

Mixed Mock-Up meets ErgoCAM: Machbarkeitsstudie zur prospektiven Ergonomiebewertung manueller Montageabläufe in Echtzeit mittels Augmented Reality und markerloser Haltungsanalyse

Tobias DREESBACH¹, Alexander MERTENS^{1,2}, Tobias, HELLIG¹,
Matthias PRETZLAFF³, Verena NITSCH¹, Christopher BRANDL^{1,2}

¹ *Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D- 52062 Aachen*

² *ACE GmbH, Charlottenstraße 14, D-52070 Aachen*

³ *HELLA GmbH & Co. KgaA, Beckumer Straße 130, D-59552 Lippstadt*

Kurzfassung: Die nachhaltige Planung von Produktionssystemen und -prozessen erfordert sowohl in Hinblick auf eingesetzte Fertigungsverfahren als auch die Skalierbarkeit eine hohe Flexibilität der Abläufe, um kurzfristig auf veränderte Anforderungen reagieren zu können. Die volatilen Rahmenbedingungen erschweren dabei häufig die Bestrebungen der Unternehmen gesundheitsfördernde Arbeitsbedingungen und -systeme zu gewährleisten, da eine entsprechend kurzzyklische Analyse und Bewertung von Belastungen einen zu hohen Aufwand bedeutet. Hierdurch werden individuelle Bedürfnisse der Arbeitspersonen, wie z.B. die Anpassung des Arbeitsplatzes an persönliche Konstitutionsmerkmale, häufig nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt. Um dieses Problemfeld zu adressieren, werden in diesem Beitrag zwei prototypische Systeme zur digitalunterstützten Arbeitsplatzgestaltung explorativ erprobt. Zum einen steht ein Mixed Mock-Up Demonstrator im Fokus, der die klassische Mock-Up Planung durch Augmented Reality Technologie ergänzt und es ermöglicht, manuelle Montagearbeitsplätze individuell zu erstellen. Zum anderen wird die ErgoCAM, ein markerloses System zur Bewertung individueller Körperhaltungen in Echtzeit, betrachtet. Ziel ist es zu eruieren, welche Potentiale die Kombination der Systeme für eine flexible und frühzeitige Ergonomiebewertung von Montagearbeitsplätzen in der Praxis bieten. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob eine ergonomische Bewertung von Montagevorgängen durch Kombination der beiden Prototypen möglich ist, wie stark die Qualität mit und ohne den Einsatz virtueller Elemente variiert und schlussendlich welche Potentiale hierdurch aufgezeigt werden können.

Schlüsselwörter: Manuelle Montagearbeitsplätze, Haltungsanalyse, Mixed Mock-Up, ErgoCAM, Augmented Reality, Beanspruchung

1. Einleitung

Durch die steigende Nachfrage nach kundenindividuellen technischen Produkten werden sowohl Produkte als auch Produktionssysteme immer komplexer (Deuse et al. 2015; Westkämper 2006). Zugleich müssen Unternehmen bei der Gestaltung von Industriearbeitsplätzen auch den Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit der Belegschaft sicherstellen, was unter anderem durch den demographischen Wandel immer

mehr an Bedeutung gewinnt. Durch die ergonomische Optimierung alter(n)sgerechter Arbeitsplätze sollen körperliche Fehlhaltungen vermieden werden. Eine entsprechende Auslegung ist mit herkömmlichen Methoden in (frühen) Planungsphasen jedoch zumeist schwierig, weil das spätere menschliche Verhalten bei der Tätigkeitsausführung zumeist nur abgeschätzt werden kann. Ein möglicher Ansatz zur besseren Planung ist entsprechend die Nutzung von Augmented Reality zur Darstellung der neuen Arbeitsplätze in einem sog. Mixed Mock-Up und der gleichzeitigen Ergonomiebewertung der Arbeitsausführung.

