

Einfluss verschiedener Beinpositionen auf die Muskelaktivität/-ermüdung bei Steharbeit

Lisa RÜCKER¹, Johannes BROMBACH², Klaus BENGLER¹

¹ *Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München
Boltzmannstraße 15, D-85747 Garching*

² *Hochschule München
Lothstraße 64, D-80335 München*

Kurzfassung: Über 50 % der abhängig Beschäftigten in Deutschland sind noch immer von häufiger Steharbeit betroffen. Unpräzise Empfehlungen zur Integration von Körperstellungswechseln in den Arbeitsablauf können u.a. als ein Grund für das Stagnieren im Bereich der Steharbeit gesehen werden. Im Folgenden wird eine Studie vorgestellt, die die Möglichkeit der Beanspruchungsreduzierung durch ein gezieltes Durchstrecken der Knie untersucht. Hierbei werden als objektiver Parameter eine mögliche Muskelermüdung mit JASA nach Luttmann et al. (1996) und als subjektiver Parameter ein strukturierter Fragebogen zur Beschwerdelokalisation und -intensität herangezogen.

Schlüsselwörter: Elektromyographie, Körperstellungswechsel, Muskelaktivität, Muskelermüdung, subjektive Beanspruchung, JASA

1. Steharbeit im Industrie- und Dienstleistungsbereich

Das Arbeiten im Stehen ist nach wie vor sowohl im Industrie- als auch im Dienstleistungsbereich weit verbreitet. Bei der Erwerbstätigenbefragung von 2012 (BiBB/BAuA) gaben 54,4 % der abhängig Beschäftigten in Deutschland an, häufig von Steharbeit betroffen zu sein (Hall et al. 2015). Trotz des fortlaufenden demographischen Wandels, d.h. der zunehmenden Alterung der Beschäftigten mit entsprechenden physischen Leistungsminderungen (Luczak 1998), wie der Verkürzung der Fähigkeit langanhaltend zu stehen, hat sich dieser Wert gegenüber der Befragung von 2006 mit 56,4 % kaum verändert. Ein Ansatz zur Verbesserung dieser Situation ist die Integration regelmäßiger Körperstellungswechsel. Aufgrund der derzeit jedoch noch zu unpräzisen Empfehlungen zur Kombination sitzender, stehender und gehender Elemente in den Arbeitsablauf (vgl. LASI 2009), wird im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Hochschule München und der Technischen Universität München die Möglichkeit der Beanspruchungsreduzierung durch verschiedene Szenarien/Kombinationen von Körperstellungswechseln untersucht (Rücker et al. 2016). Nicht selten werden in der Theorie Körperstellungen mit leicht gebeugten Knien angenommen. In der betrieblichen Praxis ist allerdings zu beobachten, dass Mitarbeiter im Stehen zeitweise durchaus auch mit komplett durchgestreckten Knien arbeiten. Deshalb ist das Ziel der Vorstudie zum Forschungsprojekt u.a. zu untersuchen, wie sich die verschiedenen Beinpositionen (d.h. gebeugtes gegenüber gestrecktes Knie) auf die Muskelaktivität und -ermüdung auswirken.

2. Methodik zur Datenerhebung

Der Fokus des Forschungsprojektes liegt auf der Beanspruchung der unteren Extremitäten. Mit dieser Vorstudie soll die Hypothese geprüft werden, ob durch ein zeitweises gezieltes Durchstrecken der Knie weniger muskuläre Ermüdung auftritt.

Als objektive Parameter werden die Muskelaktivität/-ermüdung mittels Elektromyographie betrachtet. Zusätzlich erfolgt die Erfassung des subjektiven Schmerzempfindens und dessen Lokalisation mittels spezifischem Fragebogen, sowie die Aufzeichnung der Pulsfrequenz.

2.1 Oberflächen-Elektromyographie

Die Messung der elektromyographischen Muskelaktivität erfolgt bei der sog. Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) mittels auf der Hautoberfläche angebrachter Elektroden. Hierbei werden bei einer Muskelaktivierung auftretende Muskelaktionspotentiale summarisch erfasst (Schlick et al. 2010) und u.a. mittels Normalisierung weiterverarbeitet (Kluth et al. 2013). In dieser Studie werden die beiden Muskeln gastrocnemius lateralis und tibialis anterior jeweils am rechten Bein durchgehend während der beiden Szenarien erfasst.

