

## **U-Linien-Montagesysteme – Methoden zur ganzheitlichen Gefährdungsbeurteilung sowie zur Ableitung von Gestaltungsempfehlungen**

Oliver STRÄTER<sup>1</sup>, Ralph BRUDER<sup>2</sup>, Dirk DITCHEN<sup>3</sup>,  
Stephanie SCHMIDT<sup>1</sup>, Jurij WAKULA<sup>2</sup>, Ulrich GLITSCH<sup>3</sup>, Ellen SCHÄFER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel  
Heinrich-Plett-Strasse 40, D-34132 Kassel*

<sup>2</sup> *Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Str. 2, D-64287 Darmstadt*

<sup>3</sup> *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)  
Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin*

**Kurzfassung:** Im Rahmen eines Kooperationsprojekts untersuchen Forschungspartner der Universität Kassel (Fachgebiet A&O), des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Arbeitsbelastungen an U-Linien-Arbeitssystemen in einem ganzheitlichen Ansatz sowohl die psychischen als auch die physischen Aspekte. Das vorliegende Paper beschreibt das Projekt und seine Zielstellungen sowie die Messmethodik.

**Schlüsselwörter:** U-Linien, psychische Belastung, physische Belastung, ganzheitlicher Ansatz

### **1. Einleitung**

U-Linien-Montagesysteme sind Arbeitsplätze, welche nach dem One-Piece-Flow Konzept in Form eines U angeordnet sind. Es handelt sich hierbei um hybride Systeme, in denen automatisierte Prozesse durch manuelle Tätigkeiten ergänzt werden, und zwar dergestalt, dass der Mensch den Automaten die Teile zuführt und nach der Bearbeitung wieder entnimmt.

Derartiges manuelles Arbeiten steht im Verdacht, bei hoher Arbeitsauslastung erhöht zu Muskelskelett-Beschwerden der oberen Extremitäten und des Schultergürtels zu führen. Grund hierfür können u.a. häufige kurze Bewegungszyklen mit hochdynamischen und feinmotorischen Finger-Hand-Armbewegungen sein. Die Arbeit in U-Linien kann darüber hinaus auch eine Belastung für die unteren Extremitäten darstellen: Bedingt durch den Rundlauf der Arbeitspersonen in den Montagesystemen sind oft Seitschritte und Drehbewegungen im unteren Rückenbereich zu beobachten, die etwa gegenüber dem „klassischen“ Gehen ein deutlich anderes Belastungsmuster aufzeigen.

Einfache manuelle Tätigkeiten an teilautomatisierten Arbeitsplätzen in der industriellen Produktion sind zusätzlich dadurch gekennzeichnet, dass Gegenstände mit den Augen lokalisiert werden müssen, um das motorische System so zu steuern, dass die Gegenstände gegriffen, bewegt und korrekt platziert werden können. Dieses Vorgehen erfordert neben der muskulären Arbeit auch ein hohes Maß an Informationsverarbeitung, das eine psychische Belastung darstellen kann. Mit der Dauer und Intensität der Belastung steigt auch die individuelle Beanspruchung und

als Folge der Grad der psychischen Ermüdung, der psychischen Sättigung oder des Stressempfindens.

Derartige manuelle Tätigkeiten an teilautomatisierten Arbeitsplätzen können daher sowohl physische als auch psychische Ermüdung hervorrufen. Die Zielsetzung des Projekts besteht deshalb in der ganzheitlichen Betrachtung physischer und psychischer Belastungen und Beanspruchungen mittels geeigneter Analyseinstrumente und der Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Arbeitsgestaltung, auch unter besonderer Berücksichtigung demografischer Aspekte.

