, ob Pflegeeinrichtungen die Kosten tragen würden, da die Branche durch finanzielle Engpässe und Personalabbau belastet ist (Hoppe u. Roth 2020, S. 64). Obwohl kein direkter Zusammenhang zwischen reduziertem Krankenstand und geringeren Personalkosten gesehen wurde, erkannten einige Befragte das Potenzial zur Prävention von Langzeitschäden (vgl. UK Krankheitstage/Prävention).

Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten darauf hin, dass die Technologieakzeptanz maßgeblich von der wahrgenommenen Nützlichkeit und der Benutzerfreundlichkeit des Exoskeletts abhängt. Das TAM3-Modell (Venkatesh u. Bala 2008) unterstützt dieses Ergebnis. Die Akzeptanz neuer Technologien wird durch Faktoren wie den wahrgenommenen Nutzen, die Benutzerfreundlichkeit und das Ansehen innerhalb der Gruppe der Nutzenden beeinflusst (ebd.). Die vorliegende Studie stellt die Hypothese auf, dass die Beschäftigten in der Pflege das Exoskelett vor allem dann akzeptieren, wenn sie eine körperliche Entlastung wahrnehmen.

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Akzeptanz, ist die Integration der Technologie in den Arbeitsalltag. Einschränkungen in der Bewegungsfreiheit, wie sie von einigen Beschäftigten berichtet wurden, können die Akzeptanz mindern. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer anwendungszentrierten Entwicklung, bei der die spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse der Beschäftigten berücksichtigt werden.

### Erfolgsfaktoren für die Implementierung

Die Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege hängt wesentlich von der Kompetenzentwicklung durch Schulungen und praktische Anwendung ab. Zwischen theoretischem Wissen und praktischer Umsetzung besteht häufig eine Lücke, weshalb supervidierte praktische Anleitung notwendig ist (Bonse-Rohmann et al. 2007; Hermann et al. 2014). Diese Erkenntnis bezieht sich zwar nicht spezifisch auf Exoskelette, zeigt aber allgemein den Bedarf an praxisorientierten Schulungen in der Pflege. Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass Pflegekräfte Exoskelette nach einer Schulung eher nutzen würden, da sie die Erfahrung einer tatsächlichen Arbeiterleichterung sammeln könnten. Abel et al. (2019, S. 10) bestätigen diese Annahme für die Einführung neuer Technologien in der Industrie: Schulungen fördern die Akzeptanz und Nutzung.

Eine Befragung von 150 Schülerinnen und Schülern der Kranken- und Altenpflege zeigt, dass rüchenschonendes Arbeiten gut geschult wird, aber nur etwa die Hälfte das Wissen im Praxisalltag umsetzt (Bonse-Rohmann et al. 2007, S. 7). Daher wird empfohlen, praktisches Üben unter Anleitung zu intensivieren. Zusätzlich sollten Präventionskonzepte für schulische und hochschulische Curricula entwickelt werden, die auch allgemeine Bewegungskompetenzen einschließen (Hermann et al. 2014, S. 13).

Organisatorische Aspekte, wie die Integration von Exoskeletten in Arbeitsabläufe und die Anpassung von Arbeitsplätzen, sind für die erfolgreiche Implementierung entscheidend (Rogers et al. 2013, S. 434f.). Eine enge Zusammenarbeit zwischen Exoskelett-Herstellern, Pflegeeinrichtungen und Pflegekräften ist erforderlich, um die Technologie optimal an die pflegerische Praxis anzupassen.

Die Erkenntnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass für eine erfolgreiche Implementierung verschiedene Faktoren berücksichtigt werden müssen, darunter Arbeitsabläufe, Lagerorte der Exoskelette, Laufwege sowie der Kompetenzaufbau durch Schulungen. Pflegekräfte plädieren für einen Kulturwandel und eine grundsätzliche Neustrukturierung der Arbeitsorganisation in der Pflege, sowohl im stationären als auch im ambulanten Bereich. Präventionsansätze sollten systematisch in den Pflegealltag integriert werden.

