Zbl Arbeitsmed 2020 · 70:164–172
<https://doi.org/10.1007/s40664-020-00390-x>
Online publiziert: 12. März 2020
© Der/die Autor(en) 2020

Claus Backhaus¹ · Helge Homann² · Matthias Jäger³

¹ Zentrum für Ergonomie und Medizintechnik, FH Münster, Steinfurt, Deutschland

² Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation, Hamburg, Deutschland

³ Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund, Dortmund, Deutschland

Manuelles Umsetzen mobilitätseingeschränkter Personen in Verkehrsflugzeugen

Entwicklung und Evaluation eines Hilfsmittels

Hintergrund und Fragestellung

Der derzeitige demografische Wandel zeigt eine stetige Zunahme des Durchschnittsalters der Bevölkerung in den Industrienationen [19]. Da ältere Menschen häufiger von muskuloskeletalen Erkrankungen betroffen sind [6], steigt der gesellschaftliche Anteil mobilitätseingeschränkter Personen (MEP). Bei einem zunehmenden Mobilitätsanspruch der Gesellschaft setzen sich daher auch Unternehmen des Personentransportgewerbes verstärkt mit den Bedürfnissen von MEP auseinander. Besonders im Bereich der Luftfahrt benötigen diese Personen Unterstützung durch das Flugbegleitpersonal, um zum Beispiel ihren Sitzplatz zu erreichen.

Der Anteil an MEP, die beispielsweise im Jahr 2013 durch die Deutsche Lufthansa AG befördert wurden, betrug 0,74 % des Gesamtfluggastaufkommens [13]. Bei einer Gesamtzahl von 105 Mio. beförderten Fluggästen [18] ergibt dies etwa 77.000 „Lufthansa-Passagiere“ pro Jahr, die potenziell Unterstützung während einer Flugreise benötigen. Überträgt man diesen Anteil auf das weltweite Fluggastaufkommen von etwa 4 Mrd. Passagieren im Jahr 2017 [18], so führt dies zu annähernd 30 Mio. jährlich beförderten MEP im Flugverkehr. Damit werden weltweit mehr als 3000 mobilitätseingeschränkte Fluggäste pro Stunde von den Luftverkehrsgesellschaften befördert.

Durch die Europäische Verordnung Nr. 1107/2006 (EU-Flugverordnung; [5]) über die Rechte von behinderten Flugreisenden und Flugreisende mit eingeschränkter Mobilität sind die Luftverkehrsgesellschaften verpflichtet, bewegungsbeeinträchtigte Passagiere beim Reisen im Flugzeug zu unterstützen. Dazu gehört, dass den betroffenen Personen ein uneingeschränkter Zugang zur Bordtoilette ermöglicht wird. Für das Flugbegleitpersonal ist das Unterstützen dieser Passagiere oftmals mit hohen physischen Belastungen verbunden. Besonders beim manuellen Bewegen vom Sitz auf den mitgeführten Bordrollstuhl (und zurück) können durch die einhergehenden, in der Regel recht ungünstigen Körperhaltungen und die erforderlichen Aktionskräfte hohe Belastungen des unteren Rückens auftreten.

Als Hilfsmittel zum Transport von MEP werden auf Langstreckenflügen spezielle Bordrollstühle in den Flugzeugen mitgeführt. Besondere Hilfsmittel zum manuellen Bewegen von MEP auf einen Passagiersitz oder vom Sitz auf den Bordrollstuhl werden bislang nicht eingesetzt. Derartige Hilfsmittel sind beispielsweise aus dem Bereich der Kranken- und Altenpflege oder dem Rettungswesen bekannt [9, 12, 17]. Die dort eingesetzten Produkte können aufgrund der beengten räumlichen Verhältnisse und der erforderlichen Gewichtsbeschränkung in Verkehrsflugzeugen allerdings nicht sinnvoll eingesetzt werden. Durch

den unregelmäßigen und zum Teil recht seltenen Einsatz ergeben sich darüber hinaus besondere Anforderungen an eine einfache und selbsterklärende Handhabung solcher Hilfsmittel.

Zusammengefasst fehlt es bislang an geeigneten Hilfsmitteln, die ein manuelles Umsetzen mobilitätseingeschränkter Passagiere an Bord von Verkehrsflugzeugen unterstützen. Ziel der durchgeführten Studie war die Entwicklung und Evaluation eines Hilfsmittels zur Unterstützung von Flugbegleitpersonal beim manuellen Umsetzen von MEP an Bord von Verkehrsflugzeugen.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Die Entwicklung des Hilfsmittels erfolgte iterativ nach dem Vorgehensmodell einer benutzerorientierten Produktgestaltung nach DIN EN ISO 9241 [4]. Die anschließende Evaluation gliederte sich in die Validierung und Verifizierung des Hilfsmittels. Als Validierung wird der Nachweis der prinzipiellen Eignung und Anwendbarkeit (Usability) bezeichnet. Die Verifizierung belegt den Nutzen (Utilität) eines Hilfsmittels, der sich aus einer Verringerung der Belastung für den Anwender ergibt. Das Vorgehen ist in **Abb. 1** schematisch dargestellt und wird in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

Abb. 1 ◀ Methodisches Vorgehen zur Entwicklung des Hilfsmittels

Abb. 2 ◀ Erstellter Kabinen-Mock-up zur Entwicklung und Erprobung des Hilfsmittels

Entwicklung

Für die Entwicklung wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe mit Mitgliedern aus den Bereichen Arbeitsschutz, Ergonomie, Biomechanik und Produktentwicklung eingerichtet. Als potenzielle Anwender fungierten dabei ein Flugkapitän und drei Mitarbeiter(innen) des Flugbegleitpersonals eines großen deutschen Luftfahrtunternehmens. Es wurden mehrere Projekttreffen zur iterativen Entwicklung, Erprobung und Verbesserung des Hilfsmittels durchgeführt.

