

## **Sitzen, Stehen, Gehen – Körperstellungswechsel auf dem Prüfstand**

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

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

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

**Kurzfassung:** Betrachtet man die Arbeitssituation in der Fließfertigung (z.B. in der Montage), zeigen sich meist ähnliche Szenarien: ein Großteil der Mitarbeiter arbeitet im Stehen, unterbrochen durch kurzes Gehen. Sitzend Arbeitende trifft man selten. Doch wie sollte ein Arbeitsplatz konzipiert sein, um den Mitarbeiter gezielt zu entlasten? Versuche zur Beanspruchung der Beinmuskulatur durch Messung des ansteigenden Beinvolumens und Messungen zur elektromyographischen Aktivität geben erste Anhaltspunkte hierzu. So könnte ein regelmäßiger Körperstellungswechsel zwischen Sitzen – Stehen – Gehen in den Arbeitsablauf integriert werden, um eine Beanspruchungsreduzierung zu erreichen.

**Schlüsselwörter:** Elektromyographie (EMG), Volumenmessung, Körperstellungswechsel

### **1. Einleitung**

Gerade in der Montage werden häufig Mitarbeiter in stehender Körperhaltung eingesetzt. Das begründet sich meist darin, dass stehend mehr Kraft aufgebracht werden kann, größere Bewegungsumfänge möglich sind und damit die Taktabstimmung einfacher erfolgen kann. Nicht immer sind diese Annahmen allgemein gültig und es lässt sich zeigen, dass sehr wohl auch im Sitzen gearbeitet werden könnte, wenn entsprechende Voraussetzungen dafür geschaffen werden. Das bezieht sich z.B. auf die Art der Stehhilfen und die konzeptionelle Vorgehensweise der Austaktung (vgl. Burgkardt, 2015). Leider ist es aber bisher nicht möglich, die Vorteile von Sitzpausen so zu quantifizieren, dass der Arbeitsvorbereitung entsprechende Planungshilfen zur Verfügung gestellt werden können. Ähnliches gilt für den Wechsel zwischen Gehen, Sitzen und Stehen. Auch wenn bekannt ist, dass ein Wechsel grundsätzlich positiv wäre, sind die Vorgaben (z.B. der LV 50, siehe weiter unten) in der Montage nur sehr schwierig umsetzbar und nicht präzise genug. Die anhaltende Spezialisierung und „Verschwendungsvermeidung“ zur Steigerung der Effizienz scheint den Konflikt zudem eher zuzuspitzen (Frieling et al., 2012). Die Ergebnisse der BiBB/BAuA-Erwerbstätigenumfrage (BMAS, 2006) verdeutlichen die Problematik der Steharbeit. 56,4% aller Beschäftigten in Deutschland sind von Steharbeit betroffen und ca. ein Viertel dieser fühlt sich davon belastet (vgl. Tab. 1). Bezüglich der „empfundenen Belastung“ steht die Fertigungsbranche an erster Stelle. Fast jeder dritte Betroffene fühlt sich von der Steharbeit belastet. Aufgrund des fortschreitenden demographischen Wandels (d.h. der Alterung der Erwerbstätigen) und dem damit verbundenen prozentuellen Anstieg von physischen Leistungsdefiziten werden diese Zahlen weiter ansteigen.

**Tabelle 1:** Stehend arbeitende Beschäftigte in Deutschland (Berger et al., 2009)

Arbeiten im Stehen	Bau	Fertigung	Dienstleistung	Verwaltung	Technik	Gesamt
% betroffen	92,9	84,7	74,8	11,9	32,3	56,4
davon % belastet	20,4	31,3	24,2	20,1	15,4	25,7

