

## **Analyse von Belastungen und muskulären Beanspruchungen der unteren Extremitäten beim „seitlichen“ Gehen an einer simulierten Montagelinie mit unterschiedlichen Laufrichtungen und kurzen Taktzeiten**

Jurij WAKULA, Stefan BAUER, Sören SPINDLER und Ralph BRUDER

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

**Kurzfassung:** Schwerpunkt der Studie im IAD-Labor lag auf der Analyse der Auswirkung des *Gehens* mit *seitlichen Schritten* in unterschiedlichen Umlaufrichtungen von Station zur Station an der simulierten U-Linie (*gegen Uhrzeigersinn und im Uhrzeigersinn*) auf die muskuläre Beanspruchung der linken und rechten Beinmuskulatur bei männlichen Probanden. Die Messungen wurden mittels Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) mit dem Noraxon-Messsystem realisiert. Die Länge der U-Linie mit fünf Arbeitsstationen betrug ca. 2,2 m die Breite ca. 1,2m. Vier Probanden ohne Erfahrung in der Montage im Alter von 19-30 Jahren nahmen an der Studie teil. Die Ergebnisse zeigen, dass „seitliches“ Gehen *gegen Uhrzeigersinn* beanspruchender für die rechten Beinmuskeln im Vergleich zum linken Bein ist und umgekehrt beim Gehen *im Uhrzeigersinn* für Muskel im linken Bein.

**Schlüsselwörter:** U-Montagelinie, „seitliches“ Gehen gegen Uhrzeigersinn vs. im Uhrzeigersinn, muskuläre Beinbeanspruchung

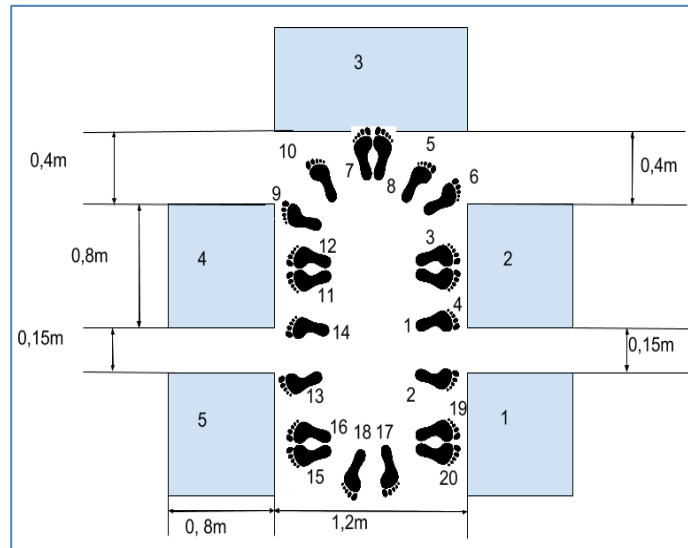
### **1. Einleitung und Problemstellung**

Bei Montagetätigkeiten in einer U-Linie treten Belastungen und Beanspruchungen sowohl in den oberen Extremitäten und des Schultergürtels durch kurze Bewegungszyklen mit hochdynamischen Hand-Armbewegungen als auch in den unteren Extremitäten durch ständiges Stehen und Gehen zwischen verschiedenen Arbeitsstationen auf. Dazu kommen Beinbewegungen mit „seitlichen“ Schritten („seitliches“ Gehen) relativ häufig vor.

Aufbauend auf den Erkenntnissen vorangegangener Studien zur Beanspruchungsanalyse von ausgewählten Beinmuskeln beim „normalen“ und „seitlichem“ Gehen (Wakula u. a., 2016) wurde eine Laborstudie am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) im Rahmen des von BGHM und BGETEM geförderten Projektes „U-Linie Montagesysteme“ konzipiert und durchgeführt. Schwerpunkt der Studie lag auf der Analyse der Auswirkung des *Gehens* mit *seitlichen Schritten* in unterschiedlichen Umlaufrichtungen von Station zur Station - *gegen Uhrzeigersinn und im Uhrzeigersinn* - auf die muskuläre Beanspruchung der linken und rechten Beinmuskulatur. Dieser Beitrag präsentiert die Ergebnisse aus dem Teil1 der Studie.