Das erste Projekttreffen fand an Bord eines Verkehrsflugzeuges statt. Zur Entwicklung eines gemeinsamen Problemverständnisses wurde das Bewegen eines mobilitätseingeschränkten Passagiers nachgestellt und von der Arbeitsgruppe teilnehmend beobachtet. Im darauffolgenden Projekttreffen wurden ausgewählte Hilfsmittel aus dem Gesundheitswesen wie Rutschbrett oder Gleitmatte hinsichtlich ihrer Eignung

für einen Einsatz im Verkehrsflugzeug geprüft.

Zur Erprobung wurde am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo) ein Kabinen-Mock-up eines Airbus A320 erstellt. Dieser besteht aus drei hintereinander positionierten Dreiersitzreihen an der Fensterseite und der simulierten Innenkontur des Passagierraums einschließlich der bewegungseinschränkenden Gepäckfächer (Abb. 2). Parallel zur Entwicklung des Hilfsmittels wurden von der Projektgruppe auch die erforderlichen Handhabungsschritte für eine belastungsoptimierte Anwendung definiert.

Validierung

Die Validierung des Hilfsmittels erfolgte in einem Usability-Test mit kombinierter Benutzerbefragung. Sie wurde im „Flight Training Center“ (FTC) eines Luftfahrtunternehmens durchgeführt. Vier Teams

aus je zwei Flugbegleiter(inne)n erprobten das entwickelte Hilfsmittel in zwei Anwendungsszenarien („use cases“). Die Versuchspersonen (VP) bewegten sich dabei abwechselnd, gegenseitig vom Fenstersitz auf den Bordrollstuhl und zurück. Vor dem Usability-Test erhielten sie eine Videoeinweisung zum vorgesehenen Einsatz des Hilfsmittels. Während des Tests wurde die Ausführung von zuvor festgelegten Handlungsschritten von drei Mitgliedern der Arbeitsgruppe bewertet. Zur Einstufung der Handlungskompetenz wurde eine dreistufige Ratingskala (entsprechend Ampelschema) mit den Bewertungsstufen „vorhanden“ (grün: 1), „zum Teil vorhanden“ (gelb: 2) und „nicht vorhanden“ (rot: 3) verwendet. Die Einzelbewertungen der Handlungsschritte wurden zu Medianen zusammengefasst. Bewertungen größer 1 wurden als potenzielle Bedien- bzw. Handhabungsdefizite interpretiert. Zusätzlich wurde die Erfolgsrate (SR; [15]) für jeden Handlungsschritt berechnet (s. Gl. 1). Zur Erfassung der Handhabungsdauer wurde der Usability-Test mit zwei Kameras (Typ: Hero GoPro, Modell 4) dokumentiert (Abb. 3).

$$SR = \left(\frac{\sum \text{Bewertung GRÜN} + \left(\sum \text{Bewertung GELB} \cdot 0,5 \right)}{\sum \text{Bewertungen}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Nach dem Usability-Test füllten die VP einen Fragebogen zur Anwenderakzeptanz aus. Dazu wurde der Zustimmungsggrad zu 10 vorgegebenen Items anhand einer 5-stufigen Likert-Skala abgefragt. Die Auswertung erfolgte durch das Berechnen eines prozentualen Gesamtzustimmungsgrades [1, 3], der ein Aussage zur Anwenderakzeptanz des Hilfsmittels ermöglicht. Zusätzlich hatten die

Zbl Arbeitsmed 2020 · 70:164–172 <https://doi.org/10.1007/s40664-020-00390-x>
© Der/die Autor(en) 2020

C. Backhaus · H. Homann · M. Jäger

Manuelles Umsetzen mobilitätseingeschränkter Personen in Verkehrsflugzeugen. Entwicklung und Evaluation eines Hilfsmittels

Zusammenfassung

Dem demografischen Wandel zufolge nimmt der Anteil mobilitätseingeschränkter Personen (MEP) in Verkehrsflugzeugen zu. Beim Unterstützen von MEP können hohe physische Belastungen, insbesondere im Bereich des unteren Rückens, auftreten. In der vorgestellten Studie wurde ein Hilfsmittel zum manuellen Umsetzen von MEP von einem Sitz auf einen anderen oder auf einen Bordrollstuhl an Bord von Verkehrsflugzeugen entwickelt und evaluiert. Die Entwicklung erfolgte iterativ in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe. Die Evaluation des Hilfsmittels basiert auf einem Usability-Test im „Flight Training Center“ (FTC) eines großen deutschen Luftfahrtunternehmens durch Flugbegleitpersonal sowie auf einer biomechanischen Belastungsschätzung im Labor. Dazu wurden

– als Maß der durch Flugbegleitpersonal ausgeübten Aktionskräfte – die Bodenreaktionskräfte beim Umsetzen einer MEP gemessen, die Bandscheibendruckkräfte als Kenngröße der lumbalen Belastung mit Hilfe des biomechanischen Simulationswerkzeugs „Der Dortmund“ berechnet und diese mit den als Maximalbelastung des unteren Rückens empfohlenen „Revidierten Dortmund Richtwerten“ verglichen. Das entwickelte Hilfsmittel besteht aus zwei identischen Gleittuchschlingen aus einem silikonlaminierter Polyesterstoff. Die durchschnittliche Anwendungsdauer beim Bewegen einer MEP vom Fenstersitz auf den Bordrollstuhl im Gang betrug 02:14 min. Bei 5 von 14 Handlungsschritten wurde ein erhöhter Einweisungsbedarf identifiziert.

