

Ergonomische Untersuchung eines Head-Mounted Display zur Beurteilung der Anforderungen an eine physiologisch optimale Implementierung im betrieblichen Rüstprozess

Nils Darwin ABELE¹, Christian GRIFFEL², Mario PENZKOFER², Karsten KLUTH²

¹ *Lehrstuhl für Technologiemanagement, Universität Siegen
Unteres Schloß 3, D-57072 Siegen*

² *Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57076 Siegen*

Kurzfassung: Das Forschungsprojekt „Cyberrüsten 4.0“ zielt darauf ab, Maschineneinrichter im Zuge von Rüstprozessdurchführungen mithilfe eines Cyber-physischen Systems (CPS) durch die Aufbereitung prozessrelevanter Informationen zu unterstützen und somit die Prozessqualität, nicht zuletzt zugunsten von Rüstzeiteinsparungen, zu verbessern. Die vorliegende Ausarbeitung stellt die inhaltliche und methodische Zielsetzung einer ergonomischen Studie zur Untersuchung von möglichen Belastungen und Beanspruchungen im Umgang mit dem Head-Mounted Display (HMD) „Microsoft HoloLens“ vor. Die Ergebnisse sollen neben der Beurteilung einer physiologisch optimalen und prozesssicheren Einbettung eines HMD in die betriebliche Infrastruktur auch dazu dienen, kognitiv-ergonomische Gestaltungsempfehlungen bzw. -verbesserungen aufzuzeigen.

Schlüsselwörter: Cyber-physische Systeme, Head-Mounted Display, Elektromyographie, Industrielle Rüstprozesse, Umform-/Biegemaschinen, Nutzerzentriertes Design

1. Einleitung und Ausgangslage

Die Zunahme des Bedarfs individueller bzw. kundenspezifischer Erzeugnisse zwingt Unternehmen zur Fertigung kleiner Lose. Dadurch steigen u.a. Rüstzeitanteile von Produktionsanlagen. Rüstprozesse weisen bei geringer Standardisierung und Automation überwiegend manuelle Arbeitsanteile auf. Mit steigender Komplexität der Fertigungstechnologie, wie z.B. bei einem Rotationszugbiegeprozess, nimmt auch der Umfang der relevanten Informationen zu, die der Maschineneinrichter im Prozessverlauf erhält. Dies bedingt häufig Schwankungen der Produktqualität sowie Informationsüberlastungen der Mitarbeiter.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Cyberrüsten 4.0“ wird in einem interdisziplinären Konsortium, bestehend aus Lehrstühlen der Universität Siegen sowie mittelständischen Unternehmen aus dem südwestfälischen Raum, eine Unterstützungssystematik entwickelt. Ein cyber-physisches Assistenzsystem soll Maschineneinrichter am Beispiel des Rüst- und Einrichtprozesses von Umform- bzw. Biegemaschinen die dafür notwendigen Informationen und Feedback-Formen kontextabhängig aufbereiten und die Einrichter dabei idealerweise ohne zusätzliche physische und psychische Beanspruchung unterstützen (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Darstellung des möglichen Einsatzszenarios der Microsoft HoloLens im Zuge des Rüstvorgangs einer Rotationszugbiegemaschine

In diesem Zusammenhang werden physiologische und psychologische bzw. kognitive Auswirkungen untersucht, die aus der Nutzung eines Cyber-physischen Systems (CPS) resultieren. Als Untersuchungsgegenstand dient im Rahmen einer Begleitstudie die Mixed-Reality-Datenbrille „Microsoft HoloLens“. Das Head-Mounted-Display (HMD) wird eingesetzt, um am Beispiel einer dynamischen Arbeitsaufgabe mithilfe elektromyographischer Untersuchungen und subjektiver Befragungen mögliche Belastungen und Beanspruchungen des Menschen zu evaluieren. Zum einen können aufgrund der Gewichtsverteilung der Microsoft HoloLens erzeugte Drehmomente im Bereich der Nacken- und Schultermuskulatur auftreten. Zum anderen sind durch den Umgang mit dem HMD, aufgrund entstehender Lerneffekte, unterschiedliche Bewegungsabläufe des Nutzers im Zuge der Arbeitsaufgabe möglich.

