

„Normales“ vs. „seitliches Gehen“ bei simulierten einfachen Montagetätigkeiten – Analyse der muskulären Beanspruchungen in den Beinen

Jurij WAKULA, Dorothee MÜGLICH, Ralph BRUDER

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

Kurzfassung: Beim „normalen“ und „seitlichen“ Gehen an der einfachen simulierten U-Montagelinie wurden muskuläre Beanspruchungen an den unteren Extremitäten im IAD-Labor analysiert. Die Montagetätigkeiten sind nach vier Szenarios ausgeführt worden. Die Länge der U-Linie mit drei Arbeitsstationen betrug ca. 2m und Breite ca. 1,4m. Mittels OEMG wurden EA-Aktivitäten an 6 Beinmuskeln gemessen. An der Studie nahmen vier Probanden ohne Erfahrung in der Montage im Alter von 24-26 Jahren teil. Die Ergebnisse zeigen, dass „seitliches“ Gehen beanspruchender für die unteren Extremitäten im Vergleich zum „normalen“ Gehen ist. Es wurden höhere EA-Werte (besonders dynamische EA-Anteile) bei vier von sechs analysierten Beinmuskeln festgestellt.

Schlüsselwörter: U-Montagelinie, „seitliches“ und „normales“ Gehen, muskuläre Beanspruchungen in Beinen

1. Einleitung und Problemstellung

Heutzutage wird bei der Montage das Ablaufprinzip des „One-Piece-Flow“ (Einzelstückfließfertigung) verwendet, um das Produkt mit höchst möglicher Qualität, zu niedrigen Kosten und in möglichst kurzer Zeit zu montieren. Dieses Prinzip hat seinen Ursprung im Toyota Produktionssystem und basiert auf dem Just-In-Time Prinzip des „Lean-Production“-Ansatzes (Kummer, 2009). Der Vorteil dabei ist, dass die mehrstufige Bearbeitung eines Teils ohne Zwischenlagerung an verschiedenen Arbeitsstationen stattfindet. Auf diese Weise kann trotz hoher Variantenvielfalt, die Flexibilität der Ausbringungsmenge gewährleistet werden. Um lange Wege zwischen der Anfangs- und Endstation zu vermeiden, werden die Arbeitsstationen typischerweise in einem U-Layout angeordnet. Die Gesamtheit der Arbeitsstationen in dieser Anordnung wird als „U-Montagelinie“ genannt.

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. Um eine Aussage zu Beanspruchungen von ausgewählten Beinmuskeln beim „normalen“ und „seitlichem“ Gehen während einer simulierten Montagearbeit in einer U-Linie-Layout machen zu können, wurde eine Laborstudie (Abakumov et al, 2014) im Rahmen des Projektes „U-Linie Montagesysteme“ am IAD durchgeführt. Dieser Beitrag präsentiert die Ergebnisse aus der Studie.

2. Methodik und Versuchsaufbau

2.1 Oberflächen-Elektromyographie (OEMG)

Die objektiven Beanspruchungsdaten wurden an ausgewählten sechs Bein-Muskeln (linke und rechte Körperseite) mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG, Strasser 1996, AWMF 2013) gemessen:

Für die EMG-Aufnahme wurde ein portables TeleMyo 2400 G2 Gerät von Noraxon verwendet (Abb. 1a; Konrad, 2005). Die myoelektrischen Signale werden mittels Oberflächenelektroden erfasst. Da das verwendete Noraxon EMG-Gerät nur eine begrenzte Anzahl der Muskelaktivitäten aufzeichnen kann, musste die Anzahl der im Versuch zu messenden Muskeln eingeschränkt werden. In einem Laborvorversuch mit einem Probanden wurden die jeweils 15 Oberflächenmuskeln des Beins auf der rechten und linken Seite beim Ausführen der Tätigkeiten in der U-Linie analysiert und verglichen. Die folgende Muskeln zeigten dabei die größte Relevanz für die Untersuchungen: *Musculus (m.) tibialis anterior*, *m. gluteus medius*, *m. peroneus brevis*, *m. biceps femoris* sowie *m. gastrocnemius (medialis)* an U-Linien. Da der *m. peroneus brevis* sehr klein ist und dadurch die Elektroden schwer zu platzieren sind, wurde dieser Muskel bei der weiteren Analyse ausgeschlossen. Zusätzlich zu den fünf Muskeln wurde der *m. quadriceps femoris (vastus lateralis)* ausgewählt, da dieser essentiell für die Streckung des Kniegelenks ist und somit beim Gehen eingesetzt wird.



