

## **Einfluss von Montagematten auf die muskuläre Beanspruchung der unteren Extremitäten beim Stehen/Gehen in einer simulierten U-Montagelinie – eine Pilotstudie**

Jurij WAKULA, Tobias VETTER, Andreas WEIL

*Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

**Kurzfassung:** Auswirkungen der Bodenmatten und Sicherheitsschuhe auf muskuläre Beanspruchungen in drei Muskeln der unteren Extremitäten bei Montagetätigkeiten in der simulierten „kreisförmigen“ U-Linie wurden in der Laborstudie mittels OEMG-Methode analysiert. Messungen wurden mit Stehen/Gehen auf Linoleum-Bodenbelag mit und ohne Gummimatten durchgeführt. Sechs junge männliche Probanden ohne Praxiserfahrung trugen einheitliche Sicherheitsschuhe und nahmen an der Studie teil. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der lokalen Beanspruchung in den 6 analysierten Muskeln bei den Bewegungen in der U-Linie mit und ohne Montagematten. Die Ergebnisse müssen in einer Praxisstudie mit längeren Analysezeiten überprüft werden.

**Schlüsselwörter:** Montagematten, Stehen/Gehen, U-Linie, Sicherheitsschuhe, EMG

### **1. Einleitung**

Bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen in der industriellen Produktion werden oft sog. ergonomische Bodenmatten verwendet, um in der Kombination mit Sicherheitsschuhen die Belastungen / Beanspruchungen im muskuloskelettalen System des gesamten Körpers und besonders in den unteren Extremitäten, vor allem an Steharbeitsplätzen, zu reduzieren. In modernen Produktionssystemen z.B. U-Montagelinien sind Steh- und Geharbeitsplätze kombiniert vertreten, mit häufigen Bewegungen der Arbeitsperson innerhalb der Linie – besonders mit kurzen Zykluszeiten. Nach Rückmeldungen aus der Praxis, wird beim Stehen bzw. Gehen auf der Bodenmatten ein Einfluss auf die Belastung/ Beanspruchung des Muskel-Skelettapparates vermutet.

Einige Studien (z. B. Hansen et al., 1998; Kim et al., 1994, Cham und Redfern, 2001, King, 2002) haben sich bereits mit dem Einfluss von unterschiedlichen Bodenbelägen, teilweise in Kombination mit Arbeitsschuhen, auf das subjektive Empfinden und/oder objektive biomechanische und physiologische Messgrößen beschäftigt. Diese Studien kamen zu unterschiedlichen Erkenntnissen, was darauf hindeutet, dass der Einfluss von verschiedenen Bodenbelägen z. B. auf die unteren Extremitäten noch nicht vollkommen feststeht.

## 2. Methodik

### 2.1 Oberflächen-Elektromyographie (OEMG)

Die objektiven Beanspruchungsdaten wurden mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG, Strasser, 1996) gemessen und analysiert.

Für die EMG-Aufnahme wurde ein portables TeleMyo 2400 G2 Gerät von Noraxon verwendet. Die myoelektrischen Signale wurden mittels Oberflächenelektroden von jeweils drei Oberflächenmuskeln des Beins auf der rechten und linken Seite beim Ausführen der Tätigkeiten in der kreisförmigen U-Linie erfasst. Die folgenden Muskeln der M. quadriceps femoris (vastus lateralis), der M. tibialis anterior und der M. gastrocnemius (medialis) wurden für die Studie gewählt (s. Abbildung 1).