2. Stand der Technik

Die Vision des HMD stammt von Ivan Sutherland, der dem Menschen anhand eines computergestützten „Ultimate Display“ eine virtuelle bzw. eine simulierte, dreidimensionale Welt auf Grundlage einer intuitiven Informationsdarstellung und -interaktion ermöglichen wollte (vgl. Sutherland 1965). HMD sind Endgeräte von CPS, die Software- und Hardwarekomponenten über eine Kommunikationsinfrastruktur verbinden (vgl. Lee 2008). Mit fortschreitender Entwicklung der Computertechnologie wurde das Zusammenspiel von HMD mit Virtueller Realität (VR) zur interaktiven, intuitiven und verständlichen Darstellung von Informationen in einer geschlossenen, virtuellen Computerwelt verstärkt erforscht (vgl. Stanney 2002). Aktuelle Anwendungsgebiete sind in der Computerspielbranche, aber auch in der Industrie und der Medizin zu finden (vgl. Alexander 2007). Darüber hinaus bedienen sich HMD neben VR der sogenannten „Augmented Reality“ (AR)-Technologie, die mithilfe des HMD innerhalb der Realumgebung des Menschen virtuelle Elemente bzw. digitalisierte Informationen in das Sichtfeld des Nutzers projiziert. Neben dem Militär (vgl. Werkhoven et al. 2001) ist v.a. die Industrie (vgl. Caudell & Mizell 1992) an der Nutzung dieser Technologie interessiert. Die Implementierung derartiger Systeme zielt im betrieblichen Kontext z.B. darauf ab, einen permanenten Qualitätsstandard mithilfe ei-

ner prozessbegleitenden Speicherung und Verfügbarkeit von Informationen bzw. Wissen zu ermöglichen (vgl. Jensen et al. 2007). Am Beispiel von „Cyberrüsten 4.0“ wird deutlich, dass im Bereich des industriellen Rüstens bislang keine derartigen Forschungsarbeiten durchgeführt wurden (vgl. Abele et al. 2016).

Frühere Studien belegen, dass der Umgang mit HMD unterschiedliche Auswirkungen auf die kognitive Wahrnehmung, die Physiologie sowie letztlich auf das Leistungsvermögen des Menschen generiert. Die fehlende Ergebniskonsistenz ist auf differente Versuchsdesigns zurückzuführen, die sich hinsichtlich der Aufgaben, der verwendeten Geräte, des Aufgabenkontextes sowie der Informationsdarstellung unterscheiden. Ergonomische Beurteilungen sind jedoch zum langfristigen Einsatz sowie zur Implementierung von HMD in die betriebliche, industrielle Infrastruktur teilweise widersprüchlich, wenig vergleichbar und folglich nur bedingt repräsentativ (vgl. Theis et al. 2016). Zur physiologischen und kognitiven Belastung und Beanspruchung komplexer und industriebezogener Tätigkeiten, die einen mitunter hohen körperlichen Aufwand erfordern, bedarf es im Zuge des Umgangs mit HMD zukünftig weiterer Forschungsarbeit, die aufgaben- und kontextabhängig auf einen langfristigen Zeitraum ausgelegt ist (vgl. Theis et al. 2016). Bisherige Langzeitstudien untersuchten in diesem Zusammenhang neben Kommissionieraufgaben (vgl. Iben et al. 2009) auch Wartungs- und Montagetätigkeiten (vgl. Wille 2013) unter Nutzung eines HMD.

Theis et al. (2016) untersuchten die Belastungen und Beanspruchungen unter subjektiven, objektiven, visuellen, muskulären und mentalen Gesichtspunkten in Abhängigkeit des Alters, der Zeitmesspunkte sowie unterschiedlicher Displaytypen, die im Industrie- und Militärbereich eingesetzt werden. Aufgrund der umfassenden Methodenvielfalt konnten nur bedingt Signifikanzen aufgezeigt werden. Ein mögliches Verbesserungspotential zugunsten einer höheren Validität bietet eine Methodenreduktion. Mit der in dieser Ausarbeitung beschriebenen Studie, deren Methode und Inhalte bzw. Aufgabenstellungen im Folgenden dargestellt werden, soll das beschriebene Potential ausgeschöpft werden. Am Beispiel der Microsoft HoloLens wurden bisher keine derartigen Versuche durchgeführt.

