

Analyse und Bewertung von Belastungen und Beanspruchungen bei manuellen Tätigkeiten in einer schlanken U-Zerspannungslinie mit Chaku-Chaku Prinzip

Jurij WAKULA, Christian STÜRMER, Mirco SCHMEISS

*Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2, D-64367 Darmstadt*

Kurzfassung: Körperlichen Belastungen und physiologische Gesamt-Beanspruchung sowie lokale Teilbeanspruchungen (Arb.HSF und EMG in vier Muskeln) wurden in einer U-Zerspannungslinie in der Prozesslernfabrik (CIP) der TU Darmstadt analysiert. Die U-Linie bestand aus sechs Fräs- und Drehmaschinen, die von einem Mitarbeiter nacheinander bedient wurden. Die Sequenzfertigung und Laufwege sind kurzgehalten worden. Im Mittelpunkt der Studie standen die Leistungen, Zeitanalysen und Auswirkungen der zwei unterschiedlichen Automatisierungsgrade der Linie auf die Beanspruchung. Bei Automatisierungsgrad 1 (AM1) war die Taktzeit ca. 2,5 Min. und bei AM2 - ca. 1.5 Min. Fünf junge und gesunde männliche Probanden nahmen an der Studie teil. Aus diesen Analysen wurden ergonomische Gestaltungsmaßnahmen abgeleitet.

Schlüsselwörter: U-Zerspannungslinie, Chaku-Chaku-Prinzip, Belastungs-Beanspruchungs-Analysen

1. Einleitung

Das Toyota-Produktionssystem (TPS) stellt eine besondere Art der Produktion dar. Hierin kommt sowohl der One-Piece-Flow als auch die besondere Art des One-Piece-Flows, das Chaku-Chaku Prinzip vor. Chaku-Chaku bedeutet aus dem japanischen übersetzt „laden - laden“. Es stellt eine Sonderform des One-Piece-Flows dar. Das Prinzip basiert auf autonom arbeitenden Maschinen. Diese erfordern hohe Anschaffungskosten, weshalb die Arbeitspersonen in einer Chaku-Chaku Linie „schnell“ arbeiten sollen. Hier warten meistens die Maschinen und nicht der Mensch. Das Chaku-Chaku Prinzip dient hauptsächlich der Massenproduktion. Man kann die benötigten Stückzahlen steuern, indem man beispielsweise die Zahl der Arbeitspersonen in der Linie variiert. Prinzipiell dient das Chaku-Chaku-Prinzip zur Vermeidung von Verschwendung, da kurze Transportwege ausreichen und das Prinzip sehr viel Zeit spart. Viele Unternehmen versuchen das TPS zu realisieren, meist nicht mit dem entsprechenden Erfolg (Schlick et al. 2010).

Für die Chaku-Chaku-Linien gibt es wenig publizierte ergonomische Studien. Häufig sind die Chaku-Chaku-Linien so gestaltet, dass die Arbeitsperson einseitig belastet ist, weshalb Erkenntnisse zur Belastungs-Beanspruchungssituation sowie die arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse für die Gestaltung von großer Bedeutung sind (Bellaghnach, 2013).

In diesem Artikel werden gewonnene Erkenntnisse aus der Studie zur Belastungs-Beanspruchungsanalyse an einer simulierten U- Zerspannungslinie mit dem Chaku-Chaku-Prinzip dargestellt.

2. Methodik, Probanden, Zerspannungslinie, Automatisierungsgrade

2.1 Methodik zur Belastungs- und Beanspruchungsanalyse

2.1.1 HSF-Messung und Analyse mit dem Varioport Messsystem

Das Varioport Messsystem (Fa. Becker MEDITEC) diente der Messung und Auswertung der Herzaktivität. Mit der zugehörigen Software Variograph ist es möglich, sowohl die Herzschlagfrequenz (HSF) als auch die Herzfrequenzvariabilität (HRV) als Indikatoren der körperlichen Gesamtbeanspruchung zu analysieren. Die HRV wird oft anhand des mittleren Quadrat sukzessiver Differenzen (MQSD) bzw. der Sympho-vagalen Balance für die Analyse der psycho-physiologischen Zustände verwendet. Weitere Details zur Arbeitsweise und Analysen mit dem Messsystem sind in der Arbeit von Longarajah (2013) enthalten.

Die Messung des Ruhepulses wurde im Stehen vorgenommen, dabei stand der Proband ohne Anstrengung und körperliche Betätigung eine Minute lang still.