Abbildung 1a: TeleMyo 2400 G2 Gerät von Noraxon;

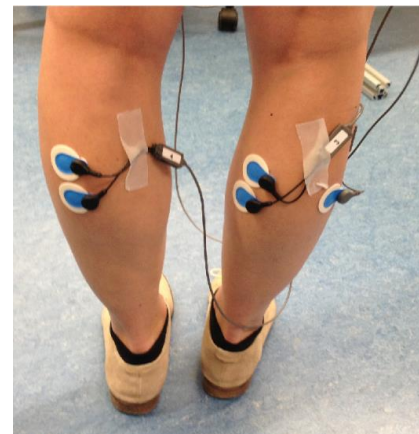


Abb. 1b: Ableitorte an Beinmuskeln

2.2 Versuchslayout und Szenarios

Die Tätigkeit in der simulierten U-Linie gliederte sich in zwei Situationen mit jeweils zwei Ausführungsvarianten auf. In der Situation A stand der Proband jeweils ca. 15 Sek. an einem Montagetisch und in der Situation B - jeweils 30 Sek. dabei führte er einfache Montagetätigkeit aus. Die zwei Ausführungsvarianten von Stationswechseln wurden als „normales Gehen“ (Variante 1) und „seitliches Gehen“ (Variante 2) bezeichnet.

Die Länge der U-Linie mit drei Arbeitsstationen betrug ca. 2m und Breite ca. 1,4m (Abb. 2). Die Ausgangssituation ist beides Mal identisch. Beide Füße sind parallel zueinander ausgerichtet, so dass der Proband mittig vor der Station 1 steht.

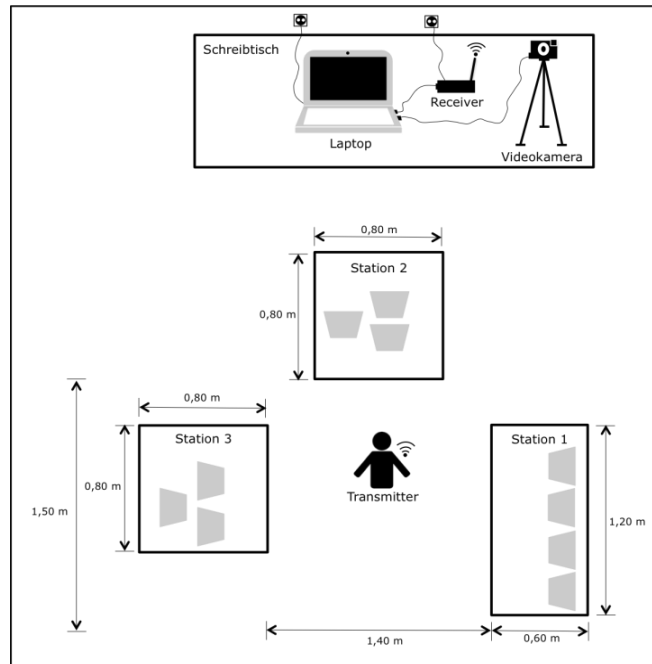


Abbildung 2: Layout der analysierten U-Montagelinie im IAD-Labor

Das „normale Gehen“ (Variante 1) wird durch insgesamt sieben Schritte und „seitliches“ Gehen mit neun Schritten vollzogen. Folgende Arbeitsszenarios wurden gebildet und analysiert:

- Scenario A1: Montieren kleiner Teile im Stehen 15 Sek. an jeder der drei Arbeitsstationen und „normales“ Gehen von Station zu Station;
- Scenario A2: Wie A1 aber mit „seitlichem“ Gehen (1-2 Schritte) zwischen drei Stationen;
- Scenario B1: Montieren kleiner Teile im Stehen 30 Sek. an jeder Arbeitsstation und „normales“ Gehen zwischen den Stationen;
- Scenario B2: Wie B1 aber mit „seitlichem“ Gehen von Station zu Station.

