

## **Subjektive Evaluation einer Augmented-Reality-Datenbrille als Assistenzsystem in der Fahrzeugmontage Ergebnisse einer Interventionsstudie**

Ralph HENSEL, Mathias KEIL, Fabienne PETERS

*AUDI AG, Industrial Engineering Tools/ Standardization  
Ettinger Straße, D-85045 Ingolstadt*

**Kurzfassung:** In der Automobilmontage werden häufig Klebeetiketten mit Warnungen, Hinweisen oder Informationen an bestimmten Stellen der Fahrzeuge appliziert. Die hohe Variantenvielfalt stellt die Mitarbeiter vor die Herausforderung, die spezifischen Anforderungen zum Anbringen der Klebeetiketten zu kennen, um die Tätigkeit fehlerfrei ausführen zu können. Dies erfordert ein hohes Maß an Genauigkeit und Konzentration. Assistenzsysteme, wie AR-Datenbrillen, können helfen, die Mitarbeiter durch die Tätigkeit zu führen. Zur subjektiven Evaluation der kognitiven Ergonomie von AR-Datenbrillen als Assistenzsysteme in der Fertigung wurden zwölf Probanden über sechs Wochen im Rahmen einer Interventionsstudie mit der Microsoft HoloLens ausgestattet. Sechs Probanden, die keine Vorerfahrung bei der Ausführung der Tätigkeit besaßen, bewerteten die physische und psychische Beanspruchung niedriger als die Probanden mit Arbeitserfahrung. Körperliche Anstrengung, zu erbringende Leistung und Frustration wurden von erfahrenen Probanden unter Verwendung der Datenbrille höher bewertet, als beim Arbeiten ohne Datenbrille. Geistige und zeitliche Anforderungen sowie Anstrengung wurden beim Tragen der Datenbrille dagegen niedriger bewertet. Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit wurden trotz der Skepsis aller Testpersonen hoch eingeschätzt. Kopf- und Augenschmerzen sowie Akkomodationsprobleme waren die häufigsten Beschwerden.

**Schlüsselwörter:** AR-Datenbrille, Assistenzsystem, Automobilindustrie

### **1. Einleitung**

Ziel des Einsatzes von Assistenzsystemen in der Fertigung ist, die steigende Komplexität von Produktionsprozessen für die Mitarbeiter beherrschbar zu machen, indem diese bei der Informationsaufnahme, Entscheidungsfindung oder auch Tätigkeitsausführung unterstützt werden (Klocke et al. 2017). Digitale, augmentierende Assistenzsysteme können helfen, den Mitarbeitern an Industriearbeitsplätzen die richtigen Informationen, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort direkt und nutzerspezifisch zur Verfügung zu stellen, um sie gezielt durch Arbeitsprozesse zu führen. Mithilfe von Augmented-Reality-Technologien (AR), wie AR-Datenbrillen, lässt sich die (durch die Datenbrille wahrgenommene) Realität beispielsweise um zusätzliche Informationen zu Produkten, Bauteilen oder Prozessschritten erweitern, indem diese in Echtzeit im Blickfeld des Nutzers eingeblendet werden (Dörner et al. 2014). Neben Innovationsfähigkeit, Effizienzsteigerung und Qualitätsverbesserung als primär wirtschaftlich orientierten Gründen zum Einsatz digitaler Technologien zur Werkerführung bieten diese vor allem auch Potenzial, die physische und psychische Belastung der Mitarbeiter zu reduzieren.

In der Automobilmontage werden häufig Klebeetiketten mit Warnungen, Hinweisen oder Informationen an bestimmten Stellen der Fahrzeuge appliziert. Die durch die Variantenvielfalt bedingte Komplexität des Montageprozesses stellt die Mitarbeiter vor die Herausforderung, die spezifischen Bedingungen zum Anbringen der Klebeetiketten zu kennen, um die Tätigkeit fehlerfrei ausführen zu können. Im Rahmen der vorliegenden Feldstudie galt es, die AR-Datenbrille Microsoft HoloLens auf ihr Potenzial als Assistenzsystem zu untersuchen, um die Montagemitarbeiter beim Anlernen und Ausführen der Tätigkeit zu unterstützen. Die Microsoft HoloLens ist ein stereoskopisches, dreidimensionales Head-mounted-Display mit Sensoren, Lautsprechern und integrierter Rechneinheit. Im Visierteil der kopfgetragenen Anzeigeeinheit befinden sich transparente Linsen, in denen sich interaktive 3D-Projektionen in der direkten Umgebung darstellen lassen. Im konkreten Anwendungsfall kann der Nutzer durch die Brille hindurchsehen und das zu montierende Fahrzeug in seiner Umgebung wahrnehmen. Der Mitarbeiter wird durch die einzelnen, abzuarbeitenden Prozessschritte geführt, wobei dieser jeweils zur Standposition für die nächste Montageaufgabe geleitet wird, das an diesem Verbauort zu applizierende Klebeetikett angezeigt bekommt und sogar die korrekte Klebeposition und Ausrichtung augmentiert auf die Fahrzeugkarosserie projiziert wird. Die Bedienung erfolgt über Sprache, Kopfbewegungen und Gesten.