2.1.2 EMG-Analysen mit dem Noraxon- Messsystem

Die Messungen wurden mit dem „Noraxon“-Messsystem durchgeführt (s. z.B. Wakula et al. 2017). Für die Datenauswertung wurde die Software „Myo Research XP Master Edition 1.8“ des Herstellers verwendet. EA-Aktivitäten wurden im rechten Bein in folgenden drei Muskeln: *M. gastrocnemius (medialis)*, *M. tibialis anterior*, *M. quadriceps femoris (vastus lateralis)* sowie in einem Schultermuskel (rechte Seite) - *M. Trapezius pars descendens* gemessen und ausgewertet.

Synchron zu der Aufzeichnung der elektromyographischen Daten wurde ein Video zur Dokumentation aufgenommen. Die Länge jedes einzelnen der drei EMG-Messabschnitte wurde auf Grund der Speicherkapazität des Systems auf ca. 30 min begrenzt. Die beiden Messsysteme wurden für die gesamte Versuchsdauer von 90 Minuten benutzt.

2.2 Probanden

An der Studie nahmen vier gesunde männliche Probanden teil. Daten der Probanden sind in der Tabelle 1 enthalten. Nur geschulten Probanden war es erlaubt in der Linie zu arbeiten. Die Probanden 1, 2, 4 wurden vorher geschult, da sie in der Linie keine Fehler bei der Bedienung der Maschinen machen sollten. Proband 2 hat eine zusätzliche Versuchsreihe ein zweites Mal eine Woche später durchgeführt. Seine Daten vergrößerten den Datenpool.

Tabelle 1: Charakteristika der Probanden

Probanden	Alter	Größe	Fitness*	Qualifizierung
1	23	182	3	kurze Schulung an der Linie
2	23	178	2	kurze Schulung
3	33	170	1	Techniker der Linie mit langjährigen Erfahrung
4	23	187	3	CIP-HiWi mit der Schulung

* Fitnesszustand: 1=sehr gut, 5= schlecht

2.3 Zerspanungslinie

Die Linie besteht aus sechs Maschinen - vier Fräsmaschinen und zwei Drehmaschinen, die U-förmig angeordnet sind (s. Abb. 1). Die Bedienung dieser Maschinen bedarf einen Anteil manueller Tätigkeiten, die mit geringen körperlichen Belastungen (*obere und untere Extremitäten: Detailsinlegen und rausnehmen sowie Stehen-Gehen entlang der Linie*) verbunden sind. Sie werden von den Probanden gegen den Uhrzeigersinn bedient und nach dem Karawanensystem durchlaufen. Karawanensystem bedeutet, dass mindestens eine Person in der Zerspanungslinie arbeitet und von Maschine zu Maschine läuft. Voraussetzung für dieses System ist auch, dass die Person sämtliche Arbeitsaufgaben und -gänge kennt und beherrscht (Takeda, 2013).

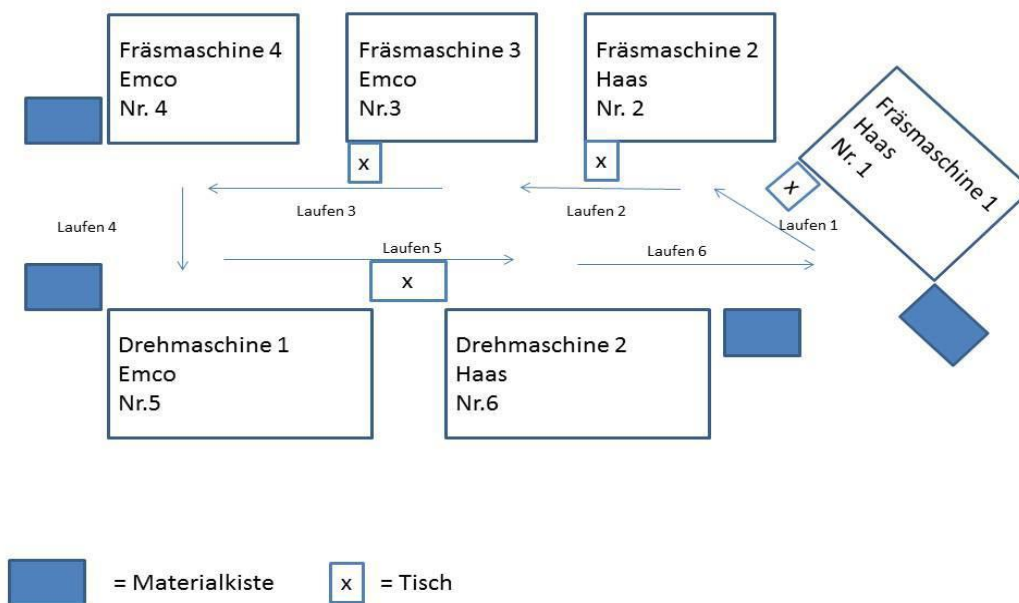


Abbildung 1: Aufbau der Linie in Automatisierungsgrad 1 (Skizze)