Seit Jahren wird gefordert, Körperstellungswechsel in den Arbeitsablauf zu integrieren, sodass Tätigkeiten sowohl sitzende, stehende, als auch gehende Elemente enthalten. Während allerdings das Verständnis für wechselseitige Belastungen durch Körperstellungswechsel vorhanden ist, fehlt es für deren richtige Umsetzung derzeit noch an gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Die LV 50 (LASI, 2009) gibt hierfür Empfehlungen zum Anteil von Sitzen/Stehen/Gehen. Eine andauernde Stehbelastung unter 2,5h wird demnach als gering eingestuft und eine Verteilung von Sitzen/Stehen/Gehen mit 60:30:10 angestrebt. In welchen Zeitintervallen ein Wechsel von Sitzen, Stehen und Gehen erfolgen soll, um die optimalen Beanspruchungen für den Körper zu erreichen oder wie erholungswirksam Sitzpausen sein können, ist aber noch unklar.

## 2. Methodik

Zur Betrachtung auftretender Beanspruchungen, die durch unterschiedliche Körperstellungen entstehen, wurde in Vorversuchen zur Vorbereitung des derzeitigen Projektes die Veränderung der Beinmuskulatur herangezogen. Anhand verschiedener/definierter Szenarien erfolgten Untersuchungen zum Sitzen, Stehen (statisch/dynamisch) und Gehen. Der Fokus lag hierbei auf der Volumenmessung durch das Anschwellen der Beine (Brombach et al., 2014). Zudem wurden erste Versuche zur Messung der elektromyographischen Aktivität durchgeführt (Hauptmann, 2014).

### 2.1 Volumenmessung

Eine Möglichkeit zur Messung der Muskelbeanspruchung im Bein stellt die Volumenmessung dar. Grundlage hierfür ist das Prinzip der sogenannten Muskelpumpe, die u.a. auch den Stoffwechsel unterstützt (Schlick et al., 2010). Der Blutkreislauf verläuft über Arterien und Kapillaren in das Bein und über Venen entgegen der Schwerkraft wieder zurück in Richtung Herz (Schwegler & Lucius, 2011). Während durch wechselnde Kontraktionen der Beinmuskulatur (z.B. beim Gehen) diese Pumpwirkung zum Herzen hin unterstützt wird, kommt es durch mangelnde Kontraktionen (z.B. beim Sitzen) oder aber anhaltende Kontraktionen ohne Erschlaffung (z.B. durch statisches Stehen) zu einem verminderten venösen Blutrückfluss. Dies macht sich durch ein Anschwellen der Beine bemerkbar. Derartige Effekte wurden anhand der folgenden Methoden zur Volumenmessung überprüft.

#### 1) 4cm-Scheiben-Methode nach Kuhnke (1976) (vgl. Abb. 1a):

Die Extremität wird in 4cm-Scheiben eingeteilt und deren Umfang jeweils gemessen. Durch die Summierung der einzelnen Volumina lässt sich das

Gesamtvolumen ermitteln. Hierbei wird von einer nahezu kreisrunden Form der Extremität ausgegangen (Herpertz, 2010).

- 2) Messung durch Wasserverdrängung (vgl. Abb. 1b):  
Ein Behälter wird bis zu einer Überlauföffnung mit Wasser gefüllt. Das Volumen eines Körpers wird durch dessen Wasserverdrängung beim Eintauchen gemessen, d.h. wird eine Extremität (z.B. Bein) in den wassergefüllten Behälter eingeführt, kann mit Hilfe des hierdurch verdrängten und über den Überlauf in einem Gefäß gesammelten Wassers das Volumen des eingetauchten Körpers durch Abwiegen bestimmt werden (Hauptmann, 2014).
- 3) Messung durch 3D-Scanner (vgl. Abb. 1c):  
Computergestützt wird ein digitales Abbild des Körpers erstellt, anhand dessen Messdaten (z.B. Volumen) generiert werden können.