Als Analyseinstrument zum möglichen Auftreten muskulärer Ermüdung wird die Joint Analysis of Spectrum and Amplitude (JASA) Methode von Luttmann et al. (1996) herangezogen. Hierbei erfolgt eine simultane Betrachtung des Verlaufs von Amplituden- und Frequenzspektrum des EMG. Luttmann et al. (1996) definierten vier verschiedene Zustandsbereiche, je nach zeitlichem Verhalten von EA und MPF/MF. Ermüdung tritt demnach bei einer steigenden Amplitude der elektrischen Aktivität (EA) und einem gleichzeitigen Abfall der Mitten-/Medianfrequenz (MPF/MF) (vgl. Abb. 1) auf, während ein Anstieg der Mitten-/Medianfrequenz eine Kraftzunahme bedeutet. Fällt jedoch der Amplitudenverlauf der EA in Kombination mit einem fallenden bzw. steigenden Frequenzspektrum, spricht man von einer Kraftabnahme bzw. Erholung.

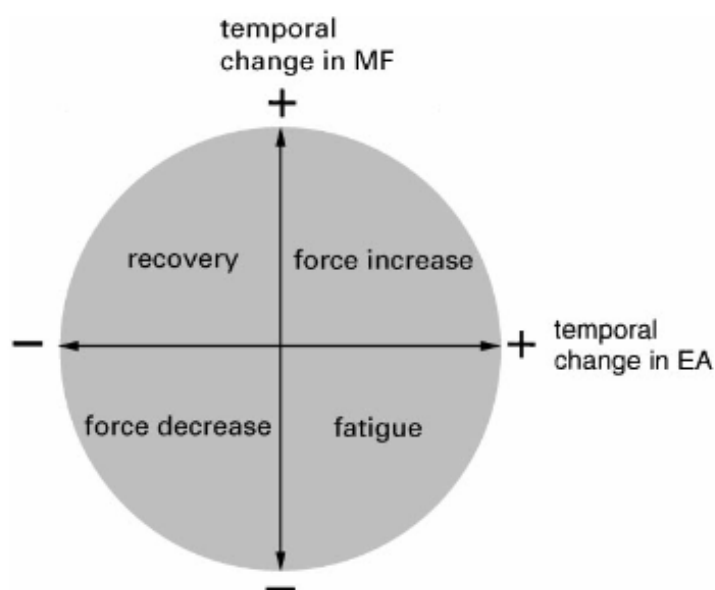


Abbildung 1: Schematische Darstellung der JASA-Methode (Luttmann et al., 2000)

2.2 Subjektive Beurteilung des Beschwerdeempfindens und der -lokalisierung

Die Befragung der Probanden zum subjektiven Beschwerdeempfinden erfolgt über einen strukturierten Fragebogen und wird auf einer Skala von 1 – 6 im Fünfminutentakt bewertet (1: kein Schmerz; 6: sehr starker Schmerz). Zur Beschwerdelokalisation werden folgende Körperregionen abgefragt: Schulter, Rücken, Hüfte, Oberschenkel, Knie, Unterschenkel, Fuß (Außenknöchel, Ferse, Fußsohle, Zehen). Die Pulsfrequenz wird über einen Brustgurt durchgehend gemessen.

3. Studiendesign und -ablauf

Die Studie umfasst zwei Szenarien mit einer Versuchsdauer von jeweils 45 Minuten (vgl. Abbildung 2).

- Szenario 1: Statisches Stehen mit leicht gebeugten Knien.
- Szenario 2: Statisches Stehen wird durch ein taktweises Durchstrecken der Knie unterbrochen (jeweils 4 min normales Stehen, 1 min abwechselndes Durchstrecken).

Leichte Bewegungen u.a. durch Gewichtsverlagerungen vom einen auf das andere Bein sind während der statischen Stehphasen zulässig. Bei beiden Szenarien kommen die Probanden einer Lesetätigkeit nach. Die Szenarien werden in randomisierter Reihenfolge mit 30-minütiger Pause nacheinander durchgeführt. Um gleichbleibende Umgebungsbedingungen sicherzustellen, erfolgt der Versuch in der Klimakammer des Ergonomie-Labors der Hochschule München mit einer konstanten Temperatur von 22°C.

Das Kollektiv ($M_{\text{Alter}}=24,38$ Jahre; $SD_{\text{Alter}}=\pm 1,80$) umfasst drei weibliche und fünf männliche Probanden. Es liegen keine bekannten Venen- und Herz-/Kreislaufkrankungen vor.