Mojtahedzadeh et al. (2021, S. 164) zeigen, dass durch veränderte Arbeitsbedingungen arbeitsbedingte Belastungen reduziert werden können, beispielsweise durch Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung (BGF). Allerdings gibt es bisher keine spezifischen BGF-Maßnahmen für die Pflege (ebd.), was sich mit den Ergebnissen dieser Studie deckt. Die Befragten schlagen vor, Arbeitsabläufe, Lagerorte und Laufwege zu überdenken und präventive Maßnahmen, wie die Integration von Exoskeletten in den Pflegealltag, stärker einzubeziehen. Eine unkomplizierte Nutzung von Exoskeletten könnte langfristig arbeitsbedingte Belastungen und Krankheitstage reduzieren. Zudem wird betont, dass Kompetenzaufbau durch Schulungen eine verstärkte Nutzung begünstigen könnte, was wiederum eine positive Wechselwirkung mit der Reduktion von Krankheitstagen hätte.

Ein zentraler Aspekt ist die Zeit. Mojtahedzadeh et al. (2021) beschreiben einen steigenden Leistungs- und Termindruck, besonders in der ambulanten Pflege. Dieser Druck kann zu emotionaler Erschöpfung führen (Ahlers 2016). Laut der Techniker Krankenkasse (2019, S. 39) gehören „depressive Episoden“ zu den häufigsten krankheitsbedingten Ausfällen in der Pflege. Obwohl dieses Thema in der aktuellen Studie nicht vertieft untersucht wurde, weisen der Techniker Krankenkassen Gesundheitsreport (2019) und der DAK-Gesundheitsreport (2023) darauf hin, dass psychische Belastungen durch hohe Arbeitsdichte und Fachkräftemangel weiter steigen werden (Hildebrandt et al. 2023, S. 10). Die Befragten äußerten sich ähnlich. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sollten geeignete Interventionen entwickelt werden. Dabei könnte das Arbeitsschutzgesetz §5 (1996) als rechtliche Grundlage dienen.

Die Ergebnisse dieser Studie münden in einem multifaktoriellen Modell zu Arbeitsbelastungen und Arbeitsabläufen in der Pflege sowie spezifischen Anforderungen an passive Exoskelette. Um die Belastung von Pflegekräften zu minimieren, müssen mehrere Faktoren angepasst werden:

- Arbeitsumgebung,
- Arbeitsbedingungen,
- Arbeitsinhalte,
- Arbeitsorganisation.

Ein umfassendes Gesundheitsförderungskonzept ist essenziell und sollte sowohl auf der Verhaltens- als auch auf der Verhältnissebene ansetzen (Otto u. Heuel 2023). Interessanterweise wurde die persönliche Gesundheitsvorsorge von den Befragten kaum hinterfragt.

Stattdessen werden strukturelle und organisatorische Faktoren als Hindernisse für gesundheitsförderliches Verhalten gesehen. Zukünftige Forschungsansätze sollten daher sowohl Konzepte zur Implementierung von Exoskeletten als auch Praxisleitfäden entwickeln.

Für eine erfolgreiche Implementierung von Exoskeletten in der Pflege ist es entscheidend, die spezifischen Arbeitsbedingungen und Anforderungen der Nutzenden-Gruppen zu verstehen. Einflussfaktoren wie Rückenschmerzen und das Ansehen der Technologie innerhalb der Berufsgruppe spielen dabei eine zentrale Rolle (Venkatesh u. Bala 2008), außerdem scheinen Schulungen und Trainings zu einer höheren Akzeptanz und effektiveren Nutzung von Exoskeletten beizutragen (Baltrusch et al. 2018).

Darüber hinaus sollte die Implementierung durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Pflegekräften, Arbeitgebenden und Entwicklerinnen/Entwicklern begleitet werden. Ein partizipativer Ansatz kann dazu beitragen, Barrieren zu identifizieren und die Akzeptanz der Technologie zu fördern. Studien in der Industrie haben gezeigt, dass partizipative Ansätze die langfristige Nutzung und Effektivität von Exoskeletten deutlich erhöhen können (Siedl u. Mara 2021).