## 2. Methodik und Versuchsaufbau

### 2.1 Aufbau der simulierten U-Linie und Messablauf



**Abb. 1:** Simulierte U-Linie mit fünf Arbeitsstationen

Die simulierte U-Linie bestand in dem Teil der Studie aus fünf Arbeitsstationen. Die Tischabstände waren klein (von 0,15 m bis 0,4 m), sodass man mit zwei Seitenschritten (*seitliches Gehen*) zwischen den Tischen/Stationen wechseln konnte (Abb. 1).

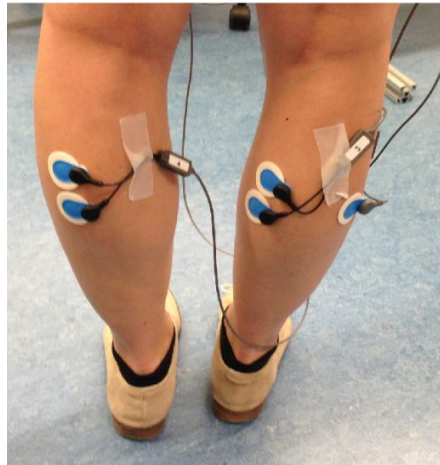
Die Stehzeit an den einzelnen Arbeitsstationen betrug jeweils ca. 15 Sekunden. Währenddessen sollte der Proband mit dem bereitgestellten Material an jeder Station einfache Montagearbeiten mit beiden Händen ausführen. Die Zykluszeit betrug ca. 80 Sekunden.

Der Versuchsablauf beinhaltete mehrere Messreihen und dauerte mit den Erholungspausen ca. 4 Stunden. Zuerst hat sich jeder Proband 10 Minuten gegen den Uhrzeigersinn (GUZS), dann 10 Minuten im Uhrzeigersinn (UZS) und anschließend nochmals 10 Minuten gegen den Uhrzeigersinn (GUZS) bewegt. Nach jeder der 10-minütigen Messungen folgte eine Pause von 5 Minuten zur Erholung der Muskulatur. Die Stationswechsel erfolgten durch seitliche Schritte. Darauf folgende drei Messreihen unterschieden sich von vorherigen durch eine Verlängerung der Gehezeit von 10 auf 20 Minuten pro Richtung. Die Abfolge des Gehens wurde beibehalten: GUZS → UZS → GUZS, die Pausendauer zwischen jeder Reihe wurde auf ca. 10 Minuten verlängert.

### 2.2 Methode: Oberflächen-Elektromyographie (OEMG)

Die objektiven physiologischen Beanspruchungsdaten wurden an ausgewählten Beinmuskeln (linke und rechte Körperseite) mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG, AWMF 2013) analysiert. Für die EMG-Aufnahme wurde ein portables TeleMyo 2400 G2 Gerät von Noraxon verwendet (WAKULA u.a. 2016). Die Myoelektrischen Signale werden mittels Oberflächenelektroden erfasst. Die physiologische Beanspruchung wurde an drei Muskeln (*m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius lateralis* und *m. gastrocnemius medialis*) des linken und des rechten Beines (Abb. 2) bei vier männlichen jungen Probanden (Tab.1) im IAD-Labor gemessen und analysiert.

Vor und nach den Messungen wurden Ruheaktivitäten sowie MVC-Messungen des jeweiligen Muskels bei jedem Probanden aufgenommen. Für die Ruhemessung befand sich der Proband in einer liegenden Position, dabei entspannte sich die Beinmuskulatur. Die MVC (Maximal Voluntary Contraction) - Messungen wurden in Anlehnung an die Fachliteratur (AWMF online, 2013) durchgeführt.



