

Evaluierung der ergonomischen Qualität verschiedener Packbandabrollsysteme

Mario PENZKOFER, Karsten KLUTH

*Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen
Paul-Bonatz-Str. 9-11, D-57068 Siegen*

Kurzfassung: In einer Vergleichsuntersuchung galt es verschiedene Paketbandabroller auf ihre ergonomische Qualität hin zu untersuchen. Fünfzehn Probanden sollten dabei definierte „Verklebeaufgaben“ absolvieren. Neben der subjektiven Beurteilung der Gestaltungsmerkmale der Abroller wurde geprüft, ob und wie sich die verschiedenen Konstruktionen objektiv nachweisbar auf die Muskelbeanspruchung auswirken. Dazu wurden die elektromyographischen Aktivitäten von insgesamt acht oberflächlich liegenden Muskeln des rechten Hand-Arm-Schulter-Systems während des Paketverklebens mit den verschiedenen Abrollern abgeleitet. Die Ergebnisse belegen, dass durchaus signifikante Unterschiede in der muskulären Beanspruchung zwischen den Systemen bestehen. So wies der unter ergonomischen Gesichtspunkten neu entwickelte Abroller vor allem bei der betrachteten Engpassmuskulatur, die für die Bewegung des Handgelenks verantwortlich ist, substantiell niedrigere Beanspruchungen auf.

Schlüsselwörter: Elektromyographie, physiologische Kosten, subjektive Befragung, Abroller, Hand-Arm-Schulter-System

1. Einleitung

Amazon, Zalando etc. werben wie viele Online-Warenhäuser mit Expresslieferungen teilweise schon am nächsten Tag. Um eine möglichst schnelle Lieferung sicherzustellen, generiert die Lagerverwaltungssoftware zunächst eine Pickliste auf Basis mehrerer Bestellungen. Sogenannte „Picker“ stellen die angeforderten Waren dann zusammen. Geleitet werden sie dabei ebenfalls über das Computersystem, das ihnen die Art und Menge der Waren sowie optimierte Kommissionierwege vorgibt. Die zusammengestellten Waren werden anschließend von Versandmitarbeitern den einzelnen Bestellungen zugeordnet und in entsprechende Versandfächer verteilt. Das Verpacken überlässt der Computer dann allerdings noch oft dem Menschen. Aufgrund der unterschiedlichen Waren von Büchern, Kleidung, Schuhen über Spielwaren bis hin zu Haushalts- und Elektrogeräten etc. ist hier ein hohes Maß an Flexibilität gefordert. Noch ist der Mensch hier schneller als der Roboter. Um die geforderten Mengen bewältigen zu können und dabei gleichzeitig einen sicheren Versand zu gewährleisten, kommt einem recht unscheinbaren Hilfsmittel eine große Bedeutung zu. Der Paketbandabroller dient nicht nur dazu, die Verpackung verletzungs- und transportsicher mit Klebeband zu versehen, zusätzlich soll er bei der Vielzahl der Verpackungsvorgänge auch ein handgelenkschonendes Handling ermöglichen. Wenn in Spitzenzeiten mehr als 200 Verpackungsvorgänge pro Schicht ausgeführt werden müssen, ist es nachvollziehbar, welche negativen Auswirkungen ein nicht optimal gestaltetes Arbeitsmittel auf das Hand-Arm-Schulter-System haben

kann, wenn zur Ausführung der Arbeit ungünstige Handgelenkwinkel in den anatomischen Grenzbereichen erforderlich sind.

Um den aktuellen Stand der Technik zu dokumentieren und sowohl einen objektiven als auch durch subjektive Eindrücke unterstützten Vergleich durchzuführen, wurden in Arbeitsversuchen mit insgesamt 15 Probanden zwei Standard- sowie ein neuentwickelter Abroller, der ein handgelenkschonendes Arbeiten ermöglichen soll, auf ihre ergonomische Qualität hin untersucht.