Die Anwenderakzeptanz wurde mit 81 % als gut bis sehr gut eingeschätzt. Durch den Einsatz des neuen Hilfsmittels verringerten sich die Aktionskräfte um etwa 30 % und die Bandscheibendruckkräfte beim Umsetzen einer MEP um etwa 50 %. Zusammenfassend ermöglichen die neu entwickelten Gleittücher ein schnelles, einfaches und sicheres Umsetzen mobilitätseingeschränkter Passagiere in Verkehrsflugzeugen. Die dabei auf das Flugbegleitpersonal einwirkenden Belastungen, insbesondere des unteren Rückens, sind deutlich verringert.

Schlüsselwörter

Flugzeug · Luftverkehr · Mobilitätseingeschränkte Person · Rückenbelastung · Hilfsmittel · Manuelles Umsetzen

Manual repositioning of persons with reduced mobility aboard aircraft. Development and evaluation of a handling aid

Abstract

Due to demographic changes the number of people with reduced mobility (PRM) aboard aircraft is increasing. When supporting PRM high physical loads can occur, especially of the lower back. This study shows the development and evaluation of a handling aid to reposition PRM from one aircraft seat to another or to an onboard wheelchair and vice versa. The developmental process took place iteratively in an interdisciplinary working group. For the evaluation an onboard usability test was performed with flight attendants at the flight training center (FTC) of a large German airline and a biomechanical load estimation in the laboratory. For this purpose, the ground reaction force was measured

while repositioning a PRM as a measure of the action forces exerted by flight attendants. Furthermore, the compressive forces at lumbar intervertebral discs were calculated as a measure of low back load by applying the simulation tool the *Dortmund* and compared the results with the maximum load limits of the lower back recommended by the revised Dortmund standard values. The new handling aid consists of two identical slings of silicon-laminated polyester fabric. The average handling time for moving a PRM from the window seat to an onboard wheelchair in the aisle was 02:14 min. The usability test showed that 5 out of 14 handling tasks needed increased instruction. With 81% the

user satisfaction was estimated to be good to very good. By applying the handling aid the action forces were reduced by approximately 30% and the forces acting on lumbar discs by approximately 50%. In conclusion, the newly developed handling aid enables a quick, easy and safe repositioning of PRM by flight attendants on board aircraft. The physical load is clearly reduced, especially the load on the lower back.

Keywords

Aircraft · Aviation · Passengers with reduced mobility · Lumbar load · Handling aid · Manual handling

VP die Möglichkeit in zwei Freitextfeldern positive und negative Kommentare zum Einsatz des Hilfsmittels abzugeben. Die Ergebnisse wurden deskriptiv ausgewertet.

Verifizierung

Referenzfähigkeit und ausführende Personen

Die Verifizierung erfolgte durch einen Vergleich der auftretenden Belastungen beim manuellen Bewegen einer MEP mit und ohne Hilfsmittel. Als Belastungsfall wurde das Umsetzen einer MEP auf einen benachbarten Flugsitz festgelegt, da es sich hierbei um einen wesentlichen Be-

standteil des Umsetzvorgangs von Flugzeugen in den Bordrollstuhl bzw. zurück handelt. Flugbegleitpersonal und MEP wurden durch zwei männliche gesunde Erwachsene des Entwicklerteams simuliert (75/90 kg, 180/176 cm); dabei hatte die MEP den Umsetzvorgang willentlich nicht unterstützt. Der Ablauf war wie folgt:

Der Flugbegleiter stellt sich etwa mittig vor die beiden Sitze und positioniert

Abb. 3 ◀ Kameraperspektive 1 (a) und 2 (b) beim Usability-Test im „Flight Training Center“ eines deutschen Luftfahrtunternehmens

Abb. 4 ◀ Die entwickelten Gleittuchschlingen zum manuellen Bewegen eines mobilitäts-eingeschränkten Passagiers und zur Verringerung der Reibung auf dem Passagiersitz

sich schräg vor die sitzende MEP mit einem Winkel von etwa 45° zwischen eigener Körpermittenebene und Sitzreihenvorderkante (in der Draufsicht), wenn kein Hilfsmittel verwendet wird. Dann beugt der Flugbegleiter die Beine in den Kniegelenken und den Oberkörper nach vorn, umfasst die MEP im unteren Rückenbereich, wobei diese den Flugbegleiter im Schulter-Hals-Bereich umfasst. Durch allmähliche Streckung der Beine und Aufrichten des Rumpfes wird die MEP durch den Flugbegleiter aus dem Sitz annähernd bis in eine Standposition gehoben. Nach einer kleinen Drehung beider Personen um die Hochachse des

Flugbegleiters wird die MEP auf den Nebensitz abgesetzt, indem der Flugbegleiter die Beine beugt und sich mit dem Oberkörper nach vorn lehnt. Auch bei Nutzung des Hilfsmittels positioniert sich der Flugbegleiter anfangs schräg vor die sitzende MEP in einem Winkel von etwa 60° zwischen Sitzreihenvorderkante und eigener Medianebene (in der Draufsicht); die weiteren Handlungsschritte werden im Ergebniskapitel beschrieben.

Aktionskräfte bei Tätigkeitsausführung

Als Belastungskenngrößen wurden die drei Maximalwerte der Aktionskraft (F_i)

in den drei Raumrichtungen ($i = x/y/z$) ermittelt, die vom Flugbegleiter auf den Passagier bei dessen Umsetzen ausgeübt und über die Bodenreaktionskraft mit Hilfe einer Kraftmessplattform (Typ: Kistler-Instruments, Modell 9281B) erfasst wurde. Für die drei Zeitpunkte des jeweiligen Maximums der drei Kraftkomponenten wurde zudem die zugehörige Gesamt-Aktionskraft ($F_{\text{ges-}i}$) berechnet. Es wurden jeweils zwölf Messwiederholungen durchgeführt sowie die korrespondierenden arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichungen der Kraftwerte bestimmt. Die Messungen erfolgten vor der ersten Sitzreihe im Laboraufbau.