**Abbildung 1:** a) 4cm-Scheiben-Methode nach Kuhnke, b) Wasserverdrängung, c) 3D-Scanner (Hauptmann, 2014)(Burgkardt, 2015)

## 2.2 Elektromyographie

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Muskelbeanspruchung stellt die Messung der elektromyographischen Aktivität dar. Bei der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) werden unter Verwendung von Elektroden (an der Hautoberfläche angebracht) sog. Muskelaktionspotentiale, die bei einer Muskelaktivierung auftreten, summarisch erfasst (Schlick et al., 2010). Das gemessene Rohsignal kann durch Normierung gerichtet werden (Kluth et al., 2013). Es treten Minima und Maxima auf. Während die dort abgezeichneten Minima die Muskelaktivität in der Erschlaffungsphase darstellen, treten die Maxima in der Muskel-Kontraktionsphase auf. Deren mittlere Differenz ist auf Bewegungen/ Kraftveränderungen zurückzuführen und bildet die dynamische Komponente der Muskelbeanspruchung. „Die mittleren Minima repräsentieren die quasi-statische Grundaktivierung“ (Kluth et al., 2013, S.287). Mit OEMG lassen sich neben der Stärke der Aktivität (statisch/dynamisch) deren Dauer/Zeitanteile analysieren.

## 2.3 Befragungen

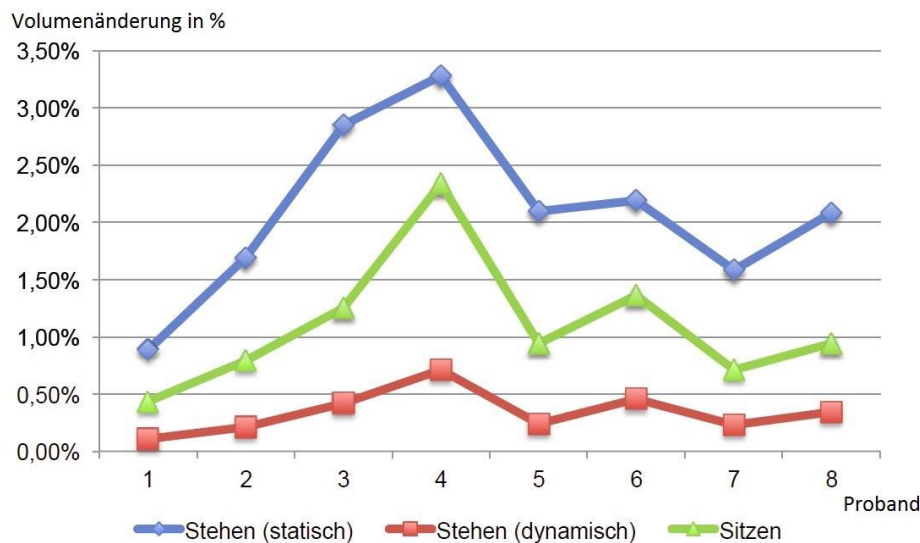
Neben objektiven Messungen anhand von Kenngrößen sollen über Fragebögen subjektive Einflussgrößen und Empfindungen der Probanden erfasst und in den Ergebnissen mitberücksichtigt werden. So können beispielsweise auftretende

Beschwerden des Bewegungsapparates während einer Versuchsdurchführung abgefragt werden.

### 3. Ergebnisse

Hauptmann (2014) betrachtete zunächst das rein statische Stehen (Zeitfaktor 60min bzw. 20min) unter Verwendung der 4cm-Scheiben-Methode nach Kuhnke. In beiden Versuchsphasen trat bereits nach kurzer Zeit ein kontinuierliches Anschwellen der Beine auf. Die maximale Volumenzunahme wurde nach 30 min bzw. 15 min mit 2,7% bzw. 2,9% gegenüber dem Ausgangsvolumen erreicht. Auch subjektiv wurden die Versuche von den Probanden durch Fragebögen mit der Zeit als ziemlich bzw. sehr anstrengend bewertet.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde das Anschwellen als Indikator für die Muskelbeanspruchung der Beine bei weiteren Versuchen angewendet. So führte Hauptmann (2014) Messungen zur Volumenveränderung mit Hilfe der Wasserverdrängung (s. Kap. 2) zum rein statischen Stehen, dynamischen Stehen (mit leichter Bewegung) und dem Sitzen durch. Acht Probanden übten diese Körperstellungen jeweils 20 Minuten mit Pause nacheinander aus. Es erfolgten vier Volumenmessungen, eine zur Ermittlung des Ausgangsvolumens, drei weitere jeweils nach 20 Minuten einer Beanspruchung. Abb. 2 zeigt die Volumenänderung in % bezogen auf das Ausgangsvolumen für alle drei Körperstellungen.