## 2. Methodik

Im Fokus der Feldstudie stand die Beantwortung der Frage, ob die Microsoft HoloLens ein geeignetes Hilfsmittel zur Unterstützung und Entlastung der Mitarbeiter bei der Tätigkeit „Laserlabel kleben“ darstellt. Folgende Hypothesen wurden formuliert:

- 1) *Die HoloLens unterstützt die Mitarbeiter bei der Ausführung der Tätigkeit.*
- 2) *Die Mitarbeiter werden durch die HoloLens entlastet.*
- 3) *Die Nutzerakzeptanz der HoloLens als Assistenzsystem ist hoch.*
- 4) *Bei Nutzung der HoloLens treten vermehrt okulomotorische Beschwerden auf.*

Zur subjektiven Evaluation der kognitiven Ergonomie der Microsoft HoloLens wurde die Feldstudie über einen Zeitraum von insgesamt sechs Wochen durchgeführt. Hier testeten zwölf Probanden ohne gesundheitliche Einschränkungen und mit repräsentativer Altersverteilung zwischen 25 und 44 Jahren die AR-Datenbrille in einem dreiwöchigen Kurzzeittest, um Gebrauchstauglichkeit, Nutzerakzeptanz, Beanspruchung und technische Funktionalität des Assistenzsystems zu beurteilen. Dabei bekamen pro Arbeitswoche jeweils vier Probanden Zugang zur AR-Datenbrille. Um eine adäquate Eingewöhnung zu gewährleisten, wurde die HoloLens während der ersten beiden Tage von jedem Probanden zwischen 30 und 60 Minuten an einer stillstehenden Karosserie getestet. Die folgenden drei Tage wurde die Datenbrille unter realen Arbeitsbedingungen an der Montagelinie erprobt. Die Nutzungsdauer wurde im Laufe dieser Tage stetig verlängert. Sechs der Probanden besaßen zuvor keine Erfahrung in der auszuführenden Tätigkeit. Im Anschluss wurden vier freiwillige Probanden ausgewählt, die Studie um drei Wochen zu verlängern, während der sie die AR-Datenbrille täglich für jeweils zwei Stunden während ihrer Tätigkeit nutzten. Durch Langzeiterfahrungen sollten Gewöhnung und Tragekomfort besser bewertet und Verbesserungspotenzial zur Optimierung der Informationsdarstellung und Werkerführung eruiert werden.

Die Erhebung der Daten erfolgte pseudonymisiert mit standardisierten Fragebögen und persönlichen Interviews, um die Anonymität der Untersuchung zu gewährleisten.

In der *ersten Befragungsstufe* wurden die sechs Probanden mit Arbeitsplatz Erfahrung vor Versuchsbeginn zur Beanspruchung durch ihre Tätigkeit ohne Verwendung

der Datenbrille auf Basis des NASA Task Load Index (NASA TLX) [Hart & Staveland 1988] befragt, um die Veränderung der Beanspruchung und damit die Be- oder Entlastung durch die Intervention beurteilen zu können. Zusätzlich wurden vor Testbeginn Neugierde und Technologieängstlichkeit aller zwölf Probanden mithilfe des Technology Usage Inventory (TUI) (Kothgassner et al. 2013) ermittelt, um Rückschlüsse auf die Nutzungsakzeptanz ziehen zu können. Diese wurde über eine Klassifizierung nach Alterskategorien erweitert, mit dem Ziel eventuelle Altersabhängigkeiten abzubilden.