Rückenbelastung

Auf Basis der genannten Kennwerte der Aktionskräfte (F_i , $F_{\text{ges-}i}$) wurden mit Hilfe des biomechanischen Simulationswerkzeugs „Der Dortmund“ [11] die Bandscheibendruckkräfte zwischen dem 5. Lenden- und dem 1. Sakralwirbel (L5-S1) abgeschätzt. Dieser Bereich im unteren Rücken ist sowohl von hohen Belastungen als auch vergleichsweise häufig von Beschwerden sowie Erkrankungen betroffen und wird daher üblicherweise als Bezugspunkt für derartige Simulationsrechnungen in der Ergonomie und Arbeitsmedizin verwendet. Bei diesen Belastungsschätzungen wurden verschiedene Verdrehungen des Flugbegleitpersonals relativ zur Sitzreihenvorderkante – und somit zur MEP – angenommen, um etwaige Ungenauigkeiten der Körperhaltungsreplizierung aus der begleitenden Bilddokumentation (Foto oder Video) zu berücksichtigen. Dazu wurden die o. g. Winkel von 45°

Tab. 1 Handlungsschritte, Median der Einzelbewertungen (von 1 = gut bis 3 = schlecht) und prozentuale Erfolgsrate (SR) des durchgeführten Usability-Tests ($n = 8$)

Aufgabe	Nr.	Handlungsschritt	Median	SR (%)
1. Von Fenstersitz auf Bordrollstuhl	1.1	Gleittücher auspacken	1	100
	1.2	Gleittuch 1 dem Passagier „überwerfen“	1	84
	1.3	Gleittuch 1, unterer Teil unter Gesäß führen	1	87
	1.4	Gleittuch 2 auf Sitzreihe legen	1	95
	1.5	Gleittuch 2 flach unter Gesäß des Passagiers führen	1	73
	1.6	Passagier anweisen „Hände auf Vordersitz legen“	3	30
	1.7	Gleittuch 1 greifen und horizontal ziehen (Knie auf Sitz, Oberkörper des Passagiers ggf. stabilisieren)	2	78
	1.8	Bordrollstuhl in Position bringen (ca. 45° zum Sitz)	1	70
	1.9	Passagier horizontal auf Bordrollstuhl ziehen	2	43
2. Von Bordrollstuhl auf Fenstersitz	2.1	Gleittuch 1 auf Sitzreihe legen	1	94
	2.2	Bordrollstuhl parallel zum 1. Sitz positionieren	1	80
	2.3	Gleittuch 1 unter Gesäß des Passagiers führen	3	40
	2.4	Passagier am Becken horizontal drücken und über Sitzreihe schieben (ggf. Oberkörper stabilisieren)	2	59
	2.5	Gleittücher zusammenlegen	1	88

bzw. 60° zwischen Körpermittenebene des Flugbegleitpersonals und Sitzreihenvorderkante um $\pm 10^\circ$ variiert.

Belastungsbewertung

Die Ergebnisauswertung erfolgte durch den Vergleich der Maxima der Aktionskraftkomponenten (F_i), der Aktionskräfte zum Zeitpunkt der Komponentenmaxima ($F_{\text{ges-i}}$) sowie der Bandscheibendruckkräfte (F_{BS}) für die beiden Belastungsfälle mit und ohne Hilfsmittel. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe des Student-t-Tests auf Mittelwertsunterschiede geprüft.

Zur Bewertung hinsichtlich des biomechanischen Überlastungsrisikos wurden die abgeschätzten Bandscheibendruckkräfte mit den sog. Revidierten Dortmunder Richtwerten [8] verglichen. Diese gelten als wissenschaftlich begründete Obergrenzen für Druckkräfte an der Lendenwirbelsäule durch manuelle Lastenhandhabung sowie ähnliche physische Belastungen und stellen ein einfach anwendbares Hilfsmittel dar, um einzelne Handhabungsaufgaben bezüglich einer potenziellen biomechanischen Überlastung am unteren Rücken zu beurteilen. Die Empfehlungen berücksichtigen die biologischen Grunderkenntnisse einer geschlechtsspezifischen altersabhängigen lumbalen Belastbarkeit, sodass zu hohe Expositionen des unteren Rückens

insbesondere für überlastungssensible Personen wie ältere und/oder weibliche Arbeitnehmer erkannt werden können. Die Revidierten Dortmunder Richtwerte – welche die vormaligen „Dortmunder Richtwerte“ [10] ersetzen – variieren über einen Bereich zwischen 5,4 kN für Männer im Alter von 20 Jahren und 2,2 kN für Männer ab 60 Jahren; die entsprechenden empfohlenen Grenzen für Frauen betragen 4,1 bzw. 1,8 kN.

Ergebnisse

Entwicklung des Hilfsmittels

Die teilnehmende Beobachtung zeigt, dass deutliche Entwicklungseinschränkungen aus dem Anwendungskontext resultieren. Als lösungsbeeinträchtigende Limitationen dominieren der stark eingeschränkte Bewegungsraum, der für das unterstützende Flugbegleitpersonal zur Verfügung steht, sowie Einschränkungen zum Gewicht und Packmaß des neu zu entwickelnden Hilfsmittels.

Als etablierte Hilfsmittel aus dem Gesundheitswesen wurden Gleitmatten, -tücher und Rutschbretter verschiedener handelsüblicher Größen geprüft. Deren Erprobung im vorliegenden Kontext bestätigt, dass diese aufgrund der o. g. Einschränkungen nicht oder allenfalls

eingeschränkt für den Einsatz in einem Verkehrsflugzeug geeignet sind.