## Limitationen

Die vorliegende Studie hat einige Limitationen, die an dieser Stelle adressiert werden sollen. Erstens handelte es sich bei diesem Experiment nur um eine kurze Transferaufgabe, die keine Rückschlüsse auf die langfristige Nutzung des Exoskeletts während ganzer Arbeitsschichten und verschiedener Aufgaben zulässt. Zweitens stellt das Gewicht des Dummys (45 kg) für die Pflegenden ein eher geringes Körpergewicht dar, da in der Regel schwerere Personen transferiert werden. Drittens wurden begleitende Faktoren wie die physische Verfassung, emotionale Beurteilung oder das Vertrauen in das Exoskelett wurden nicht erfasst. Viertens können die Risikofaktoren des Exoskeletts nur als Hinweis für einen potenziellen Einsatz des Exoskeletts (Paexo Back, Ottobock) in der Pflege verstanden werden, da diese bisher nur für den Transfer von Sachgegenständen zugelassen sind.

## Schlussfolgerung

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass physischer Nutzen und Benutzerfreundlichkeit entscheidende Faktoren für die Akzeptanz von Exoskeletten in der Pflege sind. Der Einsatz dieser Technologien bietet vielversprechende Ansätze zur Reduktion der körperlichen Belastung und zur Förderung der Gesundheit der Beschäftigten in der Pflege. Gleichzeitig verdeutlichen die Ergebnisse, dass Exoskelette keine universelle Lösung darstellen und individuell angepasst werden müssen, um den spezifischen Anforderungen der Beschäftigten gerecht zu werden.

Für die Zukunft ist es wichtig, die langfristige Wirksamkeit und Akzeptanz von Exoskeletten weiter zu erforschen. Insbesondere Langzeitstudien können dazu beitragen, die präventive Wirkung von Exoskeletten auf Muskel-Skelett-Erkrankungen zu evaluieren. Darüber hinaus sollte der Fokus auf der Entwicklung anwendungszentrierter Technologien liegen, die eine optimale Integration in den Arbeitsalltag ermöglichen. Dabei sollte das Benutzen auch unter Realbedingungen erfolgen und Parameter wie Rüstzeit, Hygiene und Wartung mit beachtet werden. Das Potenzial von Exoskeletten in der

Pflege kann nur durch eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaft, Praxis und Industrie erhöht werden.

**Ethikkommissionsvotum:** Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg beraten und genehmigt (Nummer: 20-2134-101).

**Interessenskonflikte:** Die Fakultät für Angewandte Gesundheits- und Sozialwissenschaften, Technische Hochschule Rosenheim hat keine Interessenskonflikte. Die Autoren dieses Manuskripts haben keine finanziellen Vorteile oder Interessen aus dem Verkauf der von der Ottobock SE & Co. KGaA angebotenen Produkte. Darüber hinaus war Ottobock SE & Co. KGaA weder am Studiendesign noch an der Datenanalyse und -interpretation beteiligt. Das Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen, erhält eine institutionelle Förderung durch den Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e.V. (Südwestmetall).

**Danksagung und Information zur Förderung oder Studienprotokoll-Registrierung:** Diese Studie wurde teilweise aus Eigenmitteln der OTH Regensburg finanziert. Die Studie wurde im Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS00030006) registriert.

**Darlegung der Autorenschaft:** HB – Konzeption des Forschungsprojekts, Datenerhebung, Datenanalyse, Dateninterpretation, Konzeption und Erstellen des Manuskripts. BS – Dateninterpretation, Konzeption und Erstellen des Manuskripts.