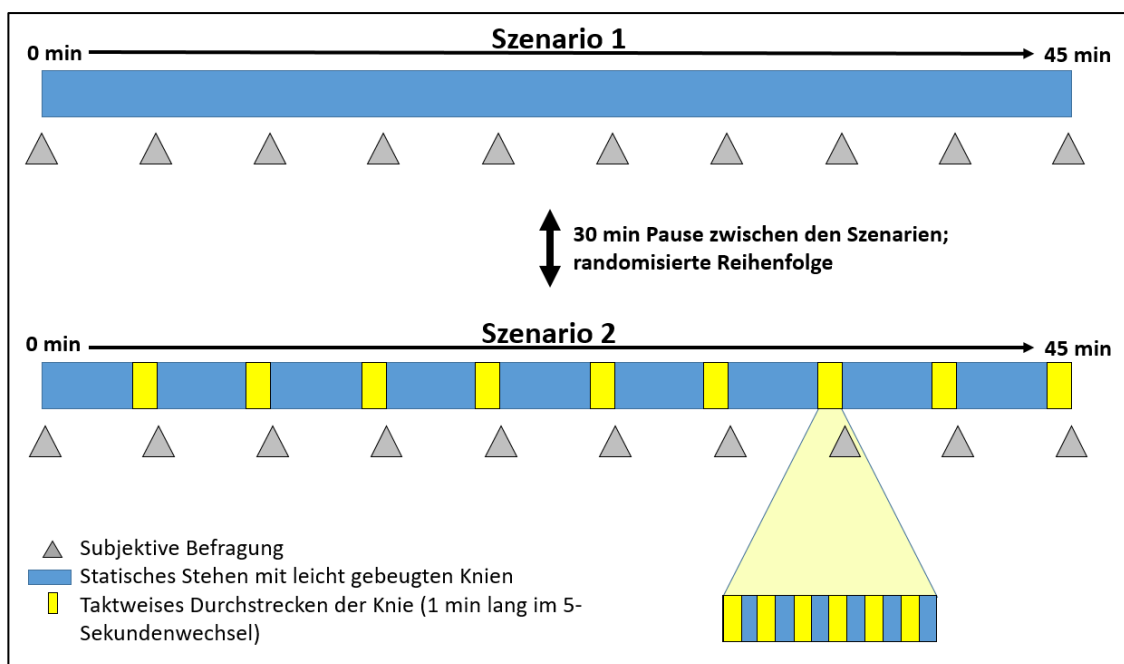


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Studienablaufs mit den beiden Szenarien 1 und 2

Zu Beginn werden personenbezogene Daten, wie Alter, Größe etc. des Probanden erhoben und es erfolgt eine Einführung in den Versuchsablauf. Der Proband wird über die Sensorik aufgeklärt und nach entsprechender Hautvorbereitung und dem Kleben der Elektroden finden kurze Testmessungen statt. Anschließend erfolgt die sogenannte Maximalkraftmessung (MVC: Maximum Voluntary Contraction) anhand spezifischer Übungen der beiden zu erfassenden Muskeln (vgl. Konrad 2011). Ziel ist es, die maximale Kraft der beiden Muskeln messtechnisch zu erfassen, um die während des Versuchs erhobenen EMG-Messwerte im Zuge der Datenauswertung auf diesen maximalen Wert normieren zu können. Die Reihenfolge der beiden Szenarien wird ausgelost und der Proband begibt sich in die Klimakammer. Vor dem Start der Messungen erfolgt eine zehnmünütige Eingewöhnungsphase, um zum einen den Probanden an die Versuchsumgebung zu gewöhnen und zum anderen zu Beginn auftretende Messschwankungen auszuschließen. Anschließend startet der Proband mit dem ersten Szenario, gefolgt von einer 30-minütigen Sitz-Pause und dem zweiten Szenario.

4. Ergebnisse der objektiven und subjektiven Parameter

4.1 Oberflächen-Elektromyographie

Das Rohsignal des EMG wird zunächst gleichgerichtet, geglättet und auf den MVC-Wert normalisiert. Die Ergebnisse aus den Regressionsgeraden des Amplituden- und Frequenzspektrums sind in Abb. 3 im Vierquadranten-Diagramm nach Luttmann et al. (1996) für beide Muskeln aufgetragen. Jeder Punkt stellt einen Probanden dar.

