

## **Einfluss von gehenden Bewegungsanteilen bei statischer Steharbeit**

Lisa RÜCKER<sup>1,2</sup>, Johannes BROMBACH<sup>2</sup>, Klaus BENGLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15, D-85747 Garching*

<sup>2</sup> *Hochschule für angewandte Wissenschaften München  
Lothstraße 64, D-80335 München*

**Kurzfassung:** Im Rahmen dieser Studie sollen derzeitige ergonomische Empfehlungen zum Umgang mit andauernder Steharbeit hinterfragt werden. Die Studie untersucht fünf Szenarien mit variierenden Steh- und Gehanteilen sowie Taktzeiten. Beim Wechsel zwischen Arbeitsplätzen werden ein reiner Platzwechsel zu nahe benachbarten Arbeitsplätzen und Tätigkeiten mit höheren Gehanteilen unterschieden. Mittels Oberflächen-Elektromyographie werden statische und dynamische Anteile der elektromyographischen Muskelaktivität (EA) sowie eine mögliche muskuläre Ermüdung untersucht. Grundsätzlich kann beobachtet werden, dass höhere Gehanteile auch mit höheren dynamischen Anteilen der EA einhergehen. Zudem ist nach JASA (Luttmann et al. 1996) bei mehr Bewegung tendenziell eine Verschiebung der Wertepaare aus dem sog. Ermüdungsbereich in Richtung Erholung zu verzeichnen.

**Schlüsselwörter:** Körperstellungswechsel, Elektromyographie, statisch, dynamisch, Muskelaktivität, Muskelermüdung

### **1. Andauernde Steharbeit im Industrie- und Dienstleistungsbereich**

Mit der LV50 (vgl. LASI 2009) liegt eine ergonomische Empfehlung für Steharbeitsplätze vor. Im Risikobereich 1 (geringe Stehbelastung) wird z.B. bei Steharbeit unter 2,5 Stunden ein Anteil von „Sitzen zu Stehen zu Gehen“ mit den Werten „60:30:1“ empfohlen. Bei näherer Betrachtung stellt sich allerdings heraus, dass für die dynamische Bewegung nicht nur der Zeitanteil des Gehens gegenüber Stehen und Sitzen betrachtet werden sollte, sondern auch die genaue Struktur der Bewegung im Zeitablauf wichtig sein kann. So können die Verhältnisse 60:30:1 mit sehr unterschiedlichen Tätigkeiten in Bezug auf eine mögliche Wiederholungsrate (z.B. bei getakteter Arbeit) erzielt werden und auch die Art der Bewegung könnte eine stärkere oder schwächere Dynamik enthalten (z.B. langsames oder schnelles Gehen).

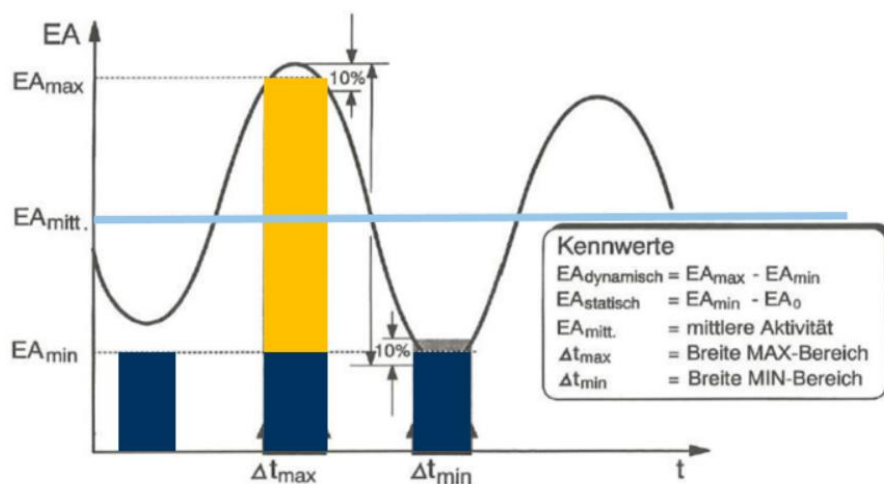
### **2. Methodik der Datenerhebung**

Der Fokus der Studie liegt auf der Beanspruchung der unteren Extremitäten, analog zu den bereits durchgeführten Studien im Rahmen dieses Forschungsprojektes (vgl. Rücker et al. 2016; 2018). Als objektive Parameter zur Analyse der Muskelaktivität werden in diesem Projekt erstmals die statische und dynamische Muskelaktivität (vgl. Strasser 1996), die in Kapitel 2.1 beschrieben wird, untersucht. Das Auftreten möglicher muskulärer Ermüdung wird mit der JASA Methode nach Luttmann et al. (1996)