## Literatur

- Ahlers E: *Arbeit und Gesundheit im betrieblichen Kontext. Befunde aus der Betriebsrätebefragung des WSI 2015*. WSI Report. Hg. v. Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Institut. Düsseldorf (33), 2016.
- Alabdulkarim S, Nussbaum MA: *Influences of different exoskeleton designs and tool mass on physical demands and performance in a simulated overhead drilling task*. *Appl Ergonom* 2019; 74: 55–66. DOI: 10.1016/j.apergo.2018.08.004.
- Argubi-Wollesen A, Wollesen B: *Digitale und technische Unterstützungssysteme zur Gesundheitsförderung in der Pflege*. In: Bischoff LL, Otto A-K, Wollesen B (Hrsg.): *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim. Praktische Umsetzung für Führungskräfte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2023, S. 97–109.
- Baltrusch SJ, van Bennekom CAM, Houdijk H: *The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals*. *Appl Ergonom* 2018; 72: 94–106. DOI: 10.1016/j.apergo.2018.04.007.
- Bär M, Steinhilber B, Rieger MA, Luger T: *The influence of using exoskeletons during occupational tasks on acute physical stress and strain compared to no exoskeleton – A systematic review and meta-analysis*. *Appl Ergonom* 2021; 94: 103385. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103385.
- Bischoff LL, Otto A-K, Wollesen B (Hrsg.): *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim. Praktische Umsetzung für Führungskräfte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2023. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/978-3-662-67019-4>.
- Bonse-Rohmann M, Möhringer A, Grosser J, Schmidt C, Israel G, Krumm J, Bausch-Weis G: *Gesundheitsförderung und Prävention: Eine Herausforderung für die Pflegeausbildung. Unter Mitarbeit von S. Doppelfeld und K. Völker*. Hrsg. v. Deutschen Institut für angewandte Pflegeforschung e.V. Köln, 2007.
- Borg G: *Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion*. *Scand J Work Environ Health* 1990; 16 (Suppl 1): 55–58. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1815>
- Bosch T, van Eck J, Knitel K, Looze M de: *The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work*. *Appl Ergonom* 2016; 54: 212–217. doi: 10.1016/j.apergo.2015.12.003.
- Brandt H: *Exoskeletttale 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. Universität Regensburg, 2024.
- Braun V, Clarke V: *Using thematic analysis in psychology*. *Qual Res Psychol* 2006; 3: 77–101. doi: 10.1191/1478088706qp0630a.