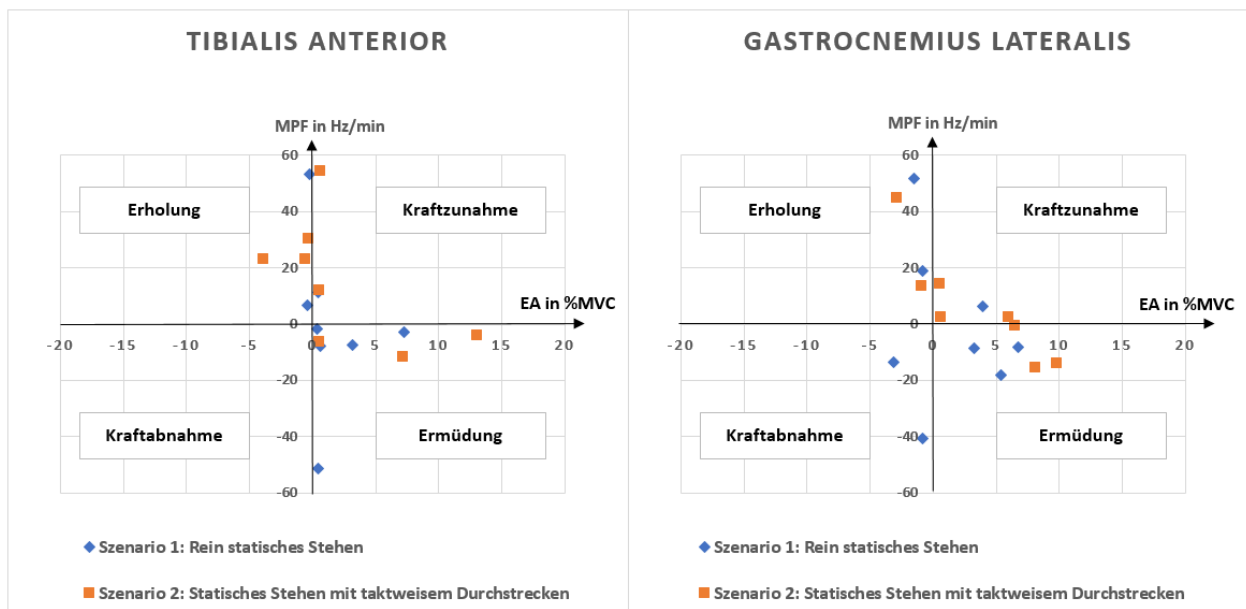


Abbildung 3: Beurteilung des Musculus tibialis anterior (links) und des gastrocnemius lateralis (rechts) der acht Probanden für Szenario 1 (blau, Raute) und Szenario 2 (orange, Quadrat) mittels der JASA-Methode nach Luttmann et al. (2000)

In Szenario 1 liegen für den Musculus tibialis anterior fünf von acht Datenpunkte im Quadrant der Ermüdung. In Szenario 2 dagegen befinden sich nur noch drei der

acht Probanden im Ermüdungsbereich. Für den *Musculus gastrocnemius lateralis* liegen in Szenario 1 und 2 im Bereich der Ermüdung jeweils drei Datenpunkte, wodurch sich hierbei nach JASA keine Veränderung bezüglich der Ermüdungsbetrachtung ergibt.

4.2 Subjektive Beurteilung des Beschwerdeempfindens und der -lokalisierung

Zur Betrachtung der Befragungsergebnisse werden die Nennungen je Lokalisation und Befragungszeitpunkt über alle acht Probanden gemittelt. Die Bereiche Hüfte, Schultern und Rücken werden von allen Probanden in beiden Szenarien durchgehend mit dem Wert 1 (1: kein Schmerz; 6: sehr starker Schmerz) bewertet und zeigen somit keinen Unterschied. In Szenario 1 treten unter allen abgefragten Schmerzlokalisationen im Bereich der Ferse (rechts/links) mit 3,50 bzw. 3,63 die höchsten empfundenen Schmerzen auf. Der zweithöchste Bereich befindet sich an der Fußsohle (rechts/links) mit Werten von 2,88 bzw. 3,00. Die Bereiche der Zehen, Außenknöchel, Knie, Ober- und Unterschenkel zeigen ebenfalls Steigerungen im Verlauf des Versuchs, allerdings liegen deren Werte unterhalb von maximal 2,14. Auch in Szenario 2 wird das Maximum der gemittelten Werte der acht Probanden im Bereich der Ferse (rechts/links) mit 4,25 bzw. 4,13 erreicht. Anschließend folgt der Bereich der Fußsohle (rechts/links) mit Werten von 2,5 bzw. 2,75. Alle anderen Bereiche werden durchschnittlich mit unter 2,26 bewertet und steigen ebenfalls im Versuchszeitraum.