miteinander (vgl. Kapitel 2.2). Die Untersuchungen basieren in beiden Fällen auf Daten, die mit auf der Hautoberfläche angebrachter Elektroden gewonnen werden (Elektromyographie, Noraxon USA). Diese zeichnen die elektromyographische Muskelaktivität (EA) der beiden Unterschenkel-Muskeln *M. gastrocnemius medialis* und *M. tibialis anterior* beidbeinig kontinuierlich auf. Die EMG-Rohdaten werden zunächst software-basiert geglättet und mittels spezifisch auf jeden einzelnen Muskel abgestimmter Übungen zur Maximalkontraktion (MVC) normiert.

## 2.1 Statische und dynamische Komponenten der EA

Die alleinige Betrachtung des Mittelwertes der EA über den gesamten Verlauf einer 45-minütigen Messung ist vor allem bei Tätigkeiten mit wechselseitiger Beanspruchung durch den Einfluss von Bewegungen nicht ausreichend. Wichtige Informationen lassen sich durch die Betrachtung der Extremwerte (Maxima und Minima) von EA-Zeitserien ermitteln. Die mittleren Minima stellen die Muskelaktivität in der Erschlaffungsphase dar, während die mittleren Maxima die Kontraktionsphase repräsentieren. Die Differenz zwischen mittleren Maxima und mittleren Minima sind auf Bewegungen zurückzuführen und werden somit als die dynamische Komponente der Muskelbeanspruchung definiert (Steinhilber et al. 2013; Strasser 1996; vgl. Abb. 1). Die mittleren Minima stellen die statische Muskelbeanspruchung dar. Um den Einfluss möglicherweise fehlerhafter Extremwerte zu reduzieren, definiert Strasser et al. (1989) einen Zeit-Wertebereich ( $\Delta t_{max}$ ), in dem die jeweils höchsten 10% der Spannweite zwischen Maxima und Minima liegen. Trotz moderner Messtechnik wird in der Studie dieses Intervall verwendet. Die EA-Werte dieses Bereiches werden gemittelt und dessen Ergebnis als  $EA_{max}$  definiert. Nach gleichem Schema wird  $EA_{min}$  errechnet.



**Abbildung 1:** Darstellung der statischen und dynamischen Anteile der elektromyographischen Aktivität (vgl. Strasser 1996).

## 2.2 Muskuläre Ermüdung (JASA)

Die Joint Analysis of Spectrum and Amplitude (JASA) Methode von Luttmann et al. (1996) betrachtet simultan den Verlauf des Amplituden- und Frequenzspektrums des EMG, wobei vier Zustandsbereiche definiert und diese in ein Vier-Quadranten Koordinatensystem einbettet sind (Ermüdung, Erholung, Kraftzunahme, Kraftabnahme). So tritt Ermüdung bei einer steigenden Amplitude der EA und gleichzeitigem Abfall der Mitten-/Medianfrequenz auf (vgl. Luttmann et al. 1996, Rücker et al. 2018).