Dabei wurde das Hauptaugenmerk der vergleichenden Untersuchung auf die Analyse der Handseite der Arbeitsmittel sowie auf die durch die Abroller verursachte muskuläre Beanspruchung des Hand-Arm-Schulter-Systems gelegt. Weiterhin sollten die Gestaltungselemente der Abroller mit Hilfe eines Fragebogens subjektiv beurteilt werden. Die Darstellung dieser Ergebnisse sollte die Vor- und Nachteile der verschiedenen Modelle widerspiegeln und u. U. Gestaltungshinweise ableiten lassen.

2. Methodik

Die Gestaltung der Arbeitsversuche war darauf ausgerichtet, die Gegebenheiten und Bedingungen der Arbeitswelt im „Mikrokosmos“ des Labors möglichst realitätsnah abzubilden. Letztlich müsste eine große Zahl von Parametern in die Versuchsgestaltung einfließen, die jedoch nicht unter Laborbedingungen simuliert werden können. Daher musste eine Beschränkung auf einige signifikante Parameter erfolgen. Wichtige Parameter bei der Arbeit mit dem Arbeitsmittel sind die

- Kopplungsbedingungen zwischen dem Griff und der menschlichen Hand,
- Greifart mit dem Arbeitsmittel,
- Handhaltung der Arbeitsperson sowie
- Ausrichtung der Arbeitsfläche (hier der Pakete) zur Stellung des Körpers.

Für diese Parameter mussten konstante Bedingungen hergestellt werden, um die Reproduzierbarkeit der Studie zu gewährleisten.

In der Vergleichsuntersuchung sollten von 15 Probanden definierte Verklebeporgänge mit verschiedenen Packbandabrollsystemen (siehe Abb. 1) ausgeführt werden. Zu den Untersuchungsgegenständen zählten zwei Standard-Abroller, wobei einer dieser Abroller ein defektes Messer aufwies, sowie ein neu entwickelter Abroller, der ein handgelenkschonendes Arbeiten ermöglichen soll.

Um eine reliable und valide ergonomische Evaluierung der Testobjekte zu ermöglichen, wurden Versuchsaufgaben vorgegeben, die mögliche Beanspruchungsunterschiede durch die unterschiedlichen Paketbandabroller auch sichtbar bzw. subjektiv



Abbildung 1: Untersuchungsgegenstände: Standardabroller (1), Standardabroller mit defektem Messer (2), Neuentwicklung ZeroTape-Abroller (3).

spürbar werden ließen. Dabei wurde die Kartongröße (3 Größen) sowie die Ausrichtung der Kartons zu den Probanden (3 Winkelstellungen) variiert. Für jeden Abroller ergaben sich somit 9 verschiedene Versuchssituationen, die 3-mal wiederholt wurden. Da innerhalb jedes Durchgangs 3 Verklebungen getätigt werden mussten, war somit jeder Abroller 81-mal über die Kartons zu führen. Aufgrund dieser Vielzahl von Verklebungen kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden nach kürzester Zeit im Umgang mit den Abrollern geübt waren. Um allerdings den Einfluss dieser Trainings- und somit ggf. auftretender „cross-over“ Effekte zu minimieren, wurde der Versuchsablauf komplett randomisiert bzgl. Abroller, Kartongröße und -ausrichtung.

Die Probandengruppe bestand hauptsächlich aus Novizen, d.h. aus Probanden mit nur wenig Erfahrung im Umgang mit Paketbandabrollern. Lediglich drei Probanden hatten durch nebenberufliche Tätigkeiten in Einzelhandel und Logistik größere Erfahrung mit Abrollern vorzuweisen, für einen Probanden sind Abroller das Hauptarbeitsmittel. Bzgl. Alter, Körpergröße und Ellenbogenhöhe konnte das Kollektiv als durchaus homogen bezeichnet werden.