Auf der Basis eines Gleittuches wurde ein Prototyp für das Hilfsmittel in Form einer Gleittuchschlinge aus einem silikonlaminierter Polyesterstoff entwickelt, im Mock-up erprobt und in weiteren Projekttreffen iterativ verbessert. Diese *Schlinge* besteht aus einem länglichen Band (45×320 cm), dessen Enden ohne Verdrehung zu einem bandförmigen Ring zusammengenäht wurden.

Bei der Anwendung wurde eine Gleittuchschlinge in Höhe des Beckens um den Rumpf des Passagiers gelegt, wodurch die zur vorwiegend seitlichen Bewegung erforderliche Kraft schwerpunktnah und ohne seitliches Umkippen der MEP appliziert werden kann. Eine zweite Gleittuchschlinge gleicher Art wird zur Reibungsverringerung flach auf die Sitzfläche gelegt. Durch die identische Gestaltung beider Gleittücher sind sie für beide Anwendungszwecke nutzbar, sodass Vertauschungen unkritisch sind, was die Handhabung vereinfacht (■ Abb. 4).

Validierung

Die entwickelten Handlungsschritte beschreiben die einfache und belastungsvermindernde Anwendung des Hilfsmittels durch das Flugbegleitpersonal. Die Bewertung der Handlungsschritte und das Ergebnis des durchgeführten Usability-Tests sind in ■ Tab. 1 dargestellt.

Als potenzielle Bediendefizite wurden die Handlungsschritte 1.6, 1.7, 1.9, 2.3 und 2.4 ermittelt. Die durchschnittliche Anwendungsdauer beim Bewegen eines mobilitätseingeschränkten Passagiers vom Fenstersitz auf den Bordrollstuhl betrug $02:14 (\pm 00:26)$ [min:s]. Als mittlere Dauer für den Rücktransfer vom Bordrollstuhl auf den Fenstersitz wurden $01:28 (\pm 00:26)$ [min:s] erhoben. Die Auswertung der Benutzerbefragung ergab einen prozentualen Zustimmungsggrad von 81 % für das entwickelte Hilfsmittel, der eine gute bis sehr gute Gebrauchstauglichkeit belegt. Die Angaben der VP in den Freitextfelder bestätigten eine einfache und sichere Handhabung des Hilfsmittels.

	Aktionskraftkomponente F_i	Maximum $ F_i $ gemittelt [N]	Maximum $ F_i $ SD [N]
ohne Hilfsmittel	x: vert	323	25
	y: sag	143	2
	z: lat	58	12
mit Hilfsmittel	x: vert	184	29
	y: sag	96	11
	z: lat	134	8

Abb. 5 ▲ Maximalwerte der Aktionskraftkomponenten (Mittelwert und Standardabweichung) beim Umsetzen einer MEP ohne und mit Hilfsmittel ($n = 12$)

Verifizierung

In **Abb. 5** sind die gemittelten Maximalwerte der Aktionskraftkomponenten (F_i) beim Umsetzen einer MEP mit und ohne Hilfsmittel für die drei Raumachsen bzw. Bewegungsrichtungen der MEP (x: oben/unten = „vertikal“, y: vor/zurück = „sagittal“, z: zur Seite = „lateral“) dargestellt. Wie die Tabelle in **Abb. 5** sowie auch die Säulen im Diagramm zeigen, wurden bei beiden Ausführungsarten die höchsten Werte für die Vertikal-, d.h. Hebekomponente ermittelt. Die zweithöchsten Werte wurden beim Umsetzen der MEP ohne Hilfsmittel für die Sagittalkomponente erreicht, bei Hilfsmittelnutzung jedoch für die Lateralkomponente: Die MEP wird bei Hilfsmittelnutzung eher seitlich als nach vorn gezogen.

Durch den Einsatz des Hilfsmittels erhöhten sich somit die Kräfte zur Seite erheblich ($|F_{lat}|$: +132 %) im Vergleich zur Ausführung ohne Hilfsmittel, während im Gegensatz dazu bei Einsatz des

Hilfsmittels deutlich geringere Kräfte nach vorn ($|F_{sag}|$: –33 %) und nach oben ($|F_{vert}|$: –43 %) ermittelt wurden. Die Kraftunterschiede zwischen den beiden Ausführungsmodi ohne vs. mit Hilfsmittel sind hochsignifikant (Student-t-Test: $p < 0,0001$).

In **Abb. 6** sind die Kennwerte der Gesamt-Aktionskräfte (F_{ges-i}) zu den Zeitpunkten des jeweiligen Maximums einer Aktionskraftkomponente (F_{i-max}) dargestellt. Sowohl die Tabelle im oberen Teil der **Abb. 6** als auch die Säulen im Diagramm verdeutlichen, dass bei beiden Ausführungsarten die höchsten Werte zum Zeitpunkt des Maximums der Vertikal- gleich Hebekomponente erreicht wurden; niedrigere, etwa gleichhohe Werte wurden für die Gesamt-Aktionskräfte zu den anderen beiden Zeitpunkten der Komponentenmaxima erhoben. Durch den Einsatz des Hilfsmittels verringerten sich die Aktionskräfte um etwa 30 % aus einem Bereich um etwa 300 auf etwa 200 N (–27 % bzgl. $|F_{sag}|$; jeweils –32 % bzgl. $|F_{vert}|$ und $|F_{lat}|$). Die

Kraftunterschiede zwischen den beiden Ausführungsmodi ohne vs. mit Hilfsmittel sind hochsignifikant (Student-t-Test: $p < 0,0001$).