Im Fersenbereich werden zu allen Befragungszeitpunkten (Durchschnitt aller acht Probanden) stets Szenario 2 tendenziell höher eingestuft und im Fußsohlenbereich stets Szenario 1. Alle anderen Bereiche zeigen keinen eindeutigen Trend, sodass zeitweise Szenario 1 oder Szenario 2 als marginal höher definiert wird.

Die Pulsfrequenz ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen Szenario 1 und 2. So liegt der durchschnittliche Puls in Szenario 1 bei 95 bpm und in Szenario 2 bei 97 bpm.

5. Diskussion und Ausblick

Die Betrachtung der muskulären Ermüdung mit der JASA-Methode nach Luttmann et al. (1996) kann lediglich für den *Musculus tibialis anterior* einen Unterschied beider Szenarien verzeichnen. So reduzieren sich die ermüdeten Probanden von fünf auf drei (Stichprobe: acht). Der *Musculus gastrocnemius lateralis* zeigt dagegen nach Luttmann et al. (1996) keine Veränderung bezüglich des Eintretens muskulärer Ermüdung zwischen beiden Szenarien (jeweils drei Probanden).

Die subjektive Befragung zur Schmerzempfindung zeigt lediglich im Fersen- und Fußsohlenbereich moderate bis mittelstarke Schmerzen. Alle anderen Bereiche liegen im schmerzfreien bis geringen Schmerzbereich. Die höheren Werte im Fersenbereich bei Szenario 2 und im Fußsohlenbereich bei Szenario 1 lassen sich auf ein mögliches verändertes Stehen, bedingt durch das taktweise Durchstrecken der Beine, zurückführen. Mögliche Gründe für ein erhöhtes Schmerzempfinden im Fußbereich können zudem die standardisierte Belastung im Laborumfeld ohne Bewegung auf der Stelle zu stehen und fehlende berufliche Stehexpositionen im Probandenkollektiv sein.

Durch die Vorstudie kann die Hypothese, dass ein gezieltes Durchstrecken der Knie zu geringerer Muskelermüdung führt lediglich für den *Musculus tibialis anterior*

bestätigt werden. Weder der *Musculus gastrocnemius lateralis* noch das subjektive Beschwerdeempfinden zeigen Veränderungen bezüglich der beiden Szenarien. Diese ersten Ergebnisse sollten im Rahmen einer Hauptstudie miteinbezogen werden und mit einem erweiterten Probandenkollektiv (berufliche Stehexposition, Ausweitung der Altersstruktur) sowie einer Volumenmessung des Unterschenkels weiterverfolgt werden.

6. Literatur

- Hall A, Siefer A und Tiemann M (2015) BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012 – Arbeit und Beruf im Wandel. Erwerb und Verwertung beruflicher Qualifikationen. suf_4.0; Forschungsdatenzentrum im BIBB (Hrsg.); GESIS Köln (Datenzugang); Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung. doi:10.7803/501.12.1.1.40.
- Kluth K, Göbel M, Bopp V, Strasser H (2013) Anwendung der Oberflächen-Elektromyographie zur Beanspruchungsermittlung bei der arbeitsphysiologischen Beurteilung von Arbeitsplätzen und Arbeitsmitteln. In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 63:286-292.
- Konrad P (2011). EMG-Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyografie. Köln: Velamed Medizintechnik GmbH.
- LASI, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (2009) Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit (LV 50), Potsdam.
- Luczak H (1998) Arbeitswissenschaft. 2. Auflage, Springer Berlin u.a., 154.
- Luttmann A, Jäger M, Sökeland J und Laurig W (1996) Electromyographical study on surgeons in urology. II. Determination of muscular fatigue. *Ergonomics* 39(2): 298-313.
- Luttmann A, Jäger M und Laurig W (2000) Electromyographical indication of muscular fatigue in occupational field studies. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25: 645-660.
- Rücker L, Brombach J und Bengler K (2016) Sitzen, Stehen, Gehen – Körperstellungswechsel auf dem Prüfstand. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. Dortmund: GfA-Press.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Berlin u.a.: Springer Verlag, 238 u. 259-266.
- CEN, European Committee for Standardization (2007) Safety of machinery, Human physical performance. Part 5: Risk assessment for repetitive handling at high frequency. EN 1005-05.



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