- Bundesministerium der Justiz: 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: Initiative Neue Qualität der Arbeit. Demographischer Wandel und Beschäftigung. Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Berlin, 2024. <https://www.inqa.de/DE/startseite/startseite.html> (abgerufen am 04.07.2024).
- Creswell JW, Plano Clark VL: *Designing and conducting mixed methods Research*. 2nd edn. Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC: Sage Publications, 2010.
- Dehl T, Hildebrandt-Heene S, Zich K, Nolting H-D (2024): *Gesundheitsreport 2024. Analyse der Arbeitsunfähigkeiten. Gesundheitsrisiko Hitze. Arbeitswelt im Klimawandel*. Hrsg. v. DAK-Gesundheit, Heidelberg (Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung), 2024.
- Dekker T: *Design Thinking*. Groningen/Utrecht, Nederland: Routledge, 2020.
- Dresing T, Pehl T: *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitative Forschende*. 8. Aufl. Marburg: Eigenverlag, 2018.
- Elprama SA, Vanderborght B, Jacobs A: An industrial exoskeleton user acceptance framework based on a literature review of empirical studies. *Appl Ergonom* 2022; 100: 103615. doi: 10.1016/j.apergo.2021.103615.
- Fetters MD, Gutterman TC: Development of a Joint Display as a Mixed Analysis. In: Onwuegbuzie AJ, Johnson RB (Hrsg.): *The Routledge Reviewer's Guide to Mixed Methods Analysis*. New York: Routledge, 2021, S. 259–276.
- Glaser J, Höge T: *Probleme und Lösungen in der Pflege aus Sicht der Arbeits- und Gesundheitswissenschaften*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2005.
- Gläser J, Laudel G: *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. 4. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss (Lehrbuch), 2012. Online verfügbar unter <http://d-nb.info/1002141753/04>.
- Greene JC, Caracelli VJ: Defining and describing the paradigm issue in mixed-method evaluation. *New Dirctns Evaluation* 1997 (74): 5–17. doi: 10.1002/ev.1068.
- Greene JC, Caracelli VJ, Graham WF: Toward a Conceptual Framework for Mixed-Method Evaluation Designs. *Educ Eval Policy* 1989; 11: 255–274. doi: 10.2307/1163620.
- Gutterman TC, Fetters MD, Creswell JW: Integrating Quantitative and Qualitative Results in Health Science Mixed Methods Research Through Joint Displays. In: *Ann Fam Med* 2015; 13: 554–561. DOI: 10.1370/afm.1865.
- Koppelaar E, Knibbe JJ, Miedema HS, Burdorf A: The influence of individual and organisational factors on nurses' behaviour to use lifting devices in healthcare. *Appl Ergonom* 2013; 44: 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.11.005>
- Hensel R, Keil M: Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. *Z Arb Wiss* 2018; 72: 252–263. DOI: 10.1007/s41449-018-0122-y.
- Hermann S, Michaelis M, Schulz A: „Ergonomisches Patientenhandling“ in der Pflegeausbildung. Ist-Stand und Handlungsbedarfe. Projektbericht. Hrsg. v. FFAS – Freiburger Forschungsstelle Arbeits- und Sozialmedizin. Freiburg, 2014.
- Hildebrandt S, Dehl T, Zich K, Nolting H-D: *Gesundheitsreport 2023. Analyse der Arbeitsunfähigkeiten. Gesundheitsrisiko Personalmangel: Arbeitswelt unter Druck*. Unter Mitarbeit von Elena Burgart. Hrsg. v. Sturm A, Hildebrandt-Heene S, Dehl T, Zich K, Nolting H-D. Hamburg: medhochzwei Verlag (Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung), 2013.
- Hoppe M, Roth I: *Leistungssteuerung und Arbeitsintensität. Eine Sonderauswertung des DGB-Index Gute Arbeit 2019 für den Dienstleistungssektor*. Hrsg. v. ver.di-Bundesverwaltung. Berlin, 2020.
- Hwang J, Kumar Y, Venkata N, Ari H, Kim JH: Effects of passive back-support exoskeletons on physical demands and usability during patient transfer tasks. *Appl Ergonom* 2021; 93: 103373. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103373.
- Institut DGB-Index Gute Arbeit, ver.di-Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft Arbeitsbedingungen in der Alten- und Krankenpflege. So beurteilen die Beschäftigten die Lage: Ergebnisse einer Sonderauswertung der Repräsentativumfragen zum DGB-Index Gute Arbeit. Hrsg. v. Institut DGB-Index Gute Arbeit und ver.di-Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft. Berlin, 2018.
- Kazerooni H, Tung W, Pillai M: Evaluation of Trunk-Supporting Exoskeleton. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet* 2019; 63: 1080–1083. doi: 10.1177/1071181319631261.
- Kim S, Madinei S, Alemi MM, Srinivasan D, Nussbaum MA: 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. *Appl Ergonom* 2020; 89: 103194. doi: 10.1016/j.apergo.2020.103194.