## 2. Methodischer Ansatz

Im Forschungsvorhaben sollen verschiedene Aspekte der auftretenden physischen und psychischen Belastungen und Beanspruchungen sowie deren Wechselwirkungen untersucht werden. Hierfür werden unterschiedliche Montagesysteme zunächst typisiert und im Rahmen empirischer Erhebungen mit einem ganzheitlichen Methodenansatz analysiert. Der Methodenansatz beinhaltet:

- Objektive und subjektive Erfassung physischer und psychischer Belastungen und Beanspruchungen an unterschiedlichen U-Linien-Montagesystemen;
- Ermittlung der Beanspruchungswirkungen von Arbeitsplätzen an U-Linien hinsichtlich physischer Ermüdung, Monotonie und psychischer Sättigung, der physischen Belastung sowie längerfristiger Gesundheitsgefährdungen;
- Berücksichtigung demografischer Einflussgrößen.

## 3. Messaufbau

Zur Arbeitsplatzanalyse werden unterschiedliche Verfahren der Belastungsuntersuchung so integriert, dass eine ganzheitliche Betrachtung von Haltungen und Kräften, Bewegungsformen und psychischen Aspekten gelingt (Abbildung 1).

Das Fachgebiet A&O untersucht hierbei die Wirkungskette psychischer Belastungen unter Einsatz verschiedener Messinstrumente und Fragebögen sowie des Messsystems CeyeBERMAN. Der IAD-Ansatz fokussiert auf der Analyse von physischen Belastungen und muskulären Beanspruchungen der unteren und oberen Extremitäten. Für die Bewertung der Belastungen der oberen Extremitäten und des

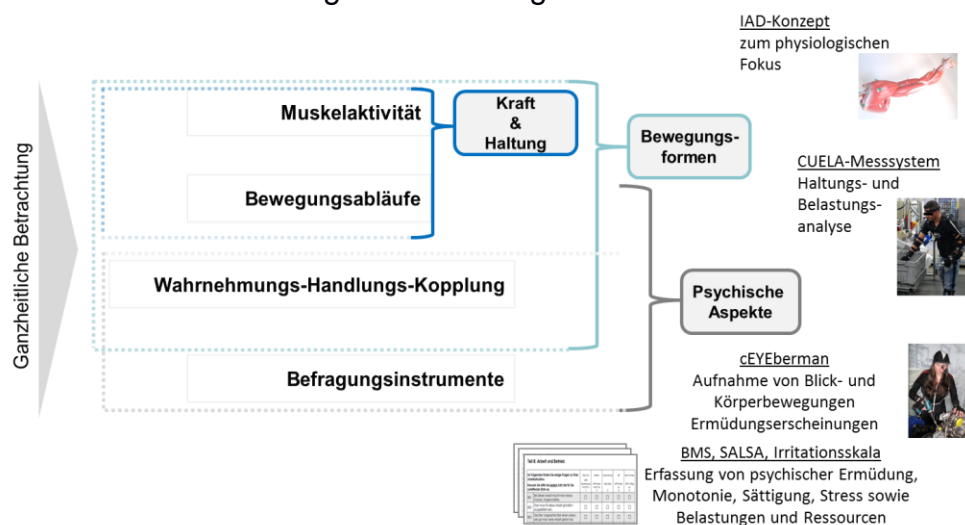


Abbildung 1: Methodischer Ansatz.