In **Abb. 7** sind die Kennwerte der berechneten Bandscheibendruckkräfte F_{BS} auf Basis der Gesamt-Aktionskräfte zu den Zeitpunkten des jeweiligen Maximums einer Aktionskraftkomponente aufgeführt. Unter Berücksichtigung der drei in den Simulationsrechnungen angenommenen Verdrehungen des Flugbegleiters relativ zur MEP (45° bzw. 60°, jeweils $\pm 10^\circ$) bei Bewegungsbeginn ergeben sich drei Säulenpaare zum Vergleich der Ausführungen ohne bzw. mit Hilfsmittel. Wie die Tabelle im oberen Teil der **Abb. 7** sowie auch die Säulen im Diagramm zeigen, verringerten sich die Re-Aktionskräfte am Bezugspunkt „Lenden-Kreuzbein-Übergang L5-S1“ durch Hilfsmiteinsatz um etwa 50 %, wobei der Winkel zwischen den beiden Personen einen nachrangigen Einfluss auf die Wirbelsäulenbelastung zeigt; dies ist auf den realistisch gewählten, gleichwohl begrenzten *Unschärfbereich* der Körperhaltungspositionierung ($\pm 10^\circ$) zurückzuführen. Die Kraftunterschiede zwischen den beiden Ausführungsmodi ohne vs. mit Hilfsmittel sind hochsignifikant (Student-t-Test: $p < 0,0001$).

Bei Anwendung der „Revidierten Dortmunder Richtwerte“ [8] auf die erhobenen Belastungen beim Umsetzen einer MEP (**Abb. 7**) wird deutlich, dass der überwiegende Teil der Einzelwerte (MW $\pm$ SD) sowie insbesondere die Mittelwerte der Bandscheibendruckkräfte für Ausführungen ohne Hilfsmittel (5,8–6,3 kN) oberhalb des höchsten der empfohlenen Richtwerte (5,4 kN) liegen. Dies bedeutet, dass diese Tätigkeit bzw. Ausführungsart selbst für junge, bezüglich der Lumbalbelastbarkeit *widerstandsfähige* männliche Erwachsene als zu hoch belastend eingestuft werden. Für die Ausführung mit Hilfsmittelnutzung wurden deutlich geringere Wirbelsäulenbelastungen von etwa 3 kN im Mittel erhoben, die mit Richtwerten von 3,1 kN für Männer im Alter von 50 Jahren bzw. Frauen von 40 Jahren korrespondieren. Unter Berücksichtigung der erhobenen Standardabweichungen der abgeschätzten Bandscheibendruck-

Abb. 6 ▲ Mittelwert und Standardabweichung (MW $\pm$ SD) der Gesamt-Aktionskräfte zum Zeitpunkt eines Maximums einer Aktionskraftkomponente beim Umsetzen einer MEP ohne und mit Hilfsmittel ($n = 12$)

Abb. 7 ▲ Mittelwerte und Standardabweichung (MW $\pm$ SD) der Bandscheibendruckkräfte (F_{BS}) beim Umsetzen einer MEP mit verschieden ausgeprägter Verdrehung der Position des Flugbegleitpersonals relativ zur Position der MEP (ohne Hilfsmittel: 45° $\pm$ 10° [$n = 33$]; mit Hilfsmittel: 60° $\pm$ 10° [$n = 38$])

kräfte (ca. 0,4 kN) ergeben sich für das Maß „Mittelwert plus Standardabweichung“ Belastungen von 3,3 bis 3,5 kN, die empfohlenen Maximalbelastungen für Personen etwas niedrigeren Alters entsprechen (ca. 45 bzw. 35 Jahre). Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass das Umsetzen bei Hilfsmittelnutzung für alle infrage kommenden Anwender zu unkritischen Belastungen für den unteren Rücken führt. Gleichwohl wird das Überlastungsrisiko für viele erheblich verringert und führt insgesamt zu Belastungen, die ein manuelles Umsetzen von MEP überhaupt erst in Erwägung ziehen lassen und daher eine Unterstützung von MEP durch Flugbegleitpersonal mit deutlich vermindertem Überlastungsrisiko für diese Personen ermöglichen.

Diskussion

Aus einem zunächst entwickelten Bergestrich mit unterschiedlichen Greifschlingen und Fixierbändern [2] sind in insgesamt acht Projekttreffen zwei identische Gleitstreichlingen mit den Abmessungen 0,45 m $\times$ 1,6 m – wenn flach doppel-lagig gelegt – entwickelt worden. Das gewählte Vorgehen bestätigt die Notwendigkeit einer interdisziplinären Produktentwicklung mit möglichst frühzeitigem Einbezug potenzieller Anwender in den Entwicklungsprozess. Dieser hätte in der vorliegenden Studie bereits etwas früher, zu Beginn der Entwicklung, erfolgen können, um eine Korrektur des zuerst erstellten Konzeptprototyps zu vermeiden.

Die in der Validierung ermittelten kritischen Handlungsschritte schränken die Anwendung des neu entwickelten Hilfsmittels nur geringfügig ein, sodass es ausreicht, diese Schritte bei der Entwicklung eines Schulungskonzeptes und einer geplanten Kurzanweisung besonders zu erläutern.

Die Ergebnisse der Zeitmessung zeigen, dass ein mobilitätseingeschränkter Passagier in etwa zwei Minuten vom äußeren Flugzeugsitz auf den im Gang stehenden Bordrollstuhl und in etwa einhalb Minuten zurückbewegt werden kann. Die auftretenden Rückenbelastungen werden von den Anwendern als moderat bzw. akzeptabel eingeschätzt. Das

neue Hilfsmittel verfügt über eine einfache und selbsterklärende Bedienbarkeit (Usability), die sich auch im ermittelten Zustimmungsgrad der Benutzerbefragung widerspiegelt, der mit 81 % (SUS-Wert) als gut bis sehr gut interpretiert wird.