Abbildung 1: Ableitorte an Beinmuskeln

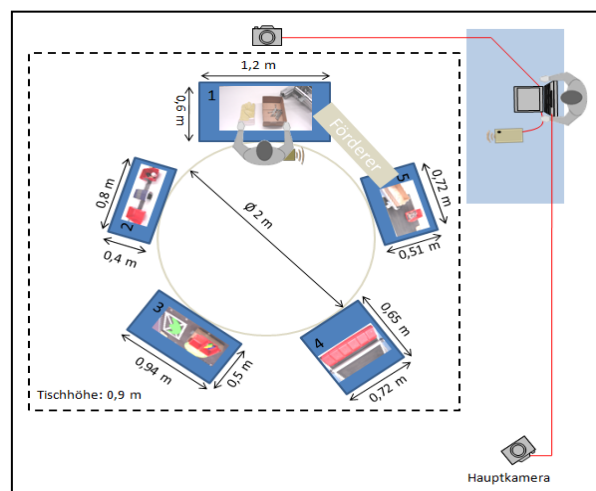


Abbildung 2: Layout der U-Linie im Labor

### 2.2 Versuchslayout und Szenarios

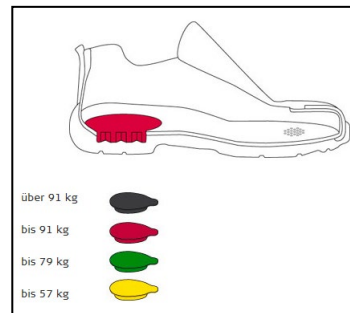
Die im Labor aufgebaute U-Montagelinie besetzte ein Kreis-Layout und war in ihrer Gestaltung an eine in der Praxis real existierende Linie angelehnt. Als Grundriss diente ein Kreis mit einem Durchmesser von zwei Metern, um den fünf Stationen gleich verteilt angeordnet waren (s. Abbildung 2, Weil, 2017). Die ersten vier Stationen simulierten in der Untersuchung Montage-, die fünfte Station Verpackungstätigkeiten. Die Höhe der Arbeitsflächen wurde während der gesamten Untersuchungen nicht verändert und betrug an allen Stationen einheitlich 900 mm. Der Tätigkeitsablauf über die einzelnen Stationen wiederholte sich pro Messreihe ca. 20 Minuten lang, was in etwa 24 Runden in der U-Linie bei einer Zykluszeit von 50 s oder 40 Runden in der U-Linie bei einer Zykluszeit von 30 s entsprach. In der Regel hielten die Probanden, die an den einzelnen Stationen eingeplanten Zeiten nach einer kurzen Einarbeitungszeit relativ gut ein.

Die Matten hatten Abmessungen von 640x 940 mm und eine Dicke von 15 mm. sowie verfügten an der Oberfläche über ein Riffelblechdesign. An der Unterseite der Matten befand sich ein Rillenprofil. Die Probanden haben drei Messreihen absolviert:

- Messreihe 1- Bewegen auf Bodenmatten mit Arbeitsschuhe
- Messreihe 2- Bewegen auf Linoleumboden ohne Matten mit Arbeitsschuhe
- Messreihe 3- Bewegen auf Bodenmatten mit Schuhe und Einlegesohlen

Alle Probanden haben die Sicherheitshalbschuhe vom Typ „FA 744“ getragen. Sie stammten von der Firma STEITZ SECURA GmbH + Co. KG. (s. Abb. 3a, Vetter, 2017). Das Besondere an diesen Schuhen sind die austauschbare Fersendämpfungselemente (s. Abb. 3b), die für ein auf die individuellen Bedürfnisse des Trägers abgestimmtes Dämpfungsverhalten sorgen.

Um hier eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden alle Messreihen in der Studie ausschließlich mit dem roten Dämpfungselement durchgeführt.



**Abbildung 3a:** Sicherheitshalbschuh FA 744; **Abbildung 3b:** Fersendämpfung SECURA VARIO®

### 2.3 Fragebogen zur subjektiver Belastungsbewertung

Zusätzlich zu der Erhebung objektiver Daten mit der EMG-Methode wurde in der Studie ein Fragebogen für die Analyse der subjektiven empfundenen Belastung erarbeitet und eingesetzt. Im ersten Teil des Fragebogens, der jeweils nur einmalig vor Versuchsbeginn auszufüllen war, wurden persönliche Daten wie Geschlecht, Alter, Körpergröße und Gewicht abgefragt. Weiterhin war eine Einschätzung zum persönlichen Fitnessgrad insgesamt und am Versuchstag einzutragen. Im zweiten Teil des Bogens, welcher nach dem Durchlauf jeder Messreihe auszufüllen war, musste anhand einer fünf-stufigen Ordinalskala von „gar nicht“ bis „außerordentlich“ eine Einschätzung über die insgesamt wahrgenommene körperliche Belastung abgegeben werden.