Zwischen jedem der vier Scenarios wurden ca. 5 Minuten Pausen eingelegt. Vier junge Probanden (3 weiblich und 1 männlich) im Alter 24-26 Jahre und mit einer Körpergröße von im Durchschnitt 170 cm nahmen an der Studie teil. Das Körpergewicht betrug durchschnittlich 58 kg.

Muskuläre Beanspruchungen wurden in sechs Bein-Muskeln (zwei im rechten Bein und vier im Linken) gemessen und analysiert (s. Tabelle 1):

Tabelle 1: Analytierte Muskeln

linkes Bein	rechtes Bein
m. gluteus medius	m. gluteus medius
m. quadriceps femoris (vastus lateralis)	m. biceps femoris
m. gastrocnemius (medialis)	
m. tibialis anterior	

Die zusätzliche Erhebung der Maximalkraft (MVC - maximal voluntary contraction) der Muskeln sind bei EMG-Analysen nötig (AWMF 2013), um die Ergebnisse unterschiedlicher Probanden miteinander vergleichen zu können. In der Studie wurde die MVC jedes Muskels separat jeweils zweimal gemessen.

3. Ergebnisse

Beim *M. quadriceps femoris* (vastus lateralis) ergaben sich folgende Ergebnisse (s. Abb. 3). Beim Vergleich der Muskelaktivitäten beim „**Stehen**“ zeigte sich, dass die Mittelwerte bei beiden Zeitvarianten, also bei 15 Sek. und 30 Sek., relativ konstant bleiben. Dynamische EA-Anteile (Elektromyographische Aktivität) sind bei den Messungen mit „seitlichem Gehen“ festgestellt worden. Insgesamt ist der *m. quadriceps femoris* (vastus lateralis) bei beiden Zeitvarianten des „Stehens“ auf einem niedrigen Niveau beansprucht wird (<10% von MVC).

Bei der Betrachtung der Messdaten bei der Aktivität „**Gehen**“ (Abb. 3, rechts) fällt bei der „Zeitvariante 15 Sek.“ auf, dass sowohl der Mittelwert als auch der dynamische Wert beim „seitlichen Gehen“ deutlich über den Werten des „normalen Gehens“ liegen. Insgesamt wurde festgestellt dass der *m. quadriceps femoris* (vastus lateralis) beim „seitlich Gehen“ stärker als beim „normalen Gehen“ beansprucht wird. Werden die Aktivitäten des *m. quadriceps femoris* (vastus lateralis) insgesamt beim „**Stehen**“ und „**Gehen**“ verglichen, so wird deutlich, dass sowohl die EA-Mittelwerte als auch die dynamischen EA-Anteile und somit die Beanspruchung des Muskels beim „Stehen“ viel geringer als beim „Gehen“ sind.