Um die zu erwartenden unterschiedlichen Muskelbeanspruchungen bei der Nutzung der verschiedenen Abroller quantifizieren zu können, wurden nach vielfach bewährten Methoden (vgl. Übersichten bei Strasser 1996) kontinuierliche elektromyographische Ableitungen während der Arbeitsversuche vorgesehen. Während der Verklebevorgänge wurden diese Biosignale über bipolare Ableitungen unter Einsatz eines speziellen Messsystems zur Registrierung der Elektromyographischen Aktivität (EA) von den Probanden erfasst und aufgezeichnet.

Da Amplitudenwerte aus elektromyographischen Ableitungen nicht ohne weiteres als Beanspruchungsdaten interpretierbar sind (vgl. hierzu Penzkofer et al. 2015), wurden mit Hilfe von maximalen Willkürkontraktionen die dabei auftretenden elektromyographischen Aktivitäten (EA_{max}) am Ende jedes Versuches gemessen. Damit und durch Registrierungen der Ruheaktivität EA_0 (zu Beginn des Versuches) konnten für sämtliche Arbeitsphasen normierte (standardisierte) elektromyographische Aktivitäten errechnet werden.

Da bei dem Verkleben von Kartons und dem Führen von Paketbandabrollern vornehmlich Muskeln des Unter- und Oberarms sowie der Schulter beansprucht werden, wurden die in Abbildung 2 dargestellten 8 Muskeln in die Untersuchungen einbezogen.

Neben der Aufnahme objektiver Messdaten bzgl. der Muskelaktivität wurden die Untersuchungsobjekte zusätzlich einer subjektiven Beurteilung durch die Probanden unterzogen. Bereits vor Beginn der praktischen Versuchsreihen wurden die Ver-

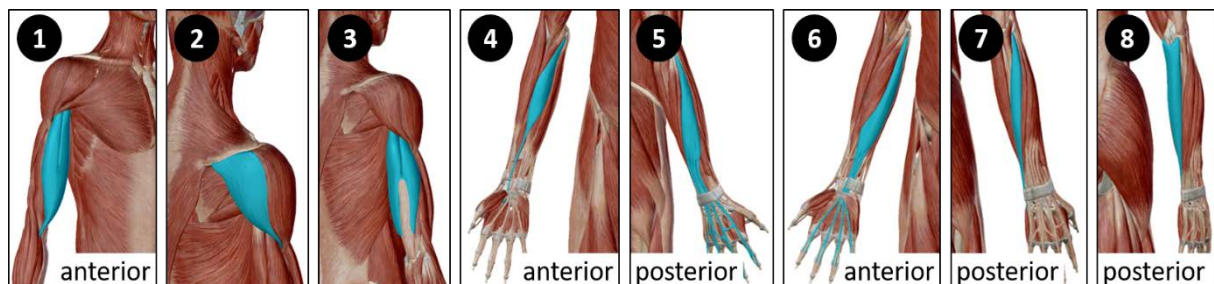


Abbildung 2: Lage der via OEMG abgeleiteten Muskeln des rechten Hand-Arm-Schulter-systems: 1) *m. biceps brachii*; 2) *m. deltoideus pars spinalis*; 3) *m. triceps brachii*; 4) *m. flexor carpi radialis*; 5) *m. extensor digitorum*; 6) *m. flexor digitorum superficialis*; 7) *m. extensor carpi ulnaris*; 8) *m. flexor carpi ulnaris* (Abb. erstellt mit Visible Body)

suchspersonen zu ihrer physischen Verfassung (Muskelkater, Verspannungen, Verletzungen o.ä.) besonders im Hand-Arm-Schulter-System befragt. Teile des Fragebogens waren auch während und am Ende des Versuchstages zu beantworten, um so die Arbeitserfahrungen mit den Versuchobjekten zu erfassen. Nach der Arbeit mit jedem einzelnen Abroller wurden die Versuchspersonen zu der von ihnen empfundenen körperlichen Beanspruchung befragt. Ein hoher Standardisierungsgrad der Fragen sollte die Vergleichbarkeit der Antworten der verschiedenen Probanden gewährleisten. In dem prinzipiell bereits mehrfach bewährten bipolaren Fragebogen (vgl. u.a. Penzkofer et al. 2015; Kluth & Keller 2014) sollten weiterhin eine Reihe bestimmter Merkmale der Paketbandabroller beurteilt werden. Neben dem Einsatz einfacher Antwortskalen sollte die Verwendung der Gesichterskala nach Kunin (1955) die Beantwortung erleichtern und die Anzahl möglicher Ankreuzfehler minimieren.