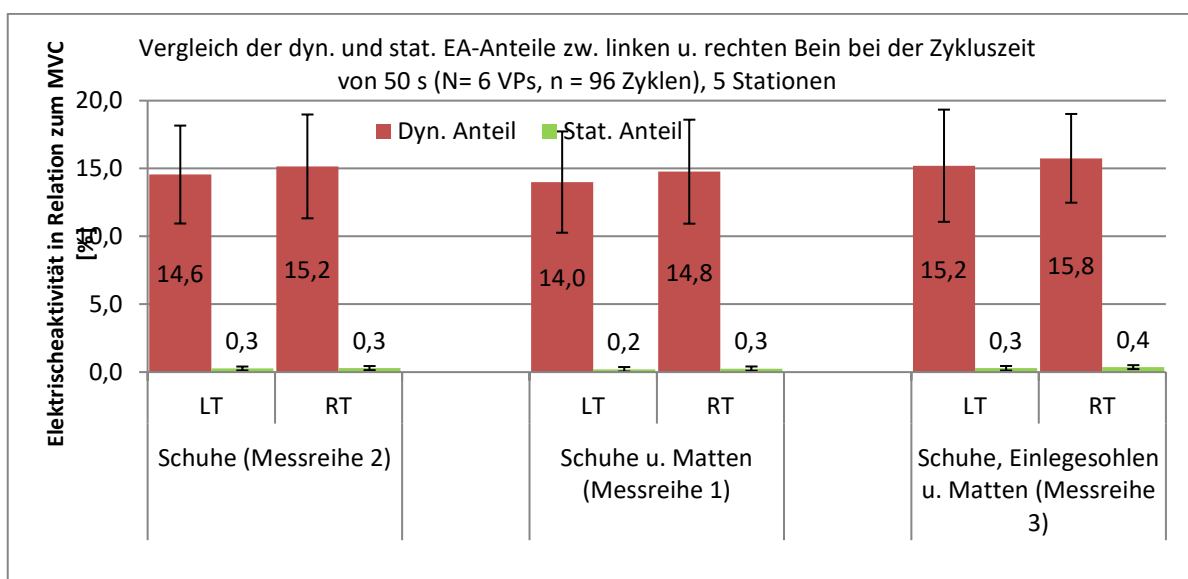
### 2.4 Probanden

In der Studie wurde angestrebt eine möglichst homogene Personengruppe zu haben. Aus diesem Grund nahmen sechs männliche gesunde Studenten ohne Praxiserfahrung in der Montage mit einem Durchschnittsalter von 25,1 Jahren ( $\pm 2,9$  Jahre) an der Studie teil. Die Probanden hatten eine Körpergröße von im Durchschnitt 177,6 cm ( $\pm 6,3$  cm) sowie ein mittleres Gewicht von 80,8 kg ( $\pm 11$  kg).

## 3. Ergebnisse

Bei einer Betrachtung der Art des Gehens („normales Gehen“/„seitliches Gehen“, Wakula et al., 2017a,b) in der simulierten U-Linie, ist festzustellen, dass insgesamt über 90 % „normales Gehen“ und bis 10 % „seitliches Gehen“ vorgekommen war. Diese Ergebnisse sind anhand von Auswertung mehrere Zyklen ( $>100$ ) bei verschiedenen Probanden gewonnen worden.

Die Ergebnisse der EMG-Analyse der dynamischen und statischen EA-Anteile zusammengefasst von drei Muskel bei drei analysierten Messreihen sind in der Abbildung 4 dargestellt. Hier wurden EA der entsprechenden Muskeln entsprechend zu linken und rechten Bein zusammengefasst. Anhand der Grafik ist festzustellen, dass die dynamischen EA-Anteile beim Bewegen auf Montagematten und Tragen von Sicherheitsschuhen (Messreihe 1) am niedrigsten sind. Die höchsten dynamische EA-Anteile liegen beim Tragen von Sicherheitsschuhen mit Einlagen mit zusätzlich ausgelegten Montagematten (Messreihe 3) vor. Gleichzeitig ist deutlich zu erkennen, dass die statischen EA-Anteile mit Werten von unter 0,5 % von MVC sehr gering sind. Dies ist dadurch zu erklären, dass während der Tätigkeit keine statischen Körperhaltungen eingenommen wurden. Bei den dynamischen EA-Anteilen weist hingegen bei allen Messreihen das rechte Bein mit drei analysierten Muskel etwas höhere Werte als das linke Bein auf.