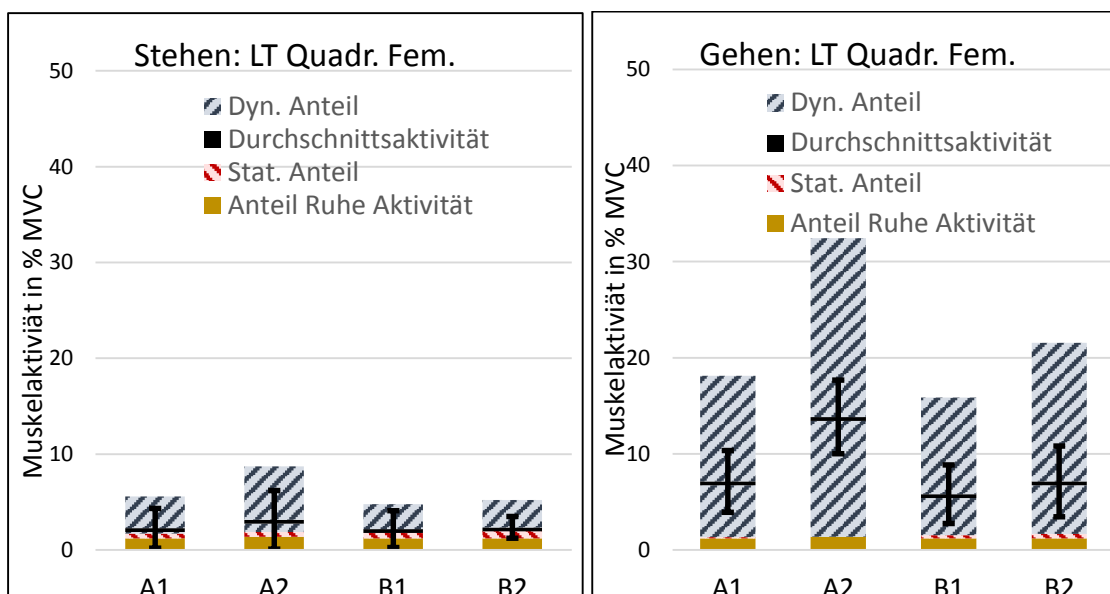


Abbildung 3: Vergleich der EA in *m. quadriceps femoris* beim Stehen / Gehen im linken Bein

Der Vergleich der Messdaten *m. gluteus medius* am linken Bein beim „**Stehen**“ zeigte kaum Unterschiede in den vier analysierten Szenarios (s. Abb. 4). Sowohl die EA-Mittelwerte als auch die dynamischen EA-Anteile blieben bei beiden Zeitvarianten auf einem konstanten, niedrigen Niveau (<10% von MVC).

Der Vergleich der vier Szenarios beim „**Gehen**“ zeigte, dass die Erhöhung der EA-Mittelwerte und der dynamischen EA-Anteile annähernd im gleichen Bereich bei 15 Sek. bzw. 30 Sek. liegen. Daraus kann geschlossen werden, dass der Muskel beim „seitlichen Gehen“ deutlich stärker als beim „normalen Gehen“ beansprucht wird.

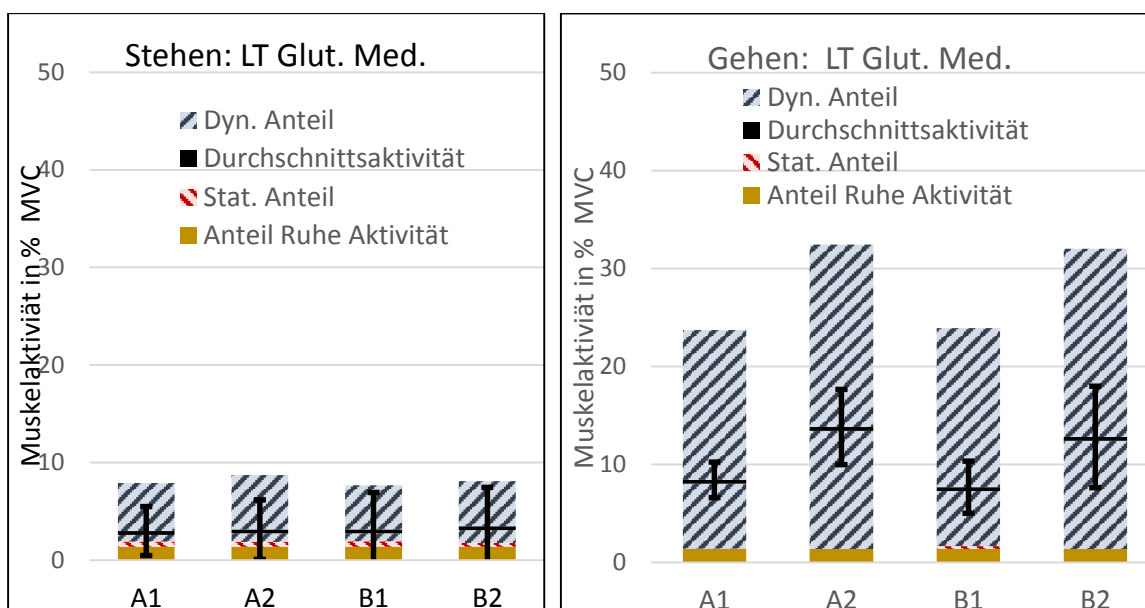


Abbildung 4: Vergleich der EA in *m. m. gluteus medius* beim Stehen / Gehen im linken B

Beim Vergleich der Messdaten beim „**Stehen**“ und „**Gehen**“ wird ersichtlich, dass die Mittelwerte und dynamischen Anteile beim „Gehen“ deutlich über den EA-Werten beim „Stehen“ liegen somit wird dieser Muskel mehr als beim „Stehen“ beansprucht. Die statischen EA-Anteile sind gering und bleiben auf gleicher Aktivitätsebene wie beim *m. quadriceps femoris*.