**Abb. 2:** Ableitorte an Beinmuskeln

Vier männliche Probanden nahmen an den Messungen teil. Daten zu den Probanden sind in der Tabelle 1 enthalten.

**Tabelle 1:** Testpersonen

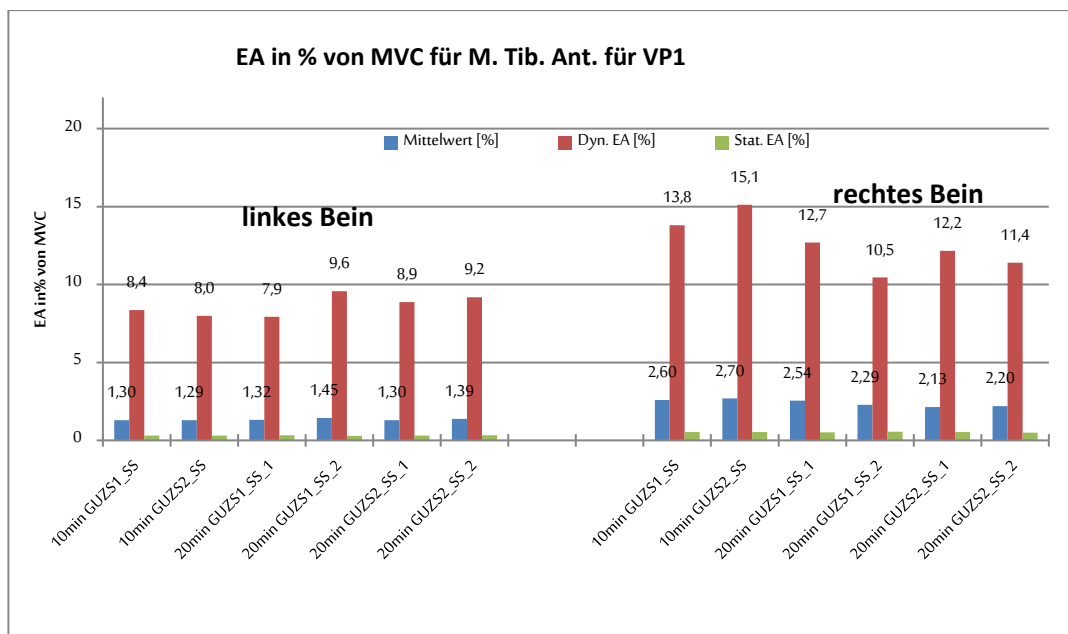
Probanden	Alter	Gewicht [kg]	Körpergröße [cm]	BMI-Index
Probanden 1	29	63	185	18,4
Probanden 2	19	60	180	18,5
Probanden 3	19	85	187	24,3
Probanden 4	30	87	185	25,4

### 3. Datenverarbeitung und Ergebnisse

Die mittels Noraxon-System aufgezeichneten muskulären Beanspruchungsdaten wurden mit der Software Myo Research XP Master Edition in Version 1.08 bearbeitet. Die Werte aller Probanden wurden in eine Excel-Datei übertragen und ausgewertet. Daraus wurden Diagramme erstellt, in denen jeweils für jede Messreihe die statischen EA-Anteile, dynamischen EA-Anteile und mittleren EA-Werte dargestellt sind.