3. Ergebnisse und Diskussion

In nachfolgender Abbildung 3 sind die Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst dargestellt. Die während der Verklebeversuche mit dem ZeroTape ermittelten standardisierten elektromyographischen Aktivitäten, d.h. die hierbei auftretenden Beanspruchungen, wurden als Referenz gesetzt und die muskulären Mehr- bzw. Minderaktivitäten der anderen Abroller entsprechend berechnet.

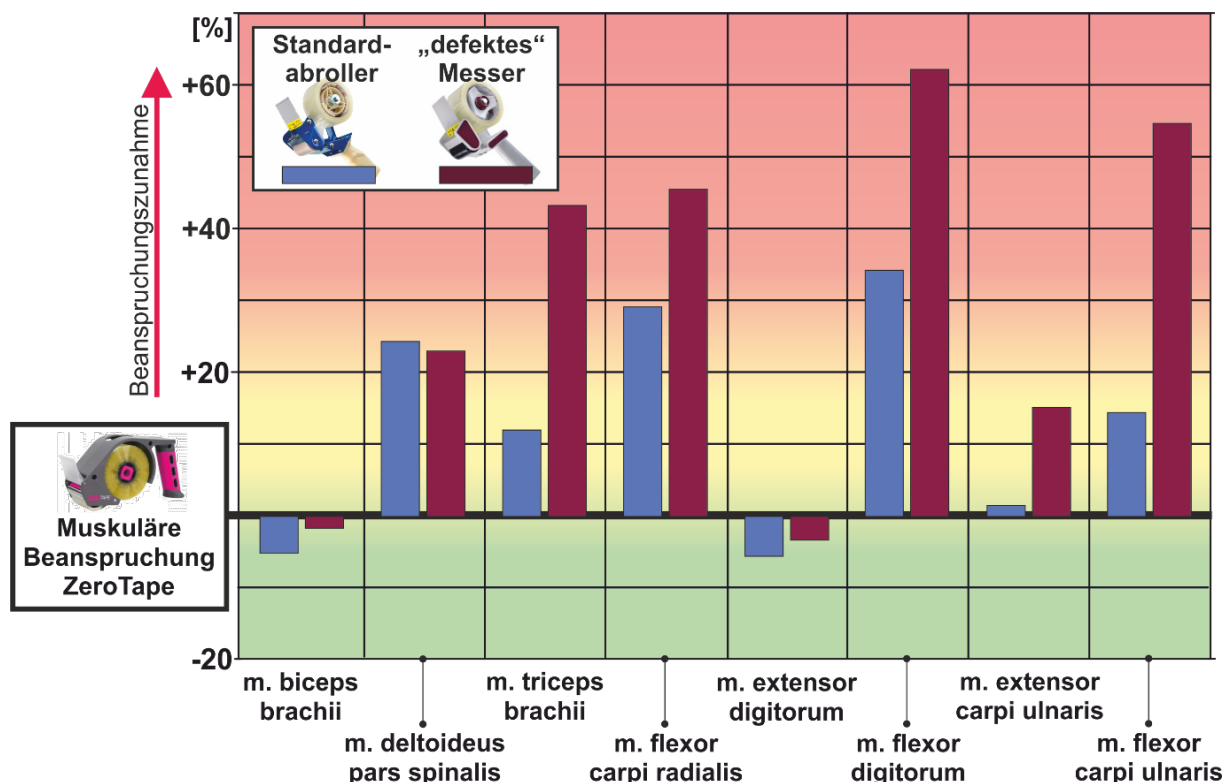


Abbildung 3: Muskuläre Mehr- oder Minderbeanspruchung in % bei Verwendung eines Standard-abrollers mit und ohne defektem Messer im Vergleich zum Referenzabroller ZeroTape (Mittelwert über 15 Probanden).