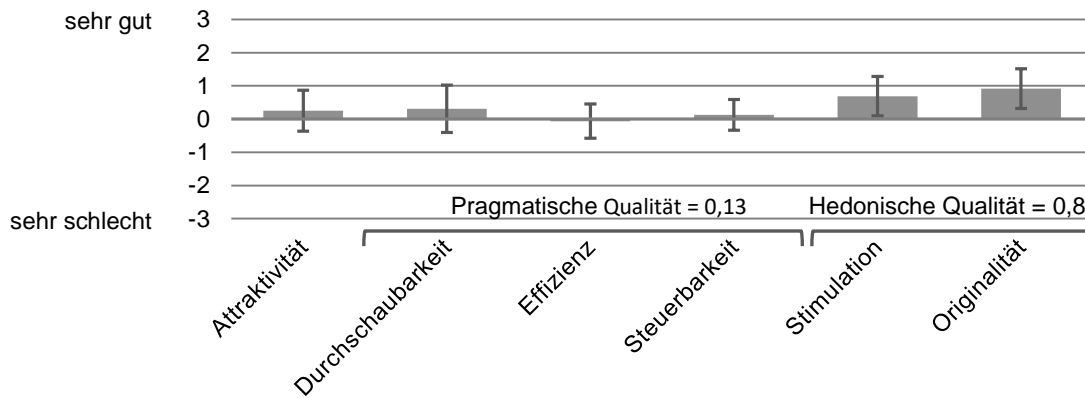
Im Fokus der *zweiten Befragungsstufe* nach der zweitägigen Gewöhnungsphase standen Nutzererleben und Beanspruchungsempfinden bei Verwendung der Datenbrille. Hierzu bewerteten alle zwölf Probanden auf Basis des User-Experience-Questionnaire (UEQ) (Schrepp et al. 2014) die Datenbrille nach Attraktivität, Durchschaubarkeit, Effizienz, Steuerbarkeit, Stimulation und Originalität, um Aussagen zur Unterstützung durch die AR-Technologie treffen zu können. Ferner wurden physische und psychische Beanspruchung bei Nutzung der Datenbrille mittels NASA TLX bewertet.

In der *dritten Befragungsstufe* erfolgte die ergonomisch-technische Bewertung der Datenbrille am Ende der einwöchigen Nutzungsphase. Hierbei wurden Interesse, Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit, Skepsis und Nutzungsintention auf Basis des TUI untersucht. Überdies wurden alle Probanden nach okulomotorischen Beschwerden während der Datenbrillennutzung befragt, wozu das entsprechende Konstrukt des Simulation Sickness Questionnaire (SSQ) (Kennedy et al. 2013) diente, mit den Symptomen Ermüdung, Kopfschmerzen, Augenschmerzen, Akkomodationsprobleme, Konzentrationsprobleme und verschwommene Sicht sowie „voller Kopf“ (Kopfdruck). Zudem beurteilten die Probanden offene Fragen zur technischen Funktionalität, besonders Vor- und Nachteilen respektive bei der Nutzung auftretenden Problemen.

Im Rahmen des dreiwöchigen Langzeittests wurde über ein begleitendes Tagebuch täglich die Gewöhnung an die Datenbrille protokolliert. Ferner wurden beispielsweise Lernerfolg, Informationsdarstellung und Aktivierungsgrad erhoben. Auf die Ergebnisse wird in der vorliegenden Veröffentlichung jedoch nur am Rande eingegangen.