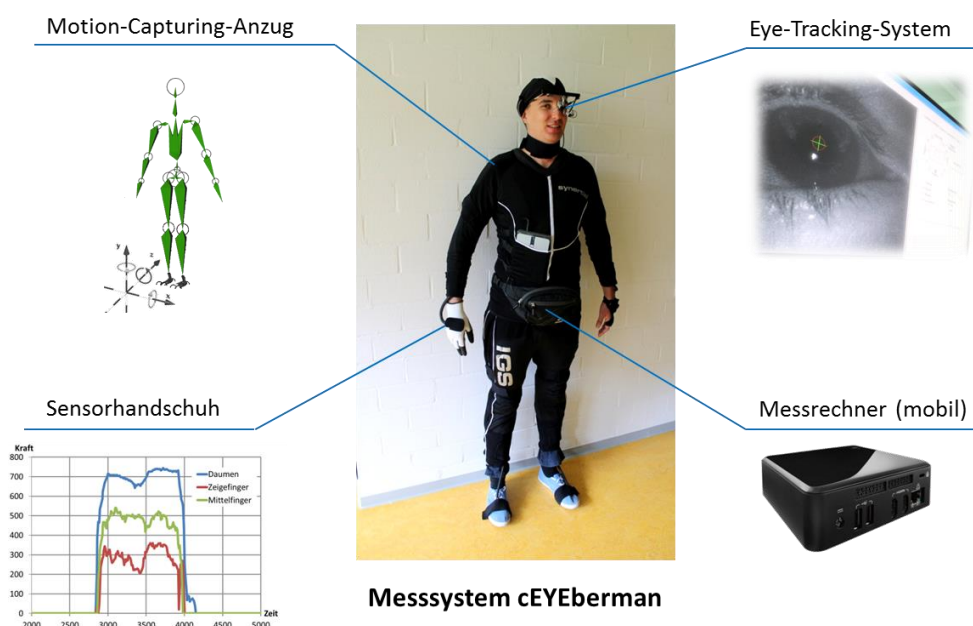
Gesamtkörpers wird auf die Erfahrungen aus der Entwicklung des EAWS-Verfahrens aufgebaut (Schaub, et.al. 2012). Für die Analyse der muskulären Beanspruchungen kommt die Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) zum Einsatz (Strasser, 1996). Die neuen „Bewegungsmuster“ der unteren Extremitäten sog. „seitliches Gehen“ werden vom IAD vertieft analysiert und beurteilt (s. Wakula et al. 2016). Das IFA setzt zur Analyse eine Variante des CUELA-Systems mit Schulter-Arm-Messtechnik und OEMG zur Messung der Repetitions- und der Greifkraftbelastung ein.

Abschließend sollen alle Teilergebnisse für die ganzheitliche Bewertung zusammengeführt werden. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Messverfahren und deren Rolle im Projekt genauer vorgestellt.

### 3.1 CeyeBERMAN und Befragungsinstrumente

Das Messsystem CeyeBERMAN (Abbildung 2) wird zur Untersuchung der Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung eingesetzt. Das System ist mit einer Blickbewegungsbrille ausgestattet, die das Blickverhalten während der Interaktion mit einer Maschine oder eines Bildschirms in Echtzeit aufzeichnet und analysiert. Darüber hinaus besteht das System aus einem Motion-Capturing-System, mit dem die Bewegungsabläufe aufgenommen werden.

Das Messsystem CeyeBERMAN ist ein kombiniertes technisches Verfahren zur Messung der psychischen und physischen Belastung am Arbeitsplatz: Die Blickbewegungsbrille dient zur Aufzeichnung und Analyse des Blickverhaltens während der Interaktion mit einer Maschine oder eines Bildschirms in Echtzeit. Das Motion-Capturing-System zur zeitsynchronen Aufnahme von Bewegungsabläufen. Erkenntnisse über den Grad der Aktiviertheit und die Qualität der Informationsverarbeitung zur Steuerung der Motorik werden durch verschiedene Blick- und Bewegungs-Parameter sowie durch deren Kombination erhoben. Beispiele sind: Pupillenoszillation, Von den Arbeitsinhalten abweichendes Blickverhalten, Geh- und Stehanteile, Seitliches Gehen, Koordination von Blickverhalten, Haltung und Bewegung. Die erfassten Daten erlauben eine Aussage zur Gesamtkörperbeanspruchung zu treffen.