1.1 Mixed Mock-Up Demonstrator

Eine neue Planungsmethode für die Gestaltung von Produktionssystemen stellt ein Mixed Mock-Up dar. In der klassischen Planung von Produktionssystemen wie bspw. Montagearbeitsplätze, werden diese in einem Mock-Up nachgestellt, welches das Layout schematisch mittels Kartonage abbildet. Für den klassischen Mock-Up besteht jedoch Handlungsbedarf hinsichtlich der Verfügbarkeit zugehöriger Arbeitsmittel innerhalb des neuen Arbeitssystems zur Durchführung der zugehörigen Aufgaben. Da die Erstellung entsprechender Arbeitsmittel z.B. mittels 3D-Druck zeitaufwendig und kostenintensiv ist, besteht immer das Risiko, dass nicht mit dem aktuellen Konstruktionsstand gearbeitet werden kann oder dass keine ausreichende Anzahl an Teilen vorhanden ist. Mit einem Mixed Mock-Up können manuelle Montagearbeitsplätze und -schritte mittels virtueller Elemente, z.B. der Arbeitsmittel frühzeitig und individuell erstellt und flexibel rekonfiguriert werden. Die Darstellung der Arbeitsumgebung erfolgt dabei mittels Augmented Reality. Virtuelle Objekte werden damit der realen Umgebung hinzugefügt.

Die Technologie des Mixed Mock-Ups befindet sich demnach in einem Spektrum zwischen der realen und der rein virtuellen Umgebung. Durch Augmented Reality bildet der in diesem Beitrag betrachtete Mixed Mock-Up Demonstrator nicht nur die Betriebsmittel ab, sondern inkludiert auch das Material und den manuellen Montageprozess. Der Demonstrator gibt Aufschluss über die Höhe des Arbeitstisches, die Zugänglichkeit von Bauteilen, Werkzeugen und Montageobjekt während des Montagevorgangs und eine mögliche Umsetzung der Materialbereitstellung. Es ist möglich, eine erste manuelle Montage mit den virtuellen Bauteilen zu simulieren. Ergonomische Aspekte konnten bei der Erstellung eines Stationslayouts mit dem Mixed Mock-Up bisher ausschließlich anhand optisch erkennbarer Merkmale untersucht werden. Ein Zonensystem in Höhe und Breite zeigt vier ergonomische Greifbereiche an, in denen das Material von einem optimalen Fall, einer Montagetätigkeit ohne Verschiebung der Körperachse platziert werden kann.

1.2 ErgoCAM

Der technologiegetriebene Wandel von manuellen Bewertungsverfahren hin zu digitalisierten und vernetzten Messsystemen macht es möglich, den Kompromiss zwischen einem geringen Datenerhebungsaufwand und einer hohen Datengenauigkeit bei Belastungsbewertungsmethoden aufzulösen (Johnen et al. 2018).

Ein vielversprechender Ansatz für die Analyse von auftretenden Belastungen ist die digitale Erfassung und Bewertung von Körperhaltungen durch Kameras mit integriertem Tiefensensor. Dabei werden Tiefeninformationen durch eine Kamera gemessen und softwareseitig in ein Skelettmodell mit Gelenkpunkten überführt. Dazu werden hauptsächlich Gelenkpunkte, wie bspw. Knie, Hüfte und Ellenbogen erfasst. Zustände,

wie zum Beispiel Gelenkwinkel, wirkende Kräfte auf Gelenke, Körperhaltung und Bewegungsgeschwindigkeiten können anhand biomechanischer Modelle des Muskel- und Skelettsystems berechnet werden. Erforscht und umgesetzt wird die digitale Erfassung und Bewertung von Körperhaltungen unter anderem in Form der ErgoCAM (Brandl et al. 2016). Die ErgoCAM unterstützt ergonomiegerechte Körperhaltungen bei der Ausführung von Arbeitsaufgaben, indem sie menschliche Tätigkeiten und Bewegungen markerlos und in Echtzeit analysiert und die Ergebnisse der Belastungsbewertung in einer allgemein verständlichen Form visualisiert. Sie besitzt ein Messsystem, das aus Bewegungserfassungssensoren in Kombination mit Bewertungssystematiken besteht. Als Sensor kommt ein optischer Sensor zur nicht invasiven und kontinuierlichen Erfassung von Gelenkpunkten zum Einsatz. Für die Visualisierung in einer allgemein verständlichen Form beinhaltet die ErgoCAM ein didaktisch-methodisches Kommunikationskonzept zur Wissensvermittlung. Dadurch können auch nicht fachlich vorgebildete Personen interaktiv die ergonomiegerechte Gestaltung von Tätigkeiten und Bewegungen mit der ErgoCAM nachvollziehen. (Johnen et al. 2018)