Die Maschinen wurden so getaktet, dass der Mitarbeiter möglichst hoch ausgelastet war und die Maschinen auf den Mitarbeiter warteten und nicht umgekehrt. Bei der analysierten Zerspanungslinie erledigt die Arbeitsperson stets wiederholende Tätigkeiten und vorwiegend einfache Einlegeaufgaben. Die Person arbeitet alleine ohne Kontakt mit anderen.

2.4 Automatisierungsgrade

In der Studie wurden Belastungen/ Beanspruchungen in der Linie mit zwei Automatisierungsgraden analysiert. Bei Automatisierungsgrad 1 (AM1; Taktzeit ca. 2,5 Min.) musste der Proband alle Programme manuell über verschiedene Tasten an den Maschinen anwählen. Die Weitergabe der Bauteile erfolgte über kleine Tische (s. Abb. 1), dadurch entstanden zwischen den Maschinen noch einmal kurze Laufwege entgegen der eigentlichen Richtung des Durchgangs. Im Automatisierungsgrad 2 (AM2) wird die Programmanwahl vereinfacht (Taktzeit ca. 1,5 Min.). Bei den ersten beiden Fräsmaschinen musste man lediglich das Bauteil einlegen und den Zyklus starten. Die Programmanwahl bei den letzten beiden Fräsmaschinen erfolgte über die Materialentnahme.

3. Ergebnisse und Diskussion

Neben den Zeitnahmen für die Arbeitskombinationsblätter wurde die Anzahl der gefertigten Teile gezählt. Das diente ebenfalls der Leistungsanalyse der Automatisierungsgrade der Linie. In Tabelle 2 ist die Anzahl der gefertigten Teile der einzelnen Probanden im definierten Zeitraum dargestellt.

Um die subjektiven Einschätzungen der Probanden zur gesamten Beanspruchung zu ermitteln, wurde sie nach den Versuchsreihen mit AM1 bzw. AM2 - anhand eines kurzen Fragebogens befragt. Bei dem Fragebogen gaben die Probanden mit Hilfe einer Skala von 1 bis 5 an, wie hoch die Beanspruchung war. Ein Wert von 1 steht hierbei für eine sehr niedrige Beanspruchung, wohingegen 5 für eine sehr hohe Beanspruchung steht. Die Ergebnisse des Fragebogens sind in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2: Anzahl von gefertigten Teilen pro Proband und subjektiv empfundene Beanspruchung

Proband	Automatisierungsgrad 1 (AM1)		Automatisierungsgrad 2 (AM2)	
	Anzahl gefertigte- Teile	empfundene Bean- spruchung *	Anzahl gefe- tigte Teile	empfundene Bean- spruchung *
Proband 1	29	3	46	4
Proband 2	30	2	59	4
Proband 3	36	2	60	2
Proband 4	33	1	62	3
Proband 2 (2.Tag)	35	3	59	3

* 1= sehr niedrige subjektive Beanspruchung; 5= sehr hohe Beanspruchung

Die kürzeren Taktzeiten, die sich in Automatisierungsgrad 2 ergeben, spiegeln sich sowohl in den gefertigten Teilen als auch in höherer subjektiv empfundener Beanspruchung bei allen Probanden wider (außer AP3).

Die Ergebnisse der Arbeitsherzschlagfrequenz (Arb.HSF) und Herzratenvariabilität (MQSD*) variieren bei den Probanden mit wenig Erfahrung von ca. 25 Schläge pro Minute (Proband 4) bis ca. 40 /Min. (Proband 1) (vgl. Tabelle 3). Hier spielt evtl. der Einfluss des schwachen Fitnessstandes des Probanden 1 eine Rolle. Ein Einfluss der Automatisierungsgrade ist bei allen drei Probanden nicht deutlich erkennbar.