3. Methode und Versuchsdesign

Der Design- und Entwicklungsprozess nutzerzentrierter Systemlösungen umfasst neben dem Verständnis der zu untersuchenden Praxis die damit einhergehende Anforderungsanalyse und Beteiligung der Nutzer eines interaktiven Systems (vgl. u.a. Norman 2013). Mithilfe des methodischen Konstrukts der Designfallstudie (vgl. Wulf et al. 2011) wird demnach im Rahmen von „Cyberrüsten 4.0“ ein nutzerzentrierter Designansatz angewendet. Dieser zielt zunächst auf die empirische Analyse des anwendungsbezogenen Handlungsfelds ab, um auf dieser Analysegrundlage im weiteren Verlauf eine innovative Methode bzw. ein innovatives Tool zu entwickeln, das schließlich durch den Nutzer evaluiert und ggf. durch den Systementwickler angepasst wird. Auf die in diesem Zusammenhang erfolgte ethnographische Studie, dessen Datengrundlage auf 24 Interviews mit produktionsnahen Mitarbeitern sowie 14 beobachteten Rüstprozessen in vier KMU beruht, wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, sondern auf die Ausarbeitungen von Abele et al. (2016) und Hoffmann et al. (2017) verwiesen. Vielmehr wird im Folgenden eine ergonomische Studie zur Evaluierung der körperlichen Belastung und Beanspruchung im Umgang eines HMD beschrieben, die einen Teil des gesamten Forschungsvorhabens bildet.

Die ergonomische Untersuchung eines HMD zur Beurteilung möglicher Anforderungen an die physiologisch optimale Implementierung im betrieblichen Rüstprozess umfasst neben der objektiven Aufnahme muskelphysiologischer Daten mithilfe des Einsatzes der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) (vgl. Steinhilber et al. 2013) auch eine subjektive Befragung der Probanden (vgl. Brombach 2005).

Die Arbeitsaufgabe basiert auf der Montage eines LEGO-Bausatzes in drei unterschiedlichen Varianten, die sowohl ohne als auch mit Nutzung der Microsoft HoloLens durchgeführt wird.

Die Probanden führen insgesamt neun Versuche durch, die für die Montage und Demontage eine Zeitspanne von ca. 15 Minuten pro Variante aufweisen. Um statische Arbeitsanteile im Verlauf der Versuchsdurchführung weitgehend gering zu halten, erfolgt die Tätigkeit an fünf räumlich verteilten Arbeitsplätzen mit unterschiedlichen Arbeitshöhen. Durch diese Anordnung sollen die dynamischen Arbeitshöhen, die ein Maschineneinrichter im Zuge realer Rüstvorgänge einnimmt, annähernd wiedergeben werden. Die Reihenfolge, in der die Probanden die jeweiligen Variantenfertigungen mit dem bzw. ohne das HMD in unterschiedlichen Arbeitshöhen durchführen, ist vorgegeben. Die für den Zusammenbau notwendigen Instruktionen werden dem Probanden in Papierform oder – im Umgang mit dem HMD – via Hologrammen gut sichtbar präsentiert. Die Montageanleitung erfolgt schrittweise in 15 verschiedenen Positionen. Somit werden definierte Kopfbewegungen provoziert, die in ähnlicher Weise bei Rüstprozessen auftreten. In diesem Zusammenhang kann weiterhin eruiert werden, welchen Einfluss die Microsoft HoloLens aufgrund ihres Eigengewichts bzw. ihrer Gewichtsverteilung und dem daraus resultierenden Auftreten von Drehmomenten auf die Nacken- und Schultermuskulatur des Menschen hat und inwieweit sich dieser Einfluss auf die Bewegungsabläufe im Zuge der Arbeitsdurchführung auswirkt.

Zu den aus Erkenntnissen von Vorversuchen festgelegten und in dem vorliegenden Untersuchungskontext als relevant befundenen Muskeln zählen zum einen der *Musculus trapezius Pars descendens*, der als oberer Teil des Trapez- bzw. Schultermuskels sowohl im Nacken- als auch im Schulterbereich abgegriffen wird. Zum anderen erfolgt die Erfassung des *Musculus sternocleidomastoideus*, der im Wesentlichen für die Bewegungen des Kopfes verantwortlich ist. Beide Muskelgruppen werden, wie in Abbildung 2 dargestellt, durch die OEMG-Messtechnik beidseitig, d.h. auf der rechten und linken Körperseite, abgegriffen.