**Abbildung 2:** Darstellung des Systems CeyeBERMAN.

Neben den messtechnischen Verfahren sind Befragungsinstrumente vorgesehen, um subjektive Belastungen und Beanspruchungen der Mitarbeiter zu erfassen. Hierzu erfassen die Beanspruchungsmessskalen (BMS) Ermüdung, Monotonie, Sättigung und empfundenen Stress (Plath und Richter, 1984), ergänzt um das SALSA-Verfahren (Salutogene Subjektive Arbeitsanalyse; siehe Udris, 1999). Die erhobenen subjektiven Daten werden mit den objektiv gewonnenen Daten kreuzvalidiert, um so eine Methode zur objektiven Erhebung von psychischen Belastungszuständen zu entwickeln hinsichtlich:

- Ermüdung: Erschöpfung und Müdigkeit ohne Langeweile
- Monotonie: Interessenlosigkeit und Langeweile mit Müdigkeit
- Sättigung: Unlustbetonte Gereiztheit und Widerwille

### 3.2 EMG

Das EMG dient zur Messung physiologischer Parameter der muskulären Beanspruchung, die bei der manuellen Fertigung in der U- Montagelinien- in den unteren und oberen Extremitäten auftreten.

Von besonderem Interesse in diesem Projekt ist die Messung der Belastungen und Beanspruchungen der unteren Extremitäten hinsichtlich:

- „Stehen“ – „Gehen“
- „seitliches Gehen“ (mit ergonomisch belastenden Haltungen)

### 3.3 CUELA

Das Messsystem CUELA kann die Bewegungen und Belastungen des Muskel-Skelett-Systems am Arbeitsplatz unter realen Arbeitsbedingungen erfassen und analysieren. In diesem Projekt liegt – neben der Ganzkörpererfassung – der Schwerpunkt auf der Analyse der Belastungen des Hand-Arm-Systems, um mögliche Engpässe im Sinne von Monotonie, Repetition und Zwangshaltungen in Verbindung mit dauerhaft erhöhter Muskelanspannung und unzureichenden Erholzeiten aufzudecken (Glitsch et al. 2012). Für diesen Zweck werden Körperhaltungs- und Bewegungsdaten mit dem CUELA-Hand-Arm-System erfasst (Abbildung 4). Gleichzeitig werden die muskel-physiologische Belastungen der oberen Extremitäten mit dem EMG-Modul des CUELA-Systems synchron aufgezeichnet.



**Abbildung 3:** Darstellung der EMG Erfassung (Links: Anatomie der Muskel der unteren Extremitäten; Mitte: Messsystem mit TeleMyo G2 von Noraxon; Rechts: Anwendung).



**Abbildung 4:** Darstellung des CUELA-Messsystems mit EMG der Unterarmmuskulatur und Messung der Greifkraft.

Zur Quantifizierung der aufzubringenden Greifkräfte während der Tätigkeit dient der adjustierte Kraftwert der Handbeugemuskeln (Silverstein et al. 1986). Zusätzlich werden als Referenz Greifkraftmessungen vor und nach der Arbeitszeit durchgeführt.

Dieser kombinierte Ansatz erlaubt gleichermaßen die Beurteilung der physischen Belastungen durch Repetition und dynamische Belastungsspitzen.

#### 4. Ganzheitliche Bewertung

In diesem Projekt werden die unterschiedlichen Parameter nicht unabhängig voneinander erhoben, sondern so, dass über die Einzelerhebungen hinaus die Ergebnisse der Projektpartner integriert werden können. Beispiele hierfür sind die Kombination von:

- Bewegungsanalysen mit CeyeBERMAN mit EMG Daten – Hängen z.B. Blickermüdung und muskuläre Ermüdung im Bewegungsapparat zusammen?
- Bewegungsdaten hinsichtlich Mikropausen mit Blickbewegungsdaten – Weist das Ausmaß an Mikropausen einen Zusammenhang zu Monotonie-Erscheinungen auf?
- EMG Daten der unteren Extremitäten mit denen der oberen Extremitäten – Gibt es generische Belastungsaspekte?

Dieser ganzheitliche Ansatz erlaubt u.a. die Wechselwirkungen zwischen physischer und psychischer Arbeitsbelastung an U-Linien-Montagesystemen herauszuarbeiten und somit Handlungsempfehlungen zur Gestaltung von U-Linien herauszuarbeiten.