**Abbildung 2:** Volumenänderung - statisches/dynamisches Stehen und Sitzen (Hauptmann, 2014)

Während die Volumina je nach Proband unterschiedlich stark ausgeprägt waren, zeigen alle Messungen den gleichen Verlauf. So ist das statische Stehen mit der höchsten Volumenzunahme verbunden und das dynamische Stehen mit der geringsten. Auch hier tritt, ähnlich den Werten im ersten Versuch nach Kuhnke, eine maximale Volumenänderung von ca. 3,3% auf. Die durchschnittliche Änderung betrug beim statischen Stehen 2,0%, gefolgt vom Sitzen mit 1,1% und dem dynamischen Stehen mit lediglich 0,3%.

Auch Burgkardt (2015) betrachtete das statische und dynamische Stehen, sowie eine Kombination aus Stehen und Gehen. Im Gegensatz zu Hauptmann verwendete er einen 3D-Scanner. Hierfür legte er fünf Stellen am Bein fest, an denen computergestützt der Beinumfang gemessen wurde. Seine Versuche zum statischen

Stehen führten zu einer Volumenänderung von max. 2,5% nach 20 Minuten. Die Probanden klagten hierbei über Unwohlsein und Schmerzen in den Beinen. Beim dynamischen Stehen traten stärkere Schwankungen auf, allerdings nur bis ca. 1,0% Volumenzuwachs. Das Stehen/Gehen in Kombination brachte ähnliche Ergebnisse.

Sowohl Burgkardt (2015) mit dem 3D-Scanner, als auch Hauptmann (2014) mit der Wasserverdrängung betrachteten zudem verschiedene Arbeitssituationen mit einem Wechsel von Sitzen, Stehen und Gehen in einer Taktzeit von 60-70 Sekunden und führten in regelmäßigen Zeitabständen Messungen durch. Trends sind aus diesen Daten ersichtlich, allerdings zeigten die Messmethoden einige Schwachstellen, die teils starke Einflüsse auf die Ergebnisse hatten. So traten Schwankungen und teilweise sogar Volumenabnahmen unterhalb des Ausgangsvolumens auf.

#### 4. Diskussion und Ausblick

Zwar stellen diese Versuche lediglich orientierende Vorversuche dar, dennoch lassen sich hierbei bereits erste Folgerungen ableiten. Alle Versuche zeigten Volumenänderungen bis max. 3,3% bezogen auf das Ausgangsvolumen. Das rein statische Stehen weist erwartungsgemäß im Vergleich die höchste Volumenzunahme auf, gefolgt vom Sitzen und dem dynamischen Stehen. Zudem zeigen die Befragungen der Probanden, dass subjektiv das statische Stehen mit zunehmender Zeit als am stärksten beanspruchend wahrgenommen wird. Stehende Anteile sollten folglich möglichst viele dynamische Anteile beinhalten. Dennoch sollten auch Sitzanteile und Abwechslung erwogen werden, d.h. es ist durchaus sinnvoll in der Montage Sitzmöglichkeiten zu schaffen. Um genauere Aussagen über den Anteil am Stehen, Sitzen und Gehen im Arbeitsablauf treffen zu können, sind weiterführende Messungen mit höheren Probandenzahlen und eine Überprüfung der ausgewählten Messmethoden nötig.