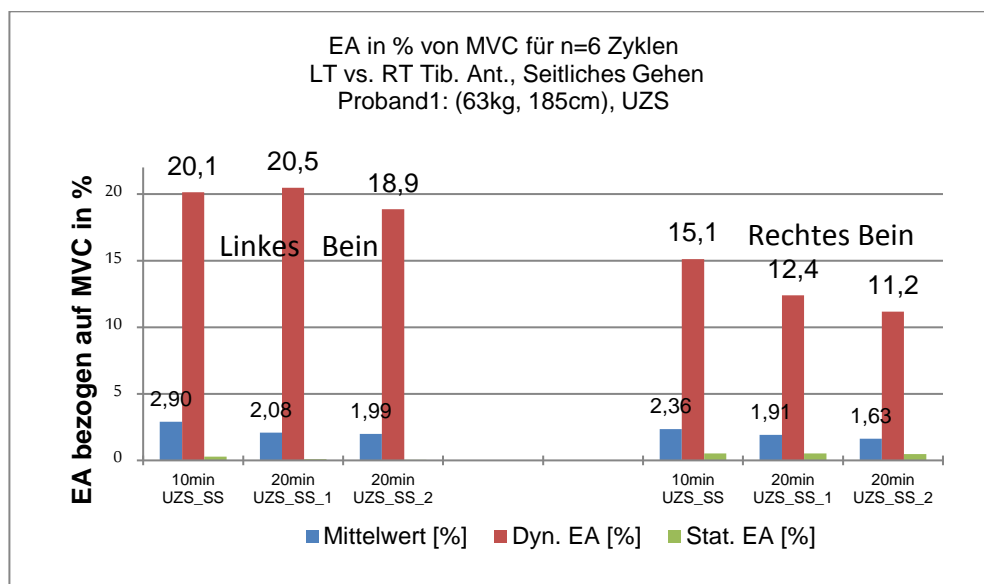
Die detaillierten Informationen zu den einzelnen Kenngrößen sind der OEMG-Leitlinie (DGAUM und GfA, 2013) zu entnehmen.

Die einzelnen Muskeln wurden zuerst separat analysiert. Anschließend erfolgte eine Darstellung der Ergebnisse jedes einzelnen Muskels bezüglich alle analysierten Probanden. Abbildungen 3 und 4 zeigen die exemplarischen Beanspruchungsergebnisse hinsichtlich des *m. tibialis anterior* (linkes und rechtes Bein) des Probanden 1 beim Gehen gegen den Uhrzeigersinn (Abb. 3) sowie im Uhrzeigersinn (Abb. 4).



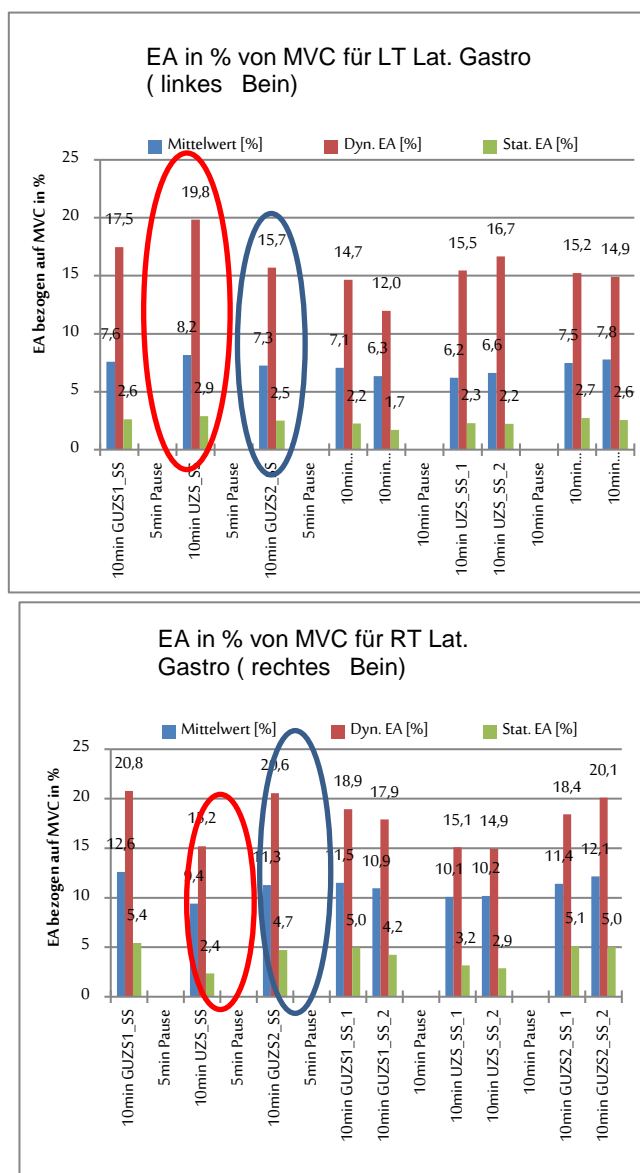
**Abbildung 3:** Vergleich der normierten EA Aktivitäten *m. tibialis anterior* beim Gehen gegen den Uhrzeigersinn im linken vs. rechten Bein der VP1