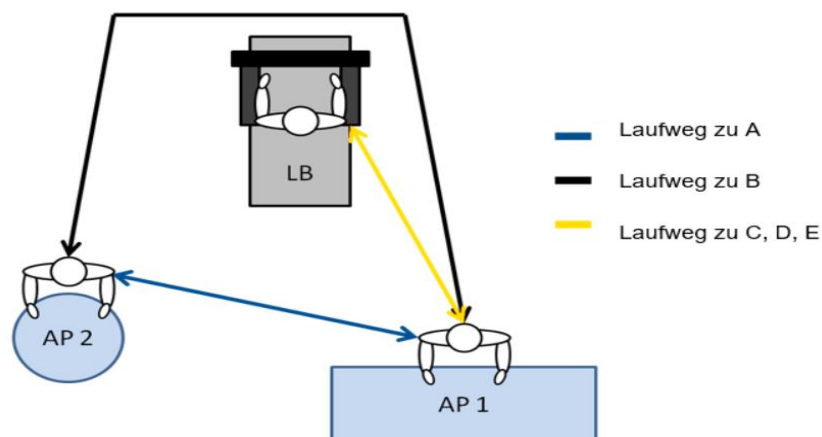
### 3. Studiendesign und -ablauf

Die Studie umfasst fünf Szenarien mit einer Dauer von jeweils 45 Minuten im Labor-Umfeld. Die Szenarien unterscheiden sich zum einen anhand variierender Steh- und Gehanteile und zum anderen durch zwei festgelegte Taktzeiten (Wiederholungsrate). Die stehenden und gehenden Zeitanteile sind in Anlehnung an die LV50 (LASI 2009) eingeteilt in Stehen:Gehen mit 30:1, 70:30 und 50:50. Die Festlegung der Taktzeiten erfolgt an den durchaus üblichen Werten von 90 Sekunden im Automobilbereich. Um den Einfluss längerer Taktzeiten auf die festgelegten Szenarien betrachten zu können, wird zudem eine Taktzeit von 270 Sekunden gewählt. Tabelle 1 verdeutlicht alle fünf Szenarien:

**Tabelle 1:** Darstellung der fünf Szenarien mit variierenden Geh- und Stehanteilen sowie Taktzeiten.

Szenario	Taktzeit / s	Stehen:Gehen	Stehzeit / s	Gehzeit / s
A	90	30:1	87	3
B	270	30:1	261	9
C	90	70:30	63	27
D	270	70:30	189	81
E	90	50:50	45	45

Das Probandenkollektiv ( $M_{\text{Alter}} = 24,73$  Jahre;  $SD_{\text{Alter}} = \pm 2,14$ ) umfasst drei weibliche und acht männliche Probanden. Es liegen keine bekannten Venen- und Herz-/ Kreislaufkrankungen vor. Die Probanden führen in allen fünf Szenarien (randomisierte Reihenfolge) während der Stehphasen eine Montagetätigkeit aus. Abb. 2 verdeutlicht das Studiendesign.



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung des Studiendesigns mit Laufwegen.

Die Gehanteile erfolgen in Szenario A und B aufgrund der kurzen Dauer anhand festgelegter Fußwege. Bei den Szenarien C bis E wird ein Laufband mit einer Geschwindigkeit von 3,2 km/h eingesetzt. Der Laufweg für Szenario A befindet sich zwischen AP1 und AP2 mit drei Sekunden. Der Laufweg für Szenario B umfasst neun Sekunden und der Laufweg hin zum Laufband ist bei den Szenarien C, D und E in den jeweiligen gehenden Anteil bereits eingerechnet.

Der Ablauf des Versuchs wird anhand Szenario A (3 s Gehen / 87 s Stehen, Taktzeit 90 Sekunden) beispielhaft verdeutlicht: Der Proband wird zunächst in den Versuchsaufbau eingewiesen und stellt seinen Montagearbeitsplatz ergonomisch ein. Im Anschluss werden die Laufwege mehrmals abgegangen und das Auf- und Absteigen am