So benötigt z.B. die Volumenmessung nach Kuhnke (1976) aufgrund der Vielzahl an Einzelmessungen einen hohen Zeitaufwand, wodurch die Messergebnisse sehr ungenau werden. Die Volumenmessung durch Wasserverdrängung war teilweise starken Schwankungen unterlegen, die sich unter anderem durch das Herausragen von Wasser beim Verlassen des Wasserbehälters ergaben, aber auch durch Bewegungen des Probanden und damit verbunden einem erhöhten Wasserüberlauf.

Tabelle 2 zeigt eine qualitative Gegenüberstellung der einzelnen Messmethoden.

**Tabelle 2:** Vergleich der Messmethoden (+/++: zunehmend positive Einschätzung; -/-: zunehmend negative Einschätzung)

Methode	Messgenauigkeit	Validität	Reliabilität	Objektivität	Mess-/ Zeitaufwand	Mobilität
Scheiben-Methode (Kuhnke)	--	+	--	-	--	++
Wasserverdrängung	-	++	+	--	--	--
3D-Scanner	++	++	++	+	--	--
Differenzialdrucksensor (Nocker)	++	++	++	++	++	++



Eine Möglichkeit die Störfaktoren der Volumenmessung mit Wasserverdrängung zu eliminieren bietet eine erweiterte Methode, die von Wolfgang Nocker an der Technischen Universität München entwickelt, bisher aber nicht veröffentlicht wurde. Hierbei wird der Parameter der Wasserverdrängung durch einen Differenzialdrucksensor ermittelt. Er ist im Inneren des Wasserbehälters angebracht und misst den Druck der Wassersäule, die sich je nach Füllmenge verändert. Diese Methode wurde bereits intensiv im medizinischen Bereich zur abschwellenden Wirkung von Medizinprodukten bei einer Beinverletzung (z.B. Distorsion) angewendet. Sie scheint vielversprechend zu sein und bietet den Vorteil schnellerer und somit genauerer Messungen (vgl. Tab. 2).

Da es bisher bezüglich der Steharbeit nur wenige Kenntnisse und Vergleichswerte in der Literatur gibt, ist es wichtig weiter in diesem Bereich zu forschen. In weiterführenden Versuchen sollen neben der Methode der Volumenmessung auch die Oberflächen-Elektromyographie Anwendung finden. Hauptmann (2014) hat auch hierzu erste vielversprechende Versuche durchgeführt (vgl. Brombach et al., 2014).

## 5. Literatur

- Berger H, Caffier G, Schultz K, Trippler D (2009) Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit. Kiel: LASI Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg), 6.
- BMAS, Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2006) Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2006. Berlin: Unfallverhütungsbericht Arbeit, 31.
- Brombach J, Carlstron-Hanauer, Lutzenberger C, Kaltenbrunner S (2014) Ergonomische Beurteilungen in der Montage – Auf den richtigen Wechsel kommt es an!. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. Dortmund: GfA-Press, 141-143.
- Burgkardt M (2015) Sitzen in der Fließmontage. Hochschule München: Bachelorarbeit.
- Frieling E, Kotzab D, Enriquez-Diaz A, Sytch A (2012) Mit der Taktzeit am Ende - Die älteren Beschäftigten in der Automobilmontage. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Hauptmann M (2014) Möglichkeiten zur Messung der Beanspruchung der Beine bei sitzenden und stehenden Tätigkeiten. Hochschule München: Bachelorarbeit.
- Herpertz U (2010) Ödeme und Lymphdrainage – Diagnose und Therapie von Ödemkrankheiten. Stuttgart: Schattauer GmbH, 67.
- Kuhnke E (1976) Volumenbestimmung aus Umfangmessungen. Folia Angiologica - International Journal of Clinical Angiology XXIV:228-232.
- 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.
- LASI, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (2009) Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit (LV 50), Potsdam.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Berlin u.a.: Springer Verlag, 238 u. 259-266.