Aus den Ergebnissen der Untersuchung lässt sich feststellen, dass der ZeroTape-Abroller durchaus eine wertvolle ergonomische Weiterentwicklung darstellt. So führt

die Nutzung eines Standardabrollers bei 5 der 8 betrachteten Muskeln zu deutlich höhere Beanspruchungen.

Durch die neuartige Konstruktion werden physiologisch ungünstige Auslenkungen des Handgelenks während des Verklebevorgangs zwar nicht gänzlich vermieden, aber zumindest deutlich reduziert. Dies ist gerade bei den stark handgelenksbelastenden Ansetz- und Abtrennvorgängen erkennbar (siehe Abb. 4). Im Vergleich zum Standardabroller werden hierdurch die muskulären Beanspruchungen der an diesen Vorgängen beteiligten Muskeln *m. flexor carpi radialis* (ca. -15 %) und *m. flexor carpi ulnaris* (ca. -30 %) zum Teil deutlich gemindert.

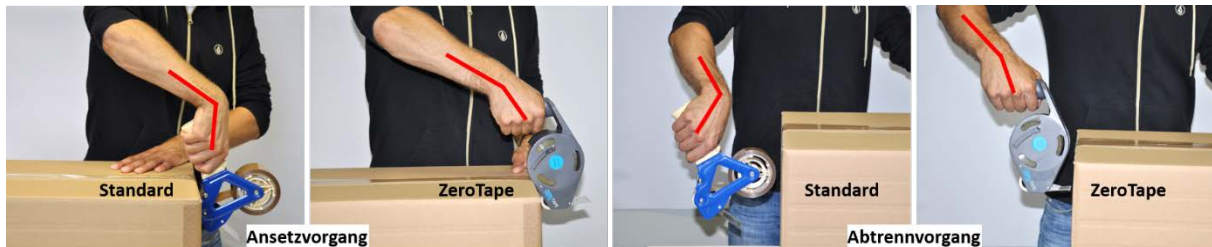


Abbildung 4: Auslenkungen des Handgelenks beim Ansetz- und nach dem Abtrennvorgang bei der Nutzung von Standardabroller und ZeroTape.

Die größten Einsparungen der Muskelkraft können – wiederum im Vergleich zum Standardabroller – allerdings beim *m. flexor digitorum* (-35 %) erreicht werden, was auf das Halten des ZeroTape-Abrollers in einer formschlüssigen Verbindung von Griff und Hand zurückzuführen ist (siehe Abb. 5). Hier zeigt die neue Konstruktion somit ihre größten Vorteile gegenüber dem klassischen Design.



Abbildung 5: Darstellung der verschiedenen Kopplungsarten bei der Verwendung des Standardabrollers (links: Reibschluss) und des ZeroTape (rechts: Formschluss). Rote Pfeile markieren die entsprechenden Krafrichtungen.

Die geminderten Auslenkungen des Handgelenks bringen in Verbindung mit der deutlich geringeren Greifkraft noch weitere Vorteile mit sich. So werden hierdurch mögliche Einschränkungen des Handgelenks (Sehneninsuffizienz) sowie das Auftreten von Beschwerden (Kompressionssyndrome, z.B. im Kubitaltunnel und Epicondylitis ugs. Tennisarm) reduziert (siehe hierzu auch Schulte-Mattler & Grimm 2015; Mayer & Siems 2011).

Der in Verbindung mit dem entsprechenden Klebeband messbar geringere Abrollwiderstand des ZeroTape entlastet zudem die Schultermuskulatur, insbesondere den *m. deltoideus pars spinalis* (-25 %).