Tabelle 3: Ergebnisse der Arbeitsherzschlagfrequenz und Herzratenvariabilität (MQSD)

Proband	Automatisierungsgrad 1 (AM1)		Automatisierungsgrad 2 (AM2)	
	Arb.HSF mit Sd.	Herzratenvariabilität (MQSD* in ms)	Arb.HSF mit Sd.	Herzratenvariabili- tät (MQSD in ms)
Proband 1	40,0 ± 8	18,8 ms	29,1 ± 9	14,8 ms
Proband 2	31,3 ± 8	17,2 ms	31,0 ± 8	24,1ms
Proband 3	10,0 ± 4	18,6 ms	14,3 ± 4	26,3 ms
Proband 4	21,5 ± 8	24,0 ms	21,3 ± 8	27,0 ms
Proband 2 2.Tag	27,6 ± 9	25,6 ms	25,1 ± 7	17.4 ms

* MQSD- das mittlere Quadrat sukzessiver Differenzen

Bei dem „erfahrenen“ Proband 3 –Techniker der Linie- lagen die Werte für Arb.HSF deutlich niedriger als bei den anderen Probanden – bei ca. 10-12 Schläge/min für AM1. Hierzu trägt auch der sehr gute Fitnesszustand des Probanden deutlich bei (siehe Tabelle 1).

Anhand der Auswertung der Herzratenvariabilität lässt sich aber keine eindeutige Aussage für eine höhere Beanspruchung eines Automatisierungsgrades treffen.

Die Ergebnisse der EMG-Messungen für AM1 und AM2 sind für die 2 Beinmuskeln in den Abbildung 2 dargestellt.

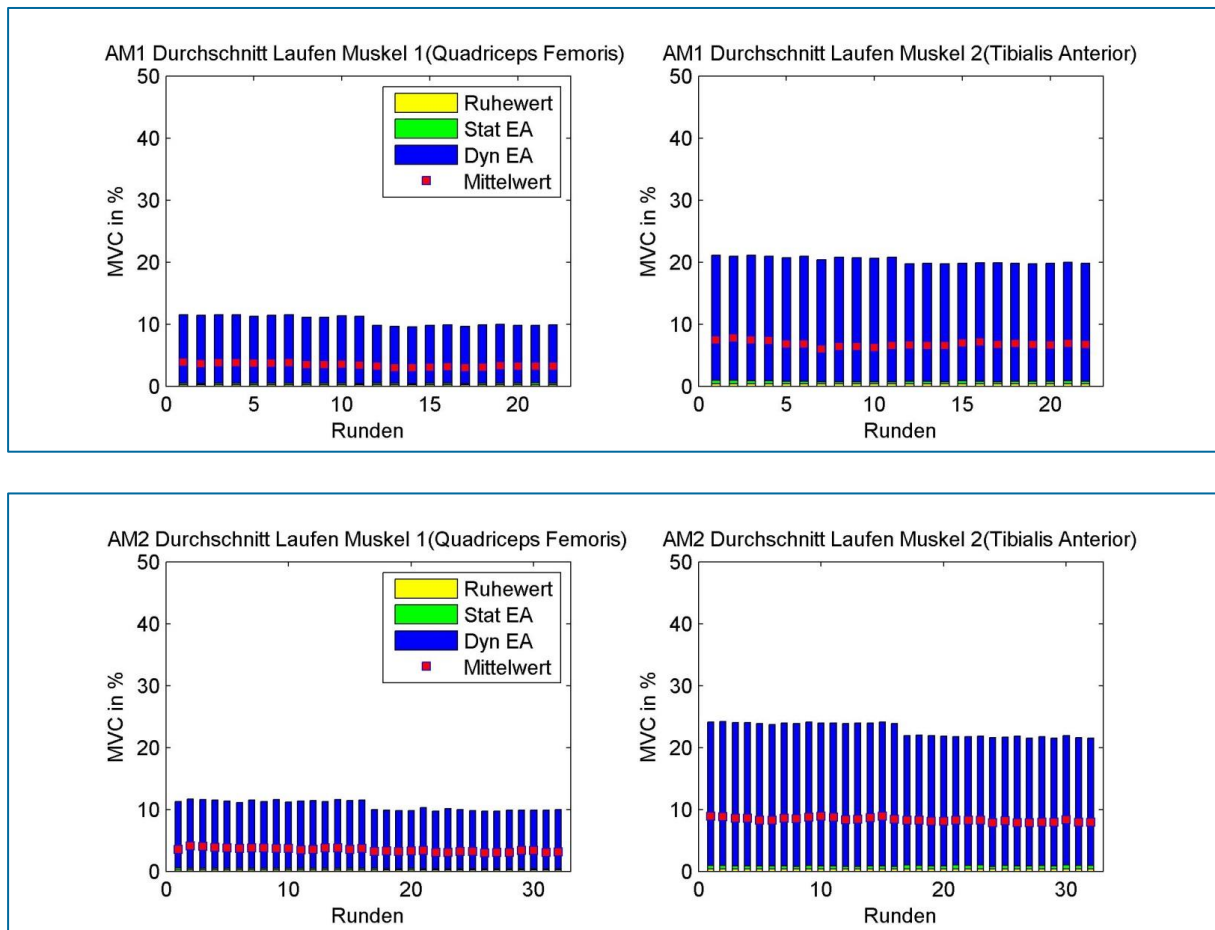


Abbildung 2: Ergebnisse der EMG-Messungen für zwei Beinmuskeln (AM1-oben und AM2 –unten)