Zusammenfassend wurden folgende Hauptergebnisse aus dieser Laborstudie gewonnen:

- „Seitliche“ Schritte werden oft von Arbeitspersonen an Montagelinien mit eng aufgestellten Arbeitsstationen praktiziert;
- „Seitliches“ Gehen ist beanspruchender im Vergleich zum „normalen“ Gehen. Es wurden höhere EA-Werte (besonders dynamische EA-Anteile) bei vier von sechs analysierten Beinmuskeln festgestellt;
- Beim Stehen mit Dauer 15 Sek. oder 30 Sek. gibt es geringfügige Unterschiede in der lokalen Beanspruchung der analysierten Muskel;
- Die statischen EA-Anteile waren bei allen analysierten Muskeln gering (< 3% von MVC) und unterschieden sich kaum bei den vier Szenarios;

4. Diskussion

Die analysierten Muskeln wurden nach verschiedenen Kriterien bewertet, woraus schließlich ein Gesamturteil für weitere Studien in der Praxis gebildet wurde. Dabei wurden zum einen die Eindeutigkeit der Elektrodenplatzierung, die Qualität der Ruhemessung sowie die Durchführung der MVC-Messung in der Vorbereitungsphase beurteilt. Zum anderen wurden die Muskelaktivitäten beim Stehen und Gehen (Durchschnittswerte, dynamische EA-Anteil) als Auswahlkriterium herangezogen. Dabei wurden die Kriterien der Kategorie „Vorbereitung“ qualitativ und die Messergebnisse quantitativ bewertet.

Folgende Muskeln erweisen sich als besonders gut für zukünftige Feldmessungen geeignet:

- *m. quadriceps femoris (vastus lateralis)*
- *m. tibialis anterior*
- *m. gastrocnemius (medialis)*

Diese Muskeln sind leicht und schnell in der Messvorbereitung und zeigen bei Messungen deutlich erkennbare Ausschläge (Wakula et al, 2016).

Der *m. gluteus medius* zeigte ebenfalls bei der Gesamtwertung eine Relevanz für die Feldstudien auf, da er bei den Kriterien Elektrodenplatzierung, MVC-Messung und Erfassung der Muskelaktivität während der Messungen gute Werte zeigte. Das Hauptproblem bei diesem Muskel liegt bei der Ruhemessung, da der Ruhewert aufgrund der nahe am Muskel verlaufenden Arterie mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Herzschlag überlagert wird.

Die größten Schwankungen zwischen den einzelnen Bewertungen zeigte der *m. biceps femoris*. In der Vorbereitung erwies sich dieser Muskel als äußerst schwierig, vor allem, da er schwer zu finden ist.

Besonders beim seitlichen Gehen, welches die Hauptbeanspruchung in der U-Linie darstellt, zeigen die Muskeln *m. quadriceps femoris (vastus lateralis)*, *m. tibialis anterior* und *m. gluteus medius* eine deutliche Muskelaktivität auf. Die Muskelaktivität dieser Muskeln ist beim „normalen“ Gehen und Stehen im Vergleich geringer.

Insgesamt weisen alle sechs untersuchten Muskeln höhere EA-Werte beim Gehen (seitlich sowie normales Gehen) als beim Stehen auf.

Die ausführlichen Untersuchungen basieren auf einer Laborstudie mit vier jungen Probanden. Um die oben genannten Aussagen statistisch zu prüfen, wären weitere Studien mit einer größeren Anzahl sowie unterschiedlichen Probanden erforderlich.

5. Literatur

- Abakumov N, Behnisch P, Friedrich A, Gebauer Ch, Röth J, Stolz N. (2014) Analyse der Muskelaktivität in den Beinen beim Stehen und Gehen bei U-Linie-Montagetätigkeiten. Tutorium am IAD, Technische Universität Darmstadt; Betreuer: J. Wakula und D. Müglic.
- 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.
- Konrad, P. (2005). *EMG - Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie*, Hrsg.: Velamed Medizintechnik.
- Kummer, S. (2009). *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik*. Pearson Deutschland GmbH.
- Strasser H (1996). Beanspruchungsgerechte Planung und Gestaltung manueller Tätigkeiten – Elektromyographie im Dienst der menschengerechten Arbeitsgestaltung, Hrsg.: Ecomed Verlag, Landsberg/Lech.
- 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.

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