Die im Projekt identifizierten Belastungsfaktoren sollen in einem zweiten Schritt in Handlungsempfehlungen zur Gestaltung von U-Linien einfließen. Zu diesem Zweck wurde ein arbeitsanalytisches Verfahren herausgearbeitet, mit dessen Hilfe die Belastungsfaktoren an den einzelnen Arbeitsplatztypen systematisch identifiziert und zugeordnet werden konnten. Tabelle 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau dieser Analysestruktur. Dezidiert wird hierbei kein Unterschied zwischen psychischen und physischen Belastungstypen postuliert; es steht die Analyse der Wechselwirkungen beider Belastungsarten im Fokus des Vorhabens.

**Tabelle 1:** *Prinzipieller Aufbau der Analysestruktur*

Linie -> Takt / Belastungs- typus	U Linie 1	U Linie 2	...	U Linie n
1				
2				
...			Ausprägung i.j	
m				Ausprägung n.m

## 5. Ausblick

In diesem Forschungsprojekt werden physische und psychische Arbeitsbelastungen an U-Linien-Montagesystemen kombiniert an unterschiedlichen industriellen Lösungen untersucht und bezogen auf eine Belastungstypisierung systematisiert, um hieraus Empfehlungen für die Gestaltung von U-Linien-Montagesystemen zu entwickeln.

Das Projekt befindet sich derzeit in der Datenerhebungsphase, die sich bis Mitte 2016 erstreckt. Die Datenauswertung ist für 2016 vorgesehen und Empfehlungen zur Arbeitsgestaltung sollen 2017 zur Verfügung stehen.

Das Projekt leistet damit einen Beitrag für ein gesundheitserhaltendes Arbeiten sowie gesundes Altern von Beschäftigten an U-Linien-Montagesystemen als Voraussetzung für ein nachhaltig produktives und effizientes Arbeiten.

## 6. Literatur

- Glitsch, U.; Hoehne-Hueckstaedt, U. & Ellegast, R. Kombinierte Beurteilung physischer Belastungen in manuellen Fertigungsprozessen 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 22. bis 24. Februar 2012, GfA-Press, 2012, 58, 423-426.
- Plath, H.-E., & Richter, P. (1984). Ermüdung-Monotonie-Sättigung-Stress - BMS - Handanweisung. Berlin: Psychodiagnostisches Zentrum.
- Schaub K, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2012): The European Assembly Worksheet. [Online-Edition: [www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1463922](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1463922) ] In: Theoretical Issues in Ergonomics Science pp. 1-23. ISSN 146-536X (2012).
- Silverstein, B., Fine, L. & Armstrong, T. 1986, Hand wrist cumulative trauma disorders in industry, British Journal of Industrial medicine, 43, 779-784.
- Strasser, H. (Hrsg. 1996): Beanspruchungsgerechte Planung und Gestaltung manueller Tätigkeiten - Elektromyographie im Dienst der menschengerechten Arbeitsgestaltung. ecomed. Landsbg/Lech.
- Sträter, O., Klippert, J., Kotzab, D., Sytch, A., Senbayrak, S., Glitsch, U. & Hoehne-Hückstädt, U. (2012) Tätigkeiten an Chaku-Chaku-Linien: Grundlagen der arbeitswissenschaftlichen Analyse und Bewertung. Abschlussbericht an die BGHM & BGETEM. Kassel. Universität Kassel.
- Udris, I. R., M. (1999). SAA und SALSA - Zwei Fragebögen zur subjektiven Arbeitsanalyse. In H. Dunkel (Hrsg.), Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren (pp. 397-419). Zürich: vdf.
- 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:** Ein ganz besonderer Dank gilt der BGHM und BGETEM sowie dem wissenschaftlichen Begleitkreis des Projektes für die Unterstützung.