Es ist erkennbar, dass es in beiden Muskeln (*M. tibialis anterior*, *M. quadriceps femoris (vastus lateralis)*) zwischen dem Automatisierungsgrad 1 und 2 kaum EA-Unterschiede gibt. Beim dritten Beinmuskeln *M. gastrocnemius (medialis)*- waren EA-Werte bei AM2 etwas höher als bei AM1 (etwa 5%).

Im analysierten Schultermuskel (*M. Trapezius pars descendens*) waren normierte EA-Werte bis ca. 15% MVC und der Einfluss der Automatisierungsgrade AM1 bzw. AM2 kaum erkennbar.

4. Schlussfolgerungen

Folgende Schlussfolgerungen konnten auf Basis der gewonnenen Ergebnisse dieser Studie abgeleitet werden:

1. Automatisierungsgrad 2 (AM2) wäre aus produktionstechnischer Sicht als der bessere zu bezeichnen;
2. Ein weiterer Unterschied besteht in den Steh- und Gehzeiten an beziehungsweise zwischen den Maschinen, die sich durch schnellere Programmwahl in AM 2 ergeben;
3. Körperliche Belastungen sind in AM 1 geringfügig höher als in AM 2 (anhand der Ergebnisse bezüglich der Herzratenvariabilität - Symptho-vagale Balance); Eine mögliche Erklärung ist - mehr Betätigungen /Bewegungen des Hand-Arm-Systems und des Oberkörpers;
4. Arbeitsherzschlagfrequenz bleibt in beiden Automatisierungsgraden auf einem ähnlichen konstanten Niveau;
5. Erfahrung und Fitnesszustand des Probanden 3 spiegelt sich sowohl in den Ergebnissen der Arbeitsherzschlagfrequenz als auch in der subjektiv empfundenen Beanspruchung;
6. Lokale Muskelaktivitäten bleiben im Schultermuskel in beiden Automatisierungsgraden auf einem ähnlichen Niveau
7. Lokale Muskelaktivitäten sind in einem Beinmuskel (*M. gastrocnemius medialis* bei AM2 etwas höher als bei AM1 (im Bereich bis 5%), in zwei anderen Muskeln – auf dem ähnlichen Niveau.

Ausblick für die weiteren Studien:

- die Erweiterung des Probandenkollektivs wäre sinnvoll.
- eine Verlängerung der Versuchszeit von 1,5 Stunden auf mindestens 4 Stunden (halbe Arbeitsschicht) wäre wünschenswert damit mehr Daten hinsichtlich der Gesamtbeanspruchung und der lokalen Teilbeanspruchung gewonnen werden können.

5. Literatur

- Bellaghnach, A. (2013). Identifikation und Bewertung von Analysemethoden zur Zeitaufnahme von manuellen Tätigkeiten in einer schlanken Zerspanungslinie. Masterarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Produktmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen.
- Longarajah, S. (2013). Physiologische Beanspruchungsindikatoren- Aussagekraft, Erhebungs- und Auswertungsmethode. Bachelorthesis an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Schlick, S., Bruder, R., Luczak, H. (2010), *Arbeitswissenschaft*. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Schmeiß, M. (2015). *Analyse und Bewertung von Belastungen und Beanspruchungen bei manuellen Tätigkeiten in einer schlanken Zerspanungslinie in CiP Lernfabrik*. Bachelorthesis an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Stürmer, C. (2015). *Analyse und Bewertung von Belastungen und Beanspruchungen bei manuellen Tätigkeiten in einer Zerspanungslinie in CiP Lernfabrik*. Bachelorthesis an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Takeda, H. (2013). *Das System der Mixed Production: Personal-Order-Prinzip für kundenorientierte Produktion*. München: MI Wirtschaftsbuch.
- Wakula, J., Müglich, D., Bruder, R. (2017) *Walking "Normally" vs. "Sideways" in Simulated, Simple Assembly Operations: Analysis of Muscular Strain in the Legs*. In: C.M. Schlick et al. (eds.), *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes*, Springer, DOI: 10.1007/978-3-662-53305-5-17



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 · www.internetkundenservice.de