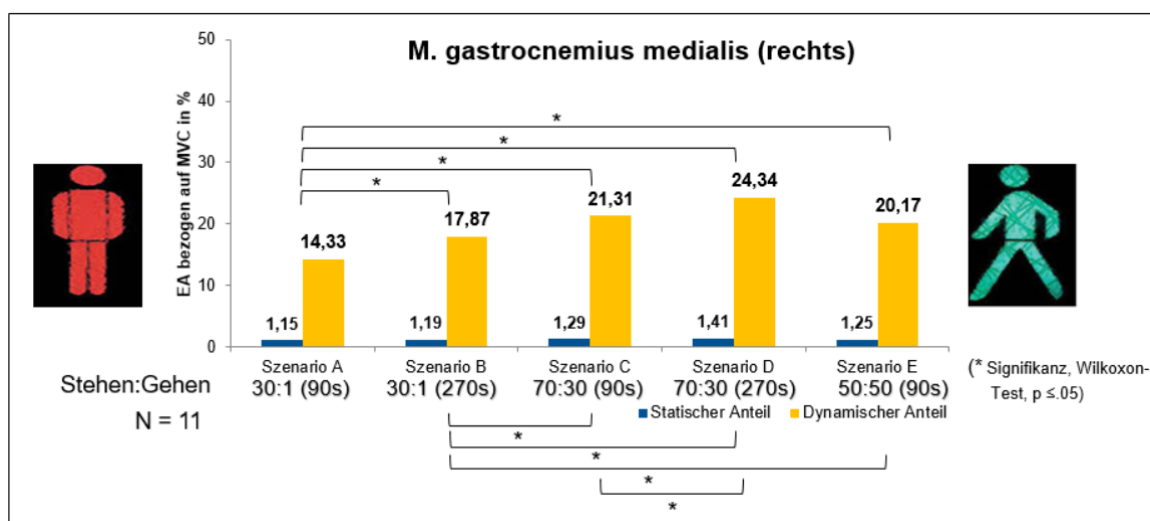
Laufband geübt. Nachdem die Elektroden platziert sind setzt sich der Proband für fünf Minuten bequem auf einen Stuhl und entspannt. Anschließend erfolgen die spezifischen MVC-Messungen für alle vier Muskeln. Nun entspannt der Proband erneut fünf Minuten im Sitzen, bevor er den Versuch stehend an AP1 startet. Er geht zunächst drei Sekunden zu AP2 (Laufweg für A) und montiert dort für 87 Sekunden. Nach Ablauf dieses 90 Sekunden-Taktes geht er erneut drei Sekunden zurück zu AP1 und verrichtet dort wieder 87 Sekunden seine Montagetätigkeit (insgesamt 30 Wiederholungen).

Damit werden zusammenfassend Szenarien betrachtet, die sich bei z.T. gleichen Gehanteilen (30:1 und 70:30) in ihrer Bewegungsstruktur hinsichtlich der Wiederholungsrate (Taktzeiten) unterscheiden. Darüber hinaus ist auch zu erwarten, dass der Einsatz des Laufbandes gegenüber dem Gehen in der Ebene beim Arbeitsplatzwechsel zu unterschiedlichen dynamischen Komponenten führt.

## 4. Ergebnisse

### 3.1 Statische und dynamische Muskelbeanspruchung

In Abb. 3 sind beispielhaft für den M. gastrocnemius medialis die statischen und dynamischen Anteile der EA (in % bezogen auf MVC) für die fünf Szenarien dargestellt (N = 11).