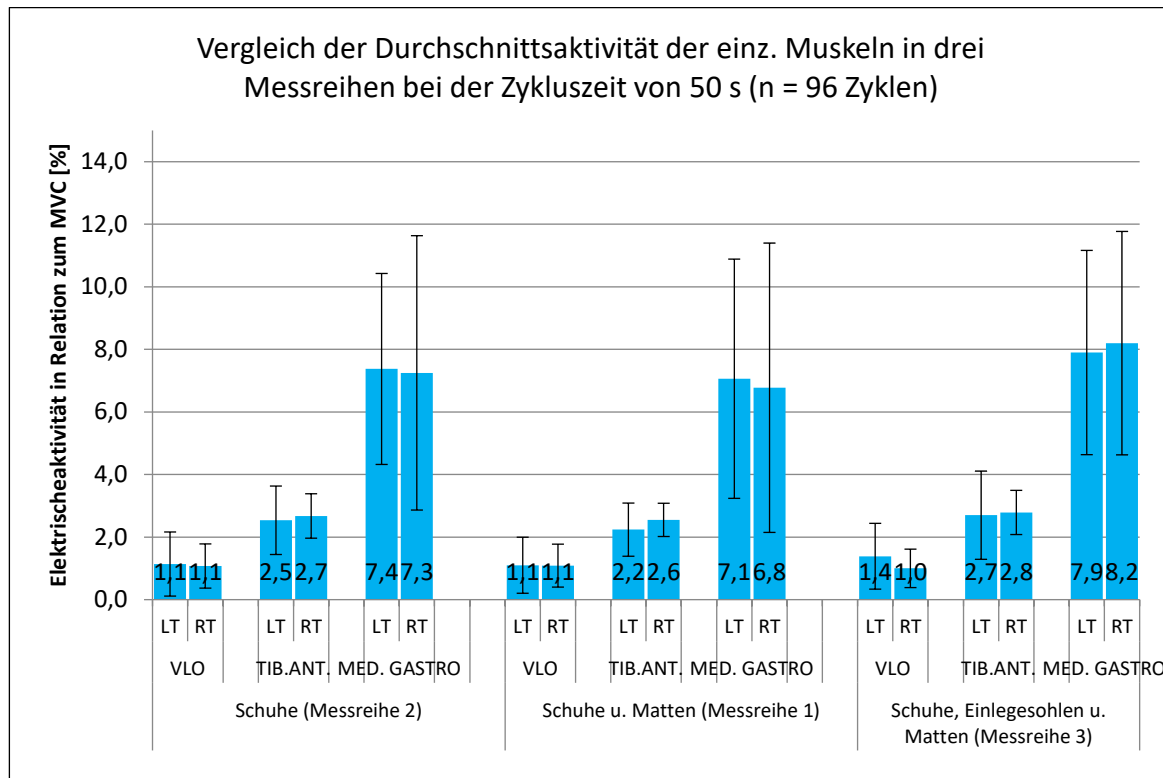


**Abbildung 4:** Vergleich der dynamische und statische EA-Anteile zwischen linken u. rechten Bein bei Zykluszeit von 50 s (N= 6 VPs, n = 96 Zyklen), 5 Stationen

Abbildung 5 stellt einen Vergleich der Durchschnittsaktivität der einzelnen drei untersuchten Muskeln dar.

Betrachtet man die jeweiligen Messreihen, so wird in allen drei der M. gastrocnemius (medialis) (MED. GASTRO) sowohl im linken als auch im rechten Bein, stets am stärksten beansprucht. Die geringsten EA in % von MVC zeigte M. quadriceps femoris (vastus lateralis) (VLO) beim Tragen von Sicherheitsschuhen auf Montagematten sowie auch beim alleinigen Tragen von Sicherheitsschuhen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Muskeln ist des Weiteren, wie bereits zuvor bei der Betrachtung der Beine festzustellen, dass die muskuläre Beanspruchung bei allen untersuchten Muskeln bei der Messreihe 1 am geringsten und bei der Messreihe 3 am höchsten war.



**Abbildung 5:** Vergleich der Durchschnittsaktivität der einzelner Muskeln in drei Messreihen bei Zykluszeit von 50 s (N= 6 VPs, n = 96 Zyklen)

#### 4. Diskussion

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der lokalen Beanspruchung in den drei analysierten Muskeln bei den Bewegungen innerhalb „kreisförmiger“ U-Linie mit und ohne Montagematten. Die gewonnenen Ergebnisse müssen in einer Praxisstudie mit längeren Analysezeiten überprüft werden.