1.3 Zielsetzung

Ziel dieses Beitrags ist die empirische Exploration einer flexiblen und frühzeitigen Ergonomiebewertung von Montagearbeitsplätzen durch die beiden Prototypen des Mixed Mock-Up Demonstrators und der ErgoCAM. Die Erprobung erfolgt im Rahmen einer Machbarkeitsstudie. Hierbei wird postuliert, dass mit dem Mixed Mock-Up Demonstrator in Zukunft einerseits das Montagelayout sowie die Produktionsschritte in der Planungsphase von neuen Produktionssystemen simuliert werden. Andererseits können dann frühestmöglich und prozessintegriert ergonomische Bewertungen der Arbeitsausführungen erfolgen. Die ErgoCAM soll hierbei dazu eingesetzt werden, durch prozessbegleitende Analyse aufzuzeigen, ob bei den geplanten Montagevorgängen ergonomisches Optimierungspotenzial vorhanden ist.

2. Methodik

In einer Machbarkeitsstudie wurde explorativ untersucht, ob die ErgoCAM den Montageablauf mit dem Mixed Mock-Up Demonstrator ähnlich zu einer realen Montagesituation erkennt. Der Testaufbau umfasst mehrere Montagestationen. Über eine Montageablaufstruktur wurde bereits die Montagereihenfolge festgelegt und es lagen Informationen über die geplante Materialbereitstellung und die Montagevorgänge vor. Die Konstruktionsdaten für die Bauteile standen zur Verfügung und es war mit dem Demonstrator möglich, die notwendigen Montageschritte für die betrachteten Stationen auszuführen. Außerdem lagen bereits physische Bauteile vor, die mit dem 3D Druck Verfahren hergestellt wurden. Die Testperson trug die Augmented Reality Brille Meta2 sowie SenseGlove Datenhandschuhe. Außerdem waren auf der Brille und den Handschuhen jeweils HTC Vive Positionstracker angebracht. Der in der ErgoCAM verbauten Tiefensensor erfasste die Benutzer hiervon unabhängig. Die ErgoCAM wurde zunächst frontal vor der Montagestation platziert und analysierte die Bewegungen, die von einer Testperson während der Montagevorgänge ausgeführt wurden. In einem ersten Durchgang wurden die Montagevorgänge ohne den Mixed Mock-Up Demonstrator durchgeführt. Die Ergebnisse der ErgoCAM Analyse des ersten Durchgangs dienten als Referenzergebnisse. In einem zweiten Durchgang wurden die Montagevorgänge mit dem Mixed Mock-Up Demonstrator durchgeführt.

Die erste in dieser Machbarkeitsstudie fokussierte Forschungsfrage (1) befasst sich mit der Durchführbarkeit der Ergonomiebewertung und lautet: Inwieweit ist eine Bewertung von Montagevorgängen in der Kombination aus dem Mixed Mock-Up und der ErgoCAM möglich? Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden zwei Einflussvariablen betrachtet, die sich bei der Analyse durch den Einsatz des Mixed Mock-Up Demonstrators verändern. Die erste Variable ist die zusätzlich benötigte Hardware. Speziell wurde untersucht, ob die Brille, die Handschuhe und die Positionstracker die Interpretation der Kontur der Testpersonen und ihrer Bewegungen durch die ErgoCAM beeinflusst.

Die zweite Forschungsfrage (2) befasst sich mit dem Einfluss der virtuellen Bauteile auf das Messergebnis und lautet: Inwiefern variiert die Qualität der ergonomischen Bewertung bei einer Durchführung der Vorgänge mit und ohne virtuelle Elemente?

3. Ergebnisse

Hinsichtlich Forschungsfrage (1) konnte während der Felduntersuchung festgestellt werden, dass die Konturen der Testpersonen trotz körpernah getragener Komponenten ausreichend genau erfasst werden, um das für die Bewertung der Montagevorgänge benötigte Skelettmodell zu parametrisieren. Zur Beantwortung der Forschungsfrage (1) wurden weiterhin im Testaufbau die Auswirkungen der rein virtuellen Bauteile auf die Machbarkeit der Analyse untersucht. Auf der physischen Ebene sind die Hände der Testperson während des gesamten Montagevorgangs leer. Nur für die Testperson selbst ist ersichtlich, ob die virtuellen Bauteile korrekt gegriffen werden. Es hat sich gezeigt, dass die ErgoCAM die Bewegungen der Testperson auch bei dem Einsatz virtueller Bauteile korrekt erfasst und eine Bewertung der Montagevorgänge durchführt. Das unterschiedliche Verhältnis von physischen zu virtuellen Elementen hat bei dem Handhaben der Bauteile zu keiner Einschränkung geführt. Folglich kann geschlossen werden, dass trotz der zusätzlichen Hardware und der virtuellen Bauteile eine Bewertung der Montagevorgänge in der Kombination aus dem Mixed Mock-Up und der ErgoCAM erfolgreich möglich ist.