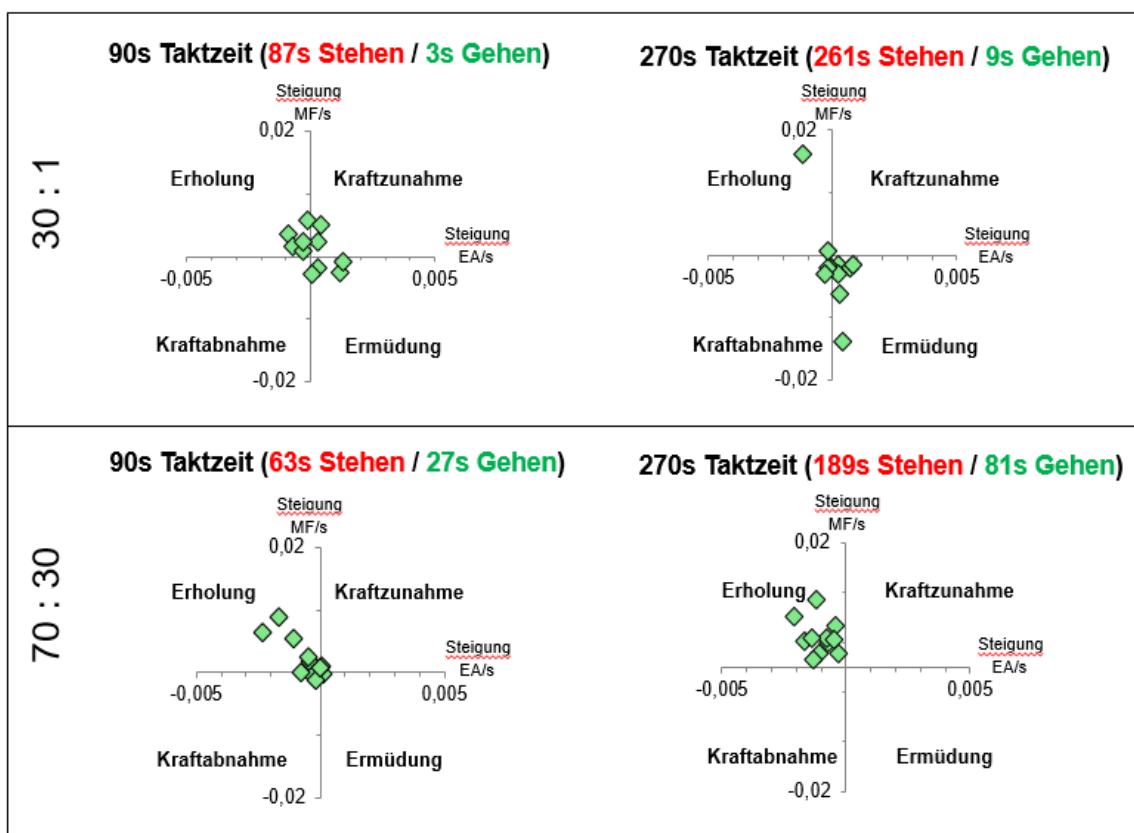


**Abbildung 3:** Darstellung der statischen und dynamischen Anteile der EA des M. gastrocnemius medialis für die Szenarien A bis E.

Die statischen Anteile der EA sind in allen fünf Szenarien auf einem niedrigen Niveau. Veränderungen lassen sich dagegen bei den dynamischen Anteilen der EA erkennen. Die beiden ersten Szenarien (30:1) unterscheiden sich bezüglich der Taktzeit. Ihre Gehphasen werden jeweils ohne Laufband absolviert. Eine längere Taktzeit, d.h. sowohl eine längere ununterbrochene Stehzeit als auch Gehzeit zeigen einen höheren dynamischen Anteil der EA. Auch die Ergebnisse der Szenarien C und D (70:30) spiegeln dieses Verhalten wieder. Die Probanden absolvieren die Gehphasen hierbei auf einem Laufband. Das Szenario E (50:50) zeigt im Vergleich zu den anderen beiden Szenarien mit Laufband (70:30) einen scheinbar geringeren dynamischen Anteil der EA, der aber nicht signifikant ist.

### 3.2 Muskuläre Ermüdung (JASA)

Die Ergebnisse aus den Regressionsgeraden des Amplituden- und Frequenzspektrums sind nach Luttmann et al. (1996) in einem Vierquadranten-Diagramm dargestellt. Abb. 4 veranschaulicht den rechten M. gastrocnemius medialis für die beiden Zeitannteile von 30:1 und 70:30 jeweils für 90 s und 270 s Taktzeit. Luttmann et al. (1996) bewerten diese Darstellung lediglich nach der Anzahl der Wertepaare in den jeweiligen Quadranten. Ein Vergleich zwischen 30:1 und 70:30 bezogen auf 90 Sekunden Taktzeit zeigt eine tendenzielle Verschiebung der Wertepaare vom Bereich Ermüdung hin zu Erholung. Gleiches gilt für die Taktzeit von 270 Sekunden. Des Weiteren zeigt sich eine solche Verschiebung bei der Betrachtung des Verhältnisses 70:30 von 90 Sekunden hin zu 270 Sekunden.



**Abbildung 4:** Ergebnisse der JASA-Methode nach Luttmann et al. (1996) des M. gastrocnemius medialis für die Zeitannteile 30:1 und 70:30 mit Taktzeiten von 90 und 270 Sekunden.