Hübner et al. (2013) wiesen einen deutlichen Optimierungseffekt in muskulären Beanspruchung bei Verwendung einer gewichtsangepassten Fersendämpfung nach. In ihrer Studie mit 73 männlichen Probanden zeigte sich deutlich, dass nicht nur zu wenig Dämpfung negative Auswirkungen auf die muskuläre Beanspruchung hat, sondern auch eine zu starke Dämpfung.

Es ist ebenfalls zu berücksichtigen, wie sich die Veränderung der Dämpfungseigenschaften auf lange Zeit gesehen auf die muskuläre Aktivierung auswirkt, da eine erhöhte EA in den Muskel zu positiven Trainingseffekten führen kann, die eine Verringerung der Verletzungsrisiken bewirken könnten (Leufke, 2010). Im Gegenzug können erhöhte muskuläre EA auch zu einer Ermüdung führen, die wiederum eine erhöhte Verletzungsgefahr zur Folge haben könnte (Christina et al., 2001).

Gleichzeitig konnten die Ergebnisse aus früheren Studien (z.B. Wakula et al., 2017a, b) bestätigt werden, dass beim Bewegen gegen den Uhrzeigersinn in einigen Muskel des rechten Beines höhere normierte EA-Werte im Vergleich mit dem gleichen Muskel der linken Körperseite auftreten.

## 5. Literatur

- Cham, R. & Redfern, M. S. (1999). The influence of flooring on subjective standing comfort and fatigue. Human Factors and Ergonomics Society /HFES) 43<sup>rd</sup> Annual Meeting, September 27 - October 1, 1999, Houston, Texas, USA; Proceedings: Santa Monica: <http://hfes.org/Meetings/AM-1999.html>
- Christina, K. A., White, S. C. & Gilchrist, L. A. (2001). Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. Human Movement Science, 20(3), S. 257-276.
- Hansen, L., Winkel, J. & Jørgensen, K. (1998). Significance of mat and shoe softness during prolonged work in upright position: based on measurements of low back muscle EMG, foot volume changes, discomfort and ground force reactions. Applied Ergonomics, 29 (3), S. 217-224.
- Hübner, A., Schenk, P., Grassme, R., Mädge, L. & Anders, C. (2013). Fersendämpfungselemente in Sicherheitsschuhen bewirken eine Ökonomisierung der Muskelaktivität. ZBI Arbeitsmed, 63, S. 324-329
- Kim, J. Y., Stuart-Buttle, C. & Marras W. S. (1994). *The effects of mats on back and leg fatigue*. Applied Ergonomics, 25 (1), S. 29-34
- Leufke, S. S. (2010). Langfristige Auswirkungen der funktionalen Dämpfung im Arbeitsschuh. Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, Medizinische Fakultät
- Ochsmann, E., Noll, U., Ellegast, R., Hermanns, I. & Kraus, T. (2016). Influence of different safety shoes on gait and plantar pressure: a standardized examination of workers in the automotive industry. J Occup Health, 58, S. 404-412.
- Strasser H (1996). Beanspruchungsgerechte Planung und Gestaltung manueller Tätigkeiten – Elektromyographie im Dienst der menschengerechten Arbeitsgestaltung, Hrsg.: Ecomed Verlag, Landsberg/Lech.
- Vetter, T. (2017). Analyse und Vergleich von Belastungen und Beanspruchungen der unteren Extremitäten bei der Arbeit an der U-Montagelinie mit kurzen Taktzeiten und verschiedenen Bodenbelägen sowie Sicherheitsschuhen im Labor und in der Praxis. Masterthesis, TU Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Wakula J, Bauer S, Spindler S, Bruder, R. (2017) Analyse von Belastungen und muskulären Beanspruchungen der unteren Extremitäten beim „seitlichen“ Gehen an einer simulierten Montagelinie mit unterschiedlichen Laufrichtungen und kurzen Taktzeiten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. Springer-Verlag, <https://doi.org/10.1007/s41449-017-0074-7>
- Wakula J, Möglich, D, Bruder R (2017) Walking “Normally” vs. “Sideways” in Simulated, Simple Assembly Operations: Analysis of Muscular Strain in the Legs. In: C.M Schlick et al. (eds.), Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes.
- Weil, A. (2017) Analyse und Vergleich von Belastungen und Beanspruchungen der unteren Extremitäten bei der Arbeit an der U-Montagelinie mit kurzen Taktzeiten im Labor und in der Praxis. Masterthesis, TU Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten**

65. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft  
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme  
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019**

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Technische Universität Dresden;  
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

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

**Screen design und Umsetzung**

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)