Abbildung 2: Positionierung der Oberflächenelektroden auf der zu untersuchenden Muskulatur im Hals-, Nacken- und Schulterbereich am Beispiel einer Versuchsperson

Das Messsystem erfasst die während der Versuchsdurchführung auftretenden elektromyographischen Aktivitäten (EA). Zur Standardisierung bzw. Normierung und späteren Interpretation der abgeleiteten, gleichgerichteten und geglätteten Aktivität erfolgt zu Beginn der Versuchsreihen für jeden Muskel eine Messung der Ruheaktivität EA_0 . Zum Ende der Versuchsreihe wird mittels isometrischer Willkürkontraktionen – „Maximum Voluntary Contraction“ (MVC) – die muskelspezifische maximale elektromyographische Aktivität (EA_{max}) gemessen (vgl. u.a. Penzkofer et al. 2015). Normierte bzw. standardisierte EA (sEA) können dann für sämtliche Arbeitsphasen errechnet werden.

Neben der objektivierten Messung erfolgt eine subjektive Beurteilung der Belastungen und Beanspruchungen der beschriebenen Muskelpartien anhand eines standardisierten Fragebogens (vgl. u.a. Kluth et al. 2004).

Mit der Größe der Probandengruppe geht eine Ergebnisverlässlichkeit einher. Um den Einfluss menschlicher Eigengesetzlichkeiten, z.B. der Körpergröße, zu minimieren und die Repräsentativität der Ergebnisse zu wahren, wird ein weitgehend homogenes Probandenkollektiv von mindestens 12 Versuchspersonen gewählt. Sämtliche Probanden sind männlich und zwischen 20 und 35 Jahren alt.

4. Diskussion und Zielsetzung

Die Implementierung neuartiger Technologie in die betriebliche Infrastruktur, beispielsweise in Form von CPS und HMD, weist aufgrund großer Entwicklungstrends in Hardware, Software und ubiquitärer Netze Potentiale auf. Die Prozessqualität kann durch vielfältige Funktions- bzw. Anwendungsmöglichkeiten, u.a. prozessbegleitendes Dokumentieren und Abrufen relevanter Daten, verbessert und nicht zuletzt der Arbeitsalltag eines Mitarbeiters in einer Produktionsumgebung erleichtert werden. Den Potentialen stehen Herausforderungen, wie z.B. die Mitarbeiterakzeptanz oder erhöhte Sicherheitsmechanismen, gegenüber, die im Zuge der Mensch-Maschine-Interaktion für praxistaugliche Lösungen der mitunter komplexen Systeme bewältigt werden müssen.

Die vorliegende Studie befindet sich zurzeit in der Phase der Methodengestaltung und -umsetzung. Demzufolge liegen bisher noch keine messbaren Ergebnisse vor. Die Studie zielt darauf ab, Erkenntnisse hinsichtlich des physiologischen und kognitiven Aufwands aufzuzeigen, die aus der Nutzung der Microsoft HoloLens resultieren. Dabei soll nach ergonomischen Gesichtspunkten evaluiert werden, inwieweit eine derartige AR-basierte Technologie im betrieblichen Praxiseinsatz Maschineneinrichter im Zuge von Rüstprozessen unterstützen oder belasten kann. In Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse werden hinsichtlich des Umgangs mit dem HMD sowie in Bezug auf dessen Gestaltung bzw. dessen Design Empfehlungen und mögliche Einschränkungen aufgezeigt. Das hohe Gewicht und die einseitige Gewichtsverteilung der Microsoft HoloLens lassen vermuten, dass eine durch deren dynamische Nutzung hervorgerufene physiologische Beeinträchtigung des Anwenders vorliegt. Inwieweit die Interaktion mit der Microsoft HoloLens weiterhin die kognitive Wahrnehmung des Menschen beeinflusst, soll darauf aufbauend untersucht werden. Für diese Hypothesen erfolgt auf Grundlage objektivierter Messwerte sowie mithilfe einer subjektiven Befragung eine Verifizierung oder Falsifizierung. Mithilfe der cyberphysischen Rüstunterstützung sollen die mitunter lang andauernden Rüstzeiten auf die Hälfte der heute benötigten Zeit reduziert und die Prozessqualität bei Rüstvorgängen entsprechend verbessert werden.