- Koopman AS, Kingma I, Faber GS, DeLooze MP, van Dieën JH: Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks. *J Biomech* 2019; 83: 97–103. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.11.033.
- Koppelaar E, Knibbe JJ, Miedema HS, Burdorf A: The influence of individual and organisational factors on nurses' behaviour to use lifting devices in healthcare. *Appl Ergonom* 2013; 44: 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.11.005>
- Marino M: Impacts of Using Passive Back Assist and Shoulder Assist Exoskeletons in a Wholesale and Retail Trade Sector Environment. *IISE Trans Occup Ergon Hum Factors* 2019; 7: 281–290. DOI: 10.1080/24725838.2019.1645057.
- Mayring P: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 12. Aufl. Weinheim: Beltz (Beltz Pädagogik), 2015.
- McCready A: Introducing the new exoskeleton cost-benefit analysis tool from TNO. Hg. v. Interreg, North Sea Region, European Regional Development Fund. Interreg, North Sea Region, European Regional Development Fund, 2023.
- Mojtahedzadeh N, Neumann FA, Rohwer E, Augustin M, Zyriax B-C, Harth V, Mache S: Betriebliche Gesundheitsförderung in der Pflege. *Präv Gesundheitsf* 2021; 16: 163–169. doi: 10.1007/s11553-020-00800-1.
- Mummendey HD: *Die Fragebogen-Methode. Grundlagen und Anwendung in Persönlichkeits-, Einstellungs- und Selbstkonzeptforschung*. Göttingen: Hogrefe, 1987.
- O'Connor S: Exoskeletons in Nursing and Healthcare: A Bionic Future. *Clinical nursing research* 2021; 30: 1123–1126. doi: 10.1177/10547738211038365.
- Onwuegbuzie AJ, Johnson RB (Hrsg.): *The Routledge Reviewer's Guide to Mixed Methods Analysis*. New York: Routledge, 2021.
- Otto AK, Heuel L: *Gesundheitliche Belastungsfaktoren von Pflegekräften*. In: Bischoff LL, Otto A-K, Wollesen B (Hrsg.): *Gesundheitsförderung und Präventionsarbeit im Pflegeheim. Praktische Umsetzung für Führungskräfte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2023.
- Ottobock SE & Co. KGaA: *Paexo Back Tutorials. Adjustments & Usage*. Duderstadt: Ottobock SE & Co. KGaA, 2023.
- Riemer J, Wischmiewski S: Long-term effects and user acceptance of back-support exoskeletons in the workplace. *Z Arb Wiss* 2023; 77: 685–691. doi: 10.1007/s41449-023-00381-7.
- Rogers B, Buckheit K, Ostendorf J: *Ergonomics and Nursing in Hospital Environments*. *Workplace Health Safety* 2013; 61: 429–439. doi: 10.1177/216507991306101003.
- Rothgang H, Müller R, Preuß B: *BARMER Pflegereport 2020. Belastungen der Pflegekräfte und ihre Folgen*. Schriftenreihe zur Gesundheitsanalyse – Band 26. Hg. v. BARMER. Berlin, 2020.
- Scholl A: *Die Befragung*. 4., bearb. Aufl. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft (UTB), 2413, Ed. 4), 2018.
- Siedl SM, Mara M: Exoskeleton acceptance and its relationship to self-efficacy enhancement, perceived usefulness, and physical relief: A field study among logistics workers. *Wearable Technologies* 2021; 2, e10. doi: 10.1017/wtc.2021.10.
- Steinhilber B, Luger T, Schwenkreis P et al.: Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskeletalen Beschwerden. S2k-Leitlinie. In: *Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.*, 2020.
- Techniker Krankenkasse: *Gesundheitsreport 2019 – Pflegefall Pflegebranche?* 2019.
- Teddlie C, Tashakkori A: *Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences*. 3. printing. Los Angeles, Calif: SAGE, 2009.
- Tong A, Sainsbury P, Craig J: Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups. *Int J Quality Health Care* 2007; 19: 349–357. doi: 10.1093/intqhc/mzm042.
- Ulrey BL, Fathallah FA: Effect of a personal weight transfer device on muscle activities and joint flexions in the stooped posture. *J Electromyogr Kinesiol* 2013; 23: 195–205. doi: 10.1016/j.jelekin.2012.08.014.
- Vallée A: Exoskeleton technology in nursing practice: assessing effectiveness, usability, and impact on nurses' quality of work life, a narrative review. *BMC Nurs* 2024; 23: 156. doi: 10.1186/s12912-024-01821-3.
- Venkatesh V, Bala H: Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decis Sci* 2008; 39: 273–315. doi: 10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x.
- Venkatesh V, Morris MG, Davis GB, Davis FD: User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. In: *MIS Quarterly* 2003; 3: 425–478.
- VERBI Software: *MAXQDA, Software für qualitative Datenanalyse*. Berlin, 2022.

## Kontakt

### Prof.'in Dr.'in Sc. hum. Hanna Brandt

Professorin für physiotherapeutische (Differential-)Diagnose  
 Fakultät für Angewandte Gesundheits- und Sozialwissenschaften  
 Technische Hochschule Rosenheim  
 Hochschulstraße 1  
 83024 Rosenheim  
 hanna.brandt@th-rosenheim.de