Zur Untersuchung der Forschungsfrage (2) wurden mit dem Mixed Mock-Up Demonstrator identische Versuchsdurchläufe jeweils mit realen und virtuellen Objekten durchgeführt. Dabei hat sich als vorteilhaft erwiesen, die Montagestation als virtuelles Element in den Mixed Mock-Up einzublenden, da die ErgoCAM vor der Montagestation positioniert wird. Die ErgoCAM kann die Bewegungen der Testperson auf diese Weise nachhalten, ohne dass physische Objekte die Sicht auf die Testperson überdecken. Als Herausforderung ist festzuhalten, dass die virtuelle Darstellung der Bauteile das Messergebnis beeinflussen kann, da die durchgeführten Bewegungsabläufe der Testperson aufgrund des fehlenden Gewichts der virtuellen Elemente geringfügig von der Praxis abweichen können. Das Gewicht der Bauteile kann für die Berechnung der auftretenden Belastung im Analysetool zwar hinterlegt werden, die Bewertung bezieht sich jedoch auf die konkret ausgeführten Bewegungen. Schwere Bauteile können als virtuelle Objekte, im Gegensatz zu physischen Objekten, ohne Anstrengung gehandhabt werden und den durchgeführten Bewegungsablauf dadurch beeinflussen. Solange mit den Bauteilen nur geringe Gewichte verbunden sind, wirkt sich der Analysevorgang nur im geringen Umfang auf die Ergebnisse aus. Bei Arbeitsmitteln und Bauteilen die über ein höheres Eigengewicht verfügen oder schwieriger zu handhaben sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Bewegungsmuster von denen bei

der Handhabung unter realen Bedingungen abweichen und daher z.B. kritische Kompensationsstrategien die in der Praxis auftreten, nicht prospektiv identifiziert werden können.

Exemplarisch für die beiden Durchgänge aus dem Testaufbau sind die Messkurven für die Druckbelastungen der Wirbelsäule der Testperson während der Montagevorgänge mit Mixed Mock-Up Demonstrator (gelb) und ohne entsprechende körpernah getragene Hardware (blau) in Abbildung 1 dargestellt. Die von der ErgoCAM ermittelten Druckkräfte zeigen, dass die Höhepunkte der Belastungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten erreicht werden. Ein geringfügiger zeitlicher Versatz der Messkurven lässt sich auf eine unterschiedliche Zeitspanne zwischen dem Beginn der Messung und dem Beginn der Arbeitsausführung zurückführen. In den aufgezeichneten Daten ist jedoch zu erkennen, dass die Messkurven zusätzlich zu dem geringfügigen Versatz nicht parallel verlaufen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Abläufe der Arbeitsvorgänge durch die zusätzliche Hardware beeinflusst und die Übertragbarkeit der Ergebnisse Limitationen unterliegt. Die Daten legen nahe, dass die Bewegungsabläufe im zweiten Durchgang langsamer und bewusster ausgeführt wurden. Die Maxima der Ausschläge beider Messkurven weichen hingegen nur geringfügig voneinander ab, wodurch die Interpretation hinsichtlich des ergonomischen Handlungspotentials in beiden Fällen ähnlich ausfällt.

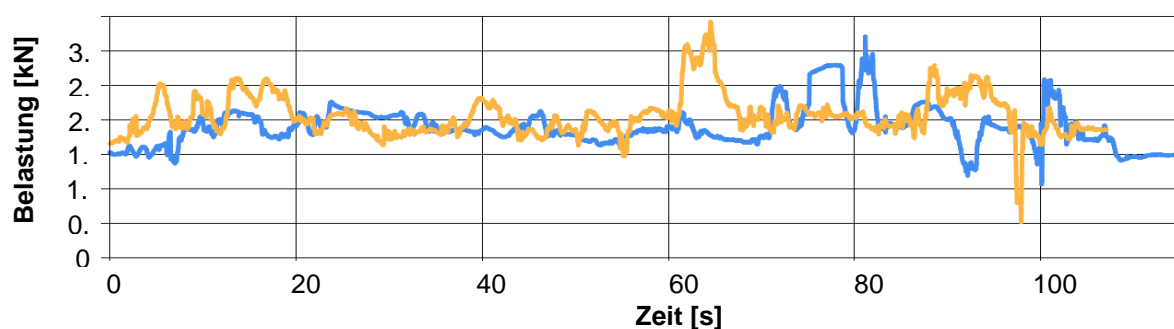


Abbildung 1: Messkurven für die Belastungen einer Testperson (Druckkraft auf den Lenden-Kreuzbein-Übergang in kN) während der Montagevorgänge mit Mixed Mock-Up Demonstrator (gelb) und ohne (blau)