Die Belastungseinschätzung der Anwender bestätigt sich in der Verifizierung des Hilfsmittels, die eine Belastungsverringerung der Gesamt-Aktionskräfte um etwa 30 % (von ca. 300 auf ca. 200 N) und der Bandscheibendruckkräfte um etwa 50 % ergibt (von ca. 6 auf ca. 3 kN). Erzielt wird diese Belastungsverringerung durch ein stärkeres seitliches Ziehen der MEP statt des zuvor stärkeren Anhebens bei zudem biomechanisch günstigerer Körperhaltung mit weniger stark vorgeneigtem Oberkörper. Dabei sind die vergleichsweise geringeren, aber dennoch nicht vernachlässigbaren Hebekräfte von etwa 180 N trotz Hilfsmittelnutzung auf das Überwinden der ausgeprägten seitlichen Sitzwangen der Flugzeugsitze zurückzuführen.

Als Einschränkung wird angeführt, dass diese Belastungsverringerung lediglich bei Ausführung der Tätigkeit unter Laborbedingungen erhoben wurde, sodass eventuell in der Praxis auftretende ungünstige(re) Nebenbedingungen wie stärker eingeschränkter Bewegungsraum oder Störung der Ausführung durch andere Personen hier unberücksichtigt sind. Da jedoch bei der Abschätzung der Wirbelsäulenbelastung auf Basis der Labormessungen ein Winkelbereich der Position des Flugbegleitpersonals relativ zur MEP einbezogen wurde und diese Winkelabhängigkeit die Ergebnisse eher nachrangig beeinflusst hat, wird nicht von einer erheblichen Belastungsunterschätzung durch Labor- vs. Praxisbedingungen ausgegangen. Zudem ist davon auszugehen, dass bei enger Bestuhlung eine günstigere Körperhaltung eingenommen werden muss, d. h. das Flugbegleitpersonal wählt einen noch größeren Winkel zur MEP und positioniert sich eher neben als vor die MEP. Dadurch kann er die MEP stärker sagittal ziehen, was mit weniger unsymmetrischen, seitlichen Aktionskräften bei Hilfsmittelnutzung einhergeht und

somit eher zu einer geringeren Rückenbelastung führt.

Darüber hinaus kann angeführt werden, dass die Tätigkeitsausführung nicht durch reales Flugbegleitpersonal und mobilitätseingeschränkte Personen, sondern exemplarisch durch zwei an der Entwicklung des Hilfsmittels beteiligte und somit biomechanisch erfahrene Personen erfolgte. Dieser Kritik wird entgegengehalten, dass in diesem Beitrag der zunächst unumgängliche Nachweis einer möglichen Belastungsminderung beschrieben wird, der nachfolgende Erhebungen an größeren Kollektiven und/oder unter Praxisbedingungen weder ausschließt noch ersetzen will. In diesem Zusammenhang können auch die Rückmeldungen des an den Usability-Tests beteiligten Flugbegleitpersonals angeführt werden, die zwar subjektive Einschätzungen anstatt objektiv erhobener Ergebnisse darstellen, gleichwohl aber Belastungsminderungen benennen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass messtechnische Erhebungen mit Kraftmessplattformen im Flugzeug mit erheblichen Umbauten verbunden wären und daher – zumindest bei diesen pilotartigen Erhebungen – als unrealistisch anwendbare Methode eingestuft wurden. Auch ersatzweises Anbringen von Kraftsensoren in die seilartig gezogenen Gleittücher beinhalten erhebliche Änderungen der realen Bedingungen, sodass eine derartige Messmethodik im Vorhinein verworfen wurde.

Ein weiterer Nachteil des vorgestellten Ansatzes zur Bewertung der Belastung des unteren Rückens kann in der Beschränkung auf die Kenngröße „Bandscheibendruckkraft an der untersten Bandscheibe der Wirbelsäule, dem Lenden-Kreuzbein-Übergang“ gesehen werden. Zweifelsohne werden bei Ausführung von Umsetzungsvorgängen auch von Null verschiedene andere Belastungsformen wie Beuge- und Torsionsmomente sowie Scherkräfte nicht nur an der als Bezugspunkt gewählten Bandscheibe, sondern auch an den anderen Elementen der Lendenwirbelsäule bewirkt. Dennoch hat dieser *Surrogatansatz* zur Beschreibung der Belastung am unteren Rücken in den vergangenen Jahrzehnten bei Fragestellungen einer

ergonomischen Arbeitsgestaltung eine gewisse Akzeptanz, insbesondere auch durch Einbindung in die Normgebung, erfahren (z. B. [7, 14, 16]). Gleichwohl stellt dieser biomechanisch beschränkte Ansatz keinesfalls eine physiologisch umfassende Beurteilung der Beanspruchung des unteren Rückens dar.

Fazit für die Praxis

Zusammenfassend ermöglichen die neu entwickelten Gleittücher ein schnelles und einfaches Bewegen von mobilitätseingeschränkten Passagieren in Verkehrsflugzeugen. Die dabei auf das Flugbegleitpersonal einwirkenden Belastungen, insbesondere mit Bezug auf den unteren Rücken, sind deutlich vermindert und – aus Sicht des befragten Flugbegleitpersonals – auch spürbar verringert. Damit verbunden ist somit auch eine erhebliche Erniedrigung des biomechanischen Überlastungsrisikos, sodass ein manuelles Umsetzen von mobilitätseingeschränkten Personen aus ergonomischer bzw. arbeitsmedizinischer Sicht nicht mehr von vornherein ausgeschlossen werden muss und die beabsichtigte wirkungsvolle Unterstützung für das Flugbegleitpersonal im Umgang mit mobilitätseingeschränkten Passagieren nunmehr verfügbar ist.