Die Auswirkungen eines beschädigten Messers werden ebenfalls deutlich (siehe Abb. 3). Durch den erschwerten Abtrennvorgang steigen die muskulären Beanspruchungen (teilweise > 60 %) der Muskeln, die hauptsächlich in die Bewegung des Handgelenks involviert sind, sowie des m. triceps brachii, der für die Streckung des Unterarms im Ellenbogengelenk mitverantwortlich ist, enorm an. In der Praxis sind demnach Abroller mit versenkbarem Sicherheitsmesser (wie z.B. beim ZeroTape) uneingeschränkt zu bevorzugen und zudem auf eine einwandfreie Funktion des Messers zu achten.

Insgesamt wird die Engpassmuskulatur in Schulter und Unterarm während der Nutzung des ZeroTape durchschnittlich um fast 25 % entlastet. Da in vielen Logistikbereichen Packbandabrollsysteme oftmals auch im Dauereinsatz verwendet werden, stellt diese muskuläre Entlastung nicht nur eine enorme Arbeitserleichterung dar. Darüber hinaus kann durch die natürlichere Handhaltung gerade bei den kritischen Ansetz- und Abtrennvorgängen das Auftreten möglicher Beschwerden in Muskeln und Gelenken verringert werden. Leider spiegelte sich dieser Aspekt nicht in der subjektiven Befragung wider, da nur in Einzelfällen überhaupt Beschwerden in den abgefragten Körperregionen (von Finger bis Nacken) genannt wurden.

In der Befragung bzgl. der Gestaltungselemente konnte der ZeroTape dann aber wieder deutlich punkten und das insgesamt beste Ergebnis erzielen (hier graphisch nicht dargestellt). Insbesondere die Aspekte Sicherheit, Beanspruchung des Handgelenks und seine generelle Handhabbarkeit während des Verklebevorgangs sprechen für das neue Modell. Hierbei wird vor allem das funktionelle Design des Abrollers gelobt, welches Auslenkungen des Handgelenks bis in seine Grenzbereiche verhindert. Allerdings zeigt der ZeroTape immer noch Schwächen im Griff-Design. So wird die Gestaltung des Griffes (Längskontur und Querschnitt) von einem Großteil der Probanden moniert. Das durchwachsene Ergebnis ist darauf zurückzuführen, dass der Griff des ZeroTape keinerlei Konturen aufweist und damit eher nicht an die Hand angepasst scheint. Generell werden Griffmulden, welche die Kompatibilität in der motorischen Nahtstelle zwischen Mensch und Arbeitsmittel erhöhen und oftmals schon an den Griffen klassischer Abrollern zu finden sind, deutlich positiver bewertet. Genau an diesen Punkten gilt es also bei einer zukünftigen Optimierung anzusetzen.

4. Literatur

- Kluth K, Böhlemann J, Strasser H (1994) A System for a Strain-oriented Analysis of the Layout of Assembly Workplaces. *Ergonomics* 37 (9) 1441-1448
- Kunin T (1955) The Construction of a New Type of Attitude Measure. *Personnel Psychology*, Vol. 8, S. 65-78
- Mayer C, Siems W (2011) Epicondylitis bzw. Epicondylopathie. 100 Krankheitsbilder in der Physiotherapie. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg
- Penzkofer M, Henke AS, Kluth K (2015) Evaluation of the ergonomic quality of screwdrivers via electromyographic and subjective methods. *Occupational Ergonomics* 12, 3-18
- Schulte-Mattler WJ, Grimm T (2015) Häufige und nicht so häufige Engpasssyndrome. *Der Nervenarzt* 86 (2), 133-141
- Strasser H (1996) Electromyography of Upper Extremity Muscles and Ergonomic Applications. In: Kumar S, Mital A (Ed.) *Electromyography in Ergonomics: Fundamentals, Applications and Case Studies*. Taylor & Francis, London, 183-226



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(F)T
Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung

64. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FOM Hochschule für
Oekonomie & Management gGmbH

21. – 23. Februar 2018

GfA Press

Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21. – 23. Februar 2018

FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2018

ISBN 978-3-936804-24-9

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

USB-Print:

Prof. Dr. Thomas Heupel, FOM Prorektor Forschung, thomas.heupel@fom.de

Screen design und Umsetzung

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de