4. Limitationen

Der Testaufbau bezieht sich auf ein Projekt im Unternehmen Hella. Das Projekt umfasst dadurch mehrere Montagestationen für die manuelle Montage in der Serienfertigung. Die Durchführung selbst unterliegt der Limitation, dass sie aufgrund der Neugestaltung des Arbeitssystems nicht durch eine erfahrene Arbeitsperson durchgeführt wurde. Es muss also davon ausgegangen werden, dass die Körperhaltungen der Testpersonen während der Montagevorgänge nicht in allen Fällen der Körperhaltung einer routinierten Arbeitskraft entsprechen. Zudem wurde die Exploration lediglich mit einer kleinen Stichprobe ohne Messwiederholung durchgeführt, wodurch inter- wie intraindividuelle Abweichungen nur eingeschränkt berücksichtigt werden können.

5. Diskussion und Fazit

Die ergonomische Bewertung der Körperhaltungen und -bewegungen bei der Neugestaltung eines Montagearbeitsplatzes mittels Kombination aus Mixed Mock-Up Demonstrator und ErgoCAM konnte im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführt werden. Es hat sich somit gezeigt, dass eine Kombination beider Digitaltechnologien grundsätzlich machbar ist und hierbei große Potentiale durch entstehende Synergieeffekte bestehen. Nicht abschließend geklärt werden konnte hingegen, inwieweit sich die Verwendung des Mixed Mock-Up Demonstrators auf die Validität der Messergebnisse der ErgoCAM auswirkt. Insbesondere die Frage in welchen Situationen der „fehlende“ Einfluss von Eigengewicht und Handhabbarkeit der Arbeitsmittel mögliche Risiken überdeckt, konnte nicht abschließend beantwortet werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die maximale Höhe der Ausschläge in beiden Durchgängen ähnlich ausfällt und die Bewertungen trotz des variierenden zeitlichen Verlaufs zu einer ähnlichen Interpretation führt.

Der integrierte Einsatz der beiden Technologien zeigt somit sein hohes Potential, um ökologisch valide ergonomische Arbeitsplatzbewertungen mit einem geringen Kosten- und Zeitaufwand prospektiv zu realisieren. Hierdurch steht somit ein praxisrelevanter Ansatz zur Verfügung, um die in Kapitel 1 geschilderten Herausforderungen zu adressieren und auch kurzzyklisch zu evaluieren, ob z.B. für bestimmte Personengruppen ergonomische Grenzwerte für eine gesundheitsförderliche Verrichtung von Tätigkeiten in unterschiedlichsten Montageszenarien überschritten werden. Die Softwareumgebung der ErgoCAM unterstützt hierbei sowohl die Identifikation der kritischen Konstellationen als auch die Auswahl geeigneter Maßnahmen. Validität und Reliabilität der Methode sind jedoch in weiteren Studien noch umfänglicher zu untersuchen.

6. Literatur

- Brandl C, Bonin D, Mertens A, Wischniewski S, Schlick CM (2016) Digitalisierungsansätze ergonomischer Analysen und Interventionen am Beispiel der markerlosen Erfassung von Körperhaltungen bei Arbeitstätigkeiten in der Produktion. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, Vol. 70: 89-98.
- Deuse J, Weisner K, Hengstebeck A, Busch F (2015) Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hrsg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (Bd. 108). Berlin, Heidelberg: Springer, 99-109.
- Eigner M, Stelzer, R (2013) *Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. 2.Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Johnen L, Brunner O, Hellig T, Nitsch V, Mertens A, Brandl C (2018) Interaktives Erleben und Erlernen von Ergonomie mit ErgoCAM. In R. Dachselt, G. Weber (Hrsg.): *Mensch und Computer 2018*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.: 989-993.
- Westkämper E (2006) *Der Produktentstehungsprozess*. In: *Einführung in die Organisation der Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.



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