## 5. Diskussion und Ausblick

Im Ergebnis zeigt sich, dass sowohl das Verhältnis stehender und gehender Anteile, die Art der Gehbewegung (Laufband und kurze Schritte) als auch die Wiederholrate bzw. die Dauer ununterbrochener Steh- bzw. Gehetätigkeit (z.B. bei unterschiedlichen Taktzeiten) einen Einfluss auf den dynamischen Anteil der EA haben. Sowohl der Vergleich der beiden Szenarien 30:1 als auch 70:30 untereinander ergibt einen höheren dynamischen Anteil der EA bei längerer Taktzeit. Zudem zeigen die Ergebnisse der Szenarien 50:50 und 70:30 gegenüber 30:1 einen höheren dynamischen Anteil der EA. Wichtig ist in diesem Zusammenhang aber auch die Interpretation der EA-Werte.

Während bei vielen ergonomischen Untersuchungen hohe EA-Werte als Indikator für hohe Beanspruchung gesehen werden, muss bei dem hier diskutierten Versuch gegengehalten werden, dass eine höhere dynamische Komponente im Sinne der besseren Durchblutung für den Kreislauf durchaus positiv sein kann.

Auch wenn es vielversprechend ist unterschiedliche Bewegungsstrukturen (Gehanteil und Wiederholungsrate) zu betrachten, muss die Verwendung eines Laufbandes auch kritisch hinterfragt werden. Zum einen müssen die Probanden zum Erreichen des Laufbandes eine Stufe hochsteigen und zum anderen ist das Band bereits in Bewegung, sodass ein schnelles Mitlaufen erforderlich ist. Beides könnte höhere Ausschläge der EA bedingen.

Die Betrachtung des Auftretens muskulärer Ermüdung mittels JASA (Luttmann et al. 1996) zeigt bei Zunahme der Bewegungsdynamik (30:1 zu 70:30) eine tendenzielle Verschiebung der Wertepaare vom Ermüdungs- zum Erholungsbereich. Es fällt bei der Methode und den scheinbar nicht stark ausgeprägten Ermüdungserscheinungen nicht leicht eine geeignete statistische Absicherung der Ergebnisse zu vollziehen. Im Ergebnis handelt es sich beim Auftreten von Ermüdung nur um eine Tendenz. Inwiefern das an dem Versuchsdesign mit Arbeitsphasen von nur 45 Minuten liegt oder durch die geringen statischen Anteile (vgl. Abb. 3) zu erklären ist, muss näher untersucht werden.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse soll deshalb eine Hauptstudie folgen, die neben der Erhöhung und Ausweitung des Probandenkollektivs eine Versuchsdauer je Szenario von zweieinhalb Stunden vorsieht und auch kreislaufbedingte Effekte betrachtet. Schließlich soll auch die Struktur der Tätigkeiten gegenüber real auftretenden Arbeitsplätzen genauer untersucht werden.

## 6. Literatur

- LASI, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (2009) Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit (LV 50), Potsdam.
- 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.
- Rücker L, Brombach J und Bengler K (2018) Einfluss verschiedener Beinpositionen auf die Muskelaktivität/-ermüdung bei Steharbeit. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. Dortmund: GfA-Press.
- Steinhilber B, Anders C, Jäger M, Läubli T, Luttmann A, Rieger MA, Scholle H-C, Schumann NP, Seibt R, Strasser H, Kluth K (2013) Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft. Arbeitsmedizinische S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) und der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA). AWMF-Register 002/016.
- Strasser H, Keller E, Müller KW, Ernst J (1989) Local muscular strain dependent on the direction of horizontal arm movements. *Ergonomics* 32(7): 899-910.
- Strasser H (1996) Elektromyographische Beurteilung dynamischer Muskelarbeit: Methoden – Ergebnisse – Anwendungsmöglichkeiten. In: H. Strasser (Hrsg) Beanspruchungsgerechte Planung und Gestaltung manueller Tätigkeiten - Elektromyographie im Dienst der menschengerechten Arbeitsgestaltung. 1. Aufl. Landsberg/Lech, ecomed: 35-72.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme**  
**HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

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,
- den Kongressband 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**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

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