Bei der Betrachtung des Diagramms (Abb. 3) fällt auf, dass beim Gehen gegen den Uhrzeigersinn der Muskel *m. tibialis anterior* des rechten Beines des Probandes 1 deutlich stärker beansprucht wird als dieser Muskel des linken Beines. Umgekehrt – beim Gehen im Uhrzeigersinn zeigt dieser Muskel deutlich höhere Beanspruchungswerte im linken Bein als im rechten (Abb. 4).



**Abbildung 4:** Vergleich der normierten EA Aktivitäten *m. tibialis anterior* im linken und rechten Bein des Probandes 1 beim Gehen im Uhrzeigersinn

Diese Tendenzen lassen sich auch bei der Betrachtung analysierten EA-Aktivitäten beim anderen Muskeln gemittelt über vier analysierten Probanden feststellen (vgl. Abbildung 5a,b)



**Abbildung 5a, b:** Vergleich der normierten EA Aktivitäten für *m. gastrocnemius lateralis* im linken und rechten Bein gemittelt über vier analysierte Probanden

#### 4. Fazit

Aus den Ergebnissen dieser Studie lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die Arbeitsgestaltung ableiten:

- Trends zu einseitigen muskulären Belastungen / Beanspruchung sind bei der ständigen Bewegung in einer Richtung - gegen Uhrzeiger (GUZS) oder im Uhrzeigersinn (UZS) erkennbar;
- Wechsel der Laufrichtung an der U-Linie: GUZS -> UZS -> GUZS →UZS ist positiv für die muskuläre Beanspruchung – es bringt den Ausgleich der EA-Werte in analysierten rechten und linken Beinmuskeln;
- Bei einer Versuchsdauer von ca. 4 Stunden war mit dem Wechseln der Laufrichtung kein erkennbarer Anstieg der Beanspruchung sichtbar;
- Ein ergonomischer Belastungsausgleich durch variierende Umlaufrichtung und Bewegungsstrategie ist ratsam.

Die gewonnenen Erkenntnisse basieren auf einer Laborstudie mit einer simulierten U-Montagelinie und vier jungen Probanden. Um die oben genannten Aussagen statistisch zu prüfen, wären weitere Studien sowohl im Labor als auch in der Praxis mit einer größeren Anzahl unterschiedliche Probanden empfehlenswert.

## 5. Literatur

- AWMF online (2013). Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft- Arbeitsmedizinische S2k-Leitlinie der Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) und der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA). AWMF online- Das Portal der wissenschaftlichen Medizin.
- Kummer, S. (2009). *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik*. Pearson Deutschland GmbH.
- Wakula J, Fichtner K, Bruder R (2016) Analyse der physischen Belastungen und der muskuläre Beanspruchungen an der simulierten U-Montagelinie mit unterschiedlichen Mechanisierungsgrad in der Prozesslernfabrik der TU Darmstadt. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!. Dortmund: GfA-Press.
- Wakula, J, Möglich, D, Bruder, R (2016) „Normales“ vs. „seitliches Gehen“ bei simulierten einfachen Montagetätigkeiten – Analyse der muskulären Beanspruchungen in den Beinen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!. Dortmund: GfA-Press.

**Danksagung:** Die Autoren danken der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) und der Berufsgenossenschaft Elektrotechnik (BG ETEM) für die Förderung des Projektes „U-Linie Montagesysteme“ in dessen Rahmen diese Studie realisiert wurde.