5. Literatur

- Abele ND, Hoffmann S, Kuhnhen C, Ludwig T, Schäfer W, Schweitzer M, Wulf V (2016) Supporting the Set-up Processes by Cyber Elements based on the Example of Tube Bending. In: Mayr HC & Pinzger M (Ed), Informatik 2016 – Informatik von Menschen für Menschen, GI-Edition-Lecture Notes in Informatics (LNI), 1627-1637.
- Alexander T (2007) Virtuelle Umgebungen. In: Schmidtke H (Hrsg) Handbuch der Ergonomie. Koblenz: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung.
- Brombach J (2005) Analyse, Beurteilung und ergonomische Gestaltung der Arbeitsbedingungen in Arbeitssystemen der industriellen Qualitätskontrolle. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Caudell TP, Mizell DW (1992) Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, Volume 2, 659–669.
- Hoffmann S, Abele ND, Pinatti De Carvalho AF (2017) Herausforderungen des Wissensmanagements im Rahmen betrieblicher Rüstprozesse. In: Sure-Vetter Y, Zander S, Harth A (Hrsg) 9te Konferenz Professionelles Wissensmanagement. Tagung vom 05.07. April 2017 in Karlsruhe. FZI Forschungszentrum Informatik. Karlsruhe, 109.
- Iben H, Baumann H, Ruthenbeck C, Klug T (2009) Visual Based Picking Supported by Context Awareness. In The Eleventh International Conference on Multimodal Interfaces and the Sixth Workshop on Machine Learning for Multimodal Interaction. Camebridge: ACM, 281-288.
- Jensen MB, Johnson B, Lorenz E, Lundvall BÅ (2007) Forms of knowledge and modes of innovation. Research Policy, 36:680–693.
- Kluth K, Chung HC, Strasser H (2004) Verfahren und Methoden zur Prüfung der ergonomischen Qualität von handgeführten Arbeitsmitteln. Professionelle Schraubendreher im Test. Schriftenreihe Ergo-Med Band 5, Heidelberg: Curt Haefner-Verlag.
- Lee EA (2008) Cyber Physical Systems. Design Challenges. In: 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing. Orlando: IEEE, 363-369.
- Norman DA (2013) The design of everyday things. Revised and expanded ed., New York: Basic Books.
- Penzkofer M, Henke AS, Kluth K (2015) Evaluation of the ergonomic quality of screwdrivers via electromyographic and subjective methods. Occupational Ergonomics 12: 3-18.
- Stanney K (2002) Handbook of Virtual Environments. Design, Implementation, and Applications. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Steinhilber B, Anders C, Jäger M, Läubli T, Luttmann A, Rieger MA, Scholle HC, Schumann NP, Seibt R, Strasser H, Kluth K (2013) S2k-Leitlinie zur Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 67:113-128.
- Sutherland I (1965) The Ultimate Display, International Federation of Information Processing 2:506.
- Theis S, Pfendler C, Alexander T, Mertens A, Brandl C, Schlick CM (2016) Head-Mounted Displays - Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Werkhoven P, Alexander T, Breaux R, Goldberg SL, Hue P, Kaye M, Myhrer T (2001) Proceedings of the NATO Workshop on What Is Essential for Virtual Reality Systems? NATO RTO-MP-058. Neuilly-sur-Seine: NATO RTA.
- Wille M (2013) Head-Mounted Displays - Beanspruchung im Langzeiteinsatz. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V., Bericht zum 59. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar - 1. März 2013 an der Hochschule Niederrhein, Krefeld. Dortmund: GfA-Press, 401-405.
- Wulf V, Rohde M, Pipek V, Stevens G (2011) Engaging with practices: Design case studies as a research framework in CSCW. Proceedings of CSCW '11, 505-512.

Danksagung: Die vorliegende Ausarbeitung entstammt dem Forschungsprojekt „Cyberrüsten 4.0“, das durch die Europäische Union sowie durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklungen des Landes Nordrhein-Westfalen (Nr. EFRE-0800263) finanziert wird.



EUROPEAN UNION
Investing in our Future
European Regional
Development Fund



EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(F)T
Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung

64. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FOM Hochschule für
Oekonomie & Management gGmbH

21. – 23. Februar 2018

GfA Press

Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21. – 23. Februar 2018

FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2018

ISBN 978-3-936804-24-9

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.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

USB-Print:

Prof. Dr. Thomas Heupel, FOM Prorektor Forschung, thomas.heupel@fom.de

Screen design und Umsetzung

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de