Korrespondenzadresse

**Prof. Dr.-Ing.
Claus Backhaus**
Zentrum für Ergonomie und
Medizintechnik, FH Münster
Bürgerkamp 3, 48565 Stein-
furt, Deutschland
claus.backhaus@
fh-muenster.de

Danksagung. Ein besonderer Dank für die Mitarbeit in der Arbeitsgruppe gebühren Frau Shuyang Chen, Daniela Giese, Simone Harth und Herrn Markus Scheibinger, Frankfurt, sowie Frau Barbara-Beate Beck, Hamburg, für die Unterstützung bei der Vorbereitung. Frau Karin Lukaszewski und Herrn Alwin Luttmann (Dortmund) gilt unser Dank für die intensive Unterstützung bei der Durchführung der Labormessungen.

Funding. Open Access funding provided by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Backhaus, H. Homann und M. Jäger geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Die vorgelegte Studie beinhaltet keine Untersuchung an Menschen oder Tieren. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien. Für Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts, über die Patienten zu identifizieren sind, liegt von ihnen und/oder ihren gesetzlichen Vertretern eine schriftliche Einwilligung vor.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Backhaus C (2010) Usability-Engineering in der Medizintechnik – Grundlagen, Methoden, Beispiele. Springer, Berlin
- Backhaus C, Homann H, Harth S, Giese D, Chen S, Scheibinger M, Jäger M (2016) Entwicklung und Evaluation eines „Kleinen Hilfsmittels“ zum Transfer bewegungsbeeinträchtigter Personen in Verkehrsflugzeugen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA (Hrsg) Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human! 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 5 Seiten. GfA-Press, Dortmund
- Brooke J (1986) SUS: a “quick and dirty” usability scale. In: Usability evaluation in industry. Taylor and Francis, London
- DIN EN ISO 9241-210. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Berlin: Beuth-Verlag
- EG 1107/2006. Verordnung (EG) Nr. 1107/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juli 2006 über die Rechte von behinderten Flugreisenden und Flugreisenden mit eingeschränkter Mobilität. Amtsblatt der Europäischen Union, L204/1
- Hartmann B, Spallek M, Ellegast R (2013) Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen – Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation. Ecomed, Heidelberg
- ISO 11228-2 (2007) Ergonomics—Manual handling, Part 2: Pushing and pulling. International Organization for Standardization. Geneva: WHO
- Jäger M (2019) Die „Revidierten Dortmunder Richtwerte“ – Erweiterte Zusammenstellung von Autopsiematerial-Messungen der statischen lumbalen Kompressionsfestigkeit zur Ableitung von Referenzwerten für eine ergonomische Arbeitsgestaltung. Zentralbl Arbeitsmed 69:271–289
- Jäger M, Jordan C, Theilmeier A, Luttmann A (2013) Lumbar-load analysis of manual patient-handling activities for biomechanical overload prevention among healthcare workers. Ann Occup Hyg 57:528–544
- Jäger M, Luttmann A, Göllner R (2001b) Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule beim Handhaben von Lasten – Ableitung der „Dortmunder Richtwerte“ auf Basis der lumbalen Kompressionsfestigkeit. Zentralbl Arbeitsmed 51:354–372
- Jäger M, Luttmann A, Göllner R, Laurig W (2001a) “The Dortmunder”—biomechanical model for quantification and assessment of the load on the lumbar spine. In: Soc Automotive Engineers (Hrsg) SAE Digital Human Modeling ConfProcon CD-Rom (paper 201-01-2085, 9 pp), Arlington
- Kupske Y, Schinke D, Backhaus C (2017) “Protect your Back”—Interdisziplinäre Entwicklung und Implementierung eines Aktionstages zur Rückengesundheit an Rettungsdienstschulen. In: Ellegast R (Hrsg) 6. DGUV Fachgespräch Ergonomie. DGUV Report 2/2017. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, St. Augustin, S 103–107. ISBN 978-3-86423-201-5
- Lufthansa (2016) Fact-Sheet „Status PRM-Aufkommen in 2012/2013“. Unveröffentlichtes Dokument zum Anteil mobilitätseingeschränkter Personen (Passengers with Reduced Mobility – PRM): am Gesamtfluggastaufkommen für das Jahr 2012 und 2013. Lufthansa AG: Frankfurt am Main
- Mital A, Nicholson AS, Ayoub MM (1997) A guide to manual materials handling, 2. Aufl. Taylor & Francis, London
- Nielsen J (2001) Success rate—the simplest usability metric. <http://www.nngroup.com/articles/success-rate-te-simplest-usability-metric/>. Zugegriffen: 2018
- NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health (1981) Work practices guide for manual lifting, No. 81–122. Dept. Health and Human Services, Cincinnati
- Schiefer C, Brandt K, Göbel F, Hermanns I, Ditchen D (2017) Körperliche Belastung von Rettungskräften beim Treppentransport von Patienten. In: Ellegast R (Hrsg) 6. DGUV Fachgespräch Ergonomie. DGUV Report 2/2017. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, St. Augustin, S 99–102. ISBN 978-3-86423-201-5
- Statistika (2018) Dossier Flugpassagiere. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/11671/dokument/flugpassagiere-statista-dossier/>. Zugegriffen: 25. Mai 2018
- Statistisches Bundesamt (2011) Herausforderungen des demografischen Wandels. Expertise des Sachverständigenrats der Bundesregierung zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. DeStatis, Wiesbaden (<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/75371/1/659516950.pdf>). Entnommen am 18.4.2019