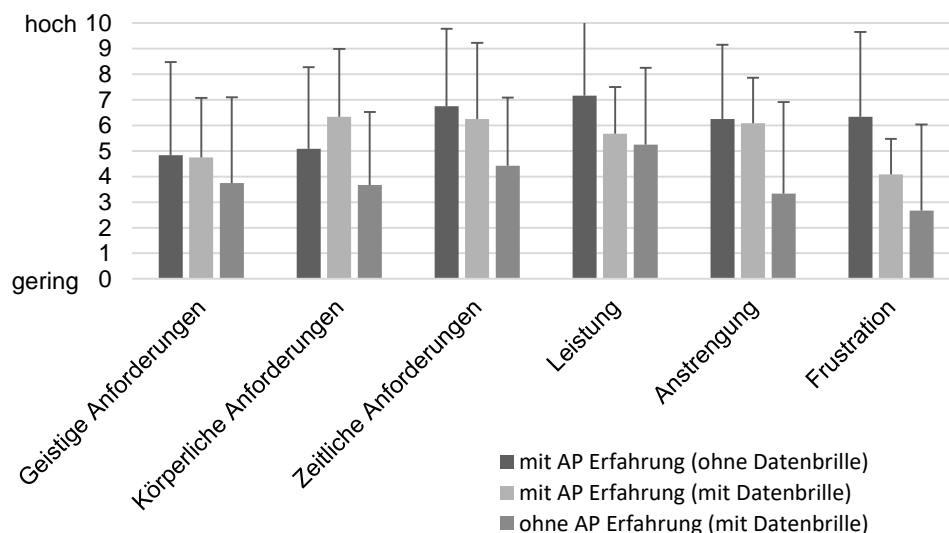
### 3. Untersuchungsergebnisse

Nach der zweitägigen Gewöhnungsphase beurteilten die Probanden das Nutzererleben auf Basis des UEQ, entsprechend der Skalen Attraktivität, Durchschaubarkeit, Effizienz, Steuerbarkeit, Stimulation und Originalität. Abbildung 1 zeigt das Bewertungsergebnis und unterscheidet neben Attraktivität, die beiden Konstrukte der pragmatischen und hedonischen Qualität. Attraktivität zeigt mit 0,25 eine neutrale Beurteilung auf leicht positiven Niveau. Dies wird auch bei der pragmatischen Qualität (0,13) deutlich, die sich aus Durchschaubarkeit, Effizienz und Steuerbarkeit ergibt und beschreibt, wie effizient und effektiv die Datenbrille die Aufgabenerledigung unterstützt. Hedonische Qualität wird durch Stimulation und Originalität beschrieben und spiegelt die Freude an der Nutzung der Datenbrille wider. Die Bewertung von 0,8 deckt sich mit den Aussagen der Probanden, die die Datenbrille positiv als innovativ wahrnehmen.



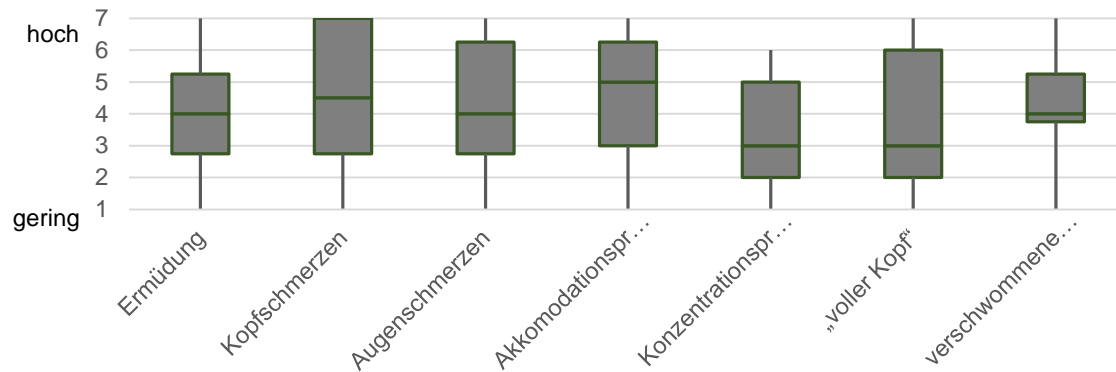
**Abbildung 1:** Nutzererleben nach der zweitägigen Gewöhnungsphase (auf Basis UEQ)

Die Bewertung der physischen und psychischen Beanspruchung der Nutzer durch die Datenbrille nach der zweitägigen Gewöhnungsphase zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen Probanden mit respektive ohne Vorerfahrung, jedoch bewerteten die Probanden ohne Arbeitsplatz Erfahrung die Beanspruchung in allen Kategorien niedriger, als geübte Probanden. Zwar sank die Beanspruchung bei Nutzung der Datenbrille, ein signifikanter Unterschied zwischen Arbeiten mit und ohne Datenbrille konnte indes nicht festgestellt werden. Lediglich die körperlichen Anforderungen (Abb.2) stiegen und wurden als einzige Kategorie von den Probanden mit Datenbrille höher bewertet, als ohne Datenbrille. Bei der offenen Befragung zur technischen Funktionalität wurde das Gewicht (0,579 kg) der AR-Datenbrille häufig als Kritikpunkt aufgeführt, was sicherlich auch die gestiegenen körperlichen Anforderungen erklärt.



**Abbildung 2:** Physische und psychische Beanspruchung (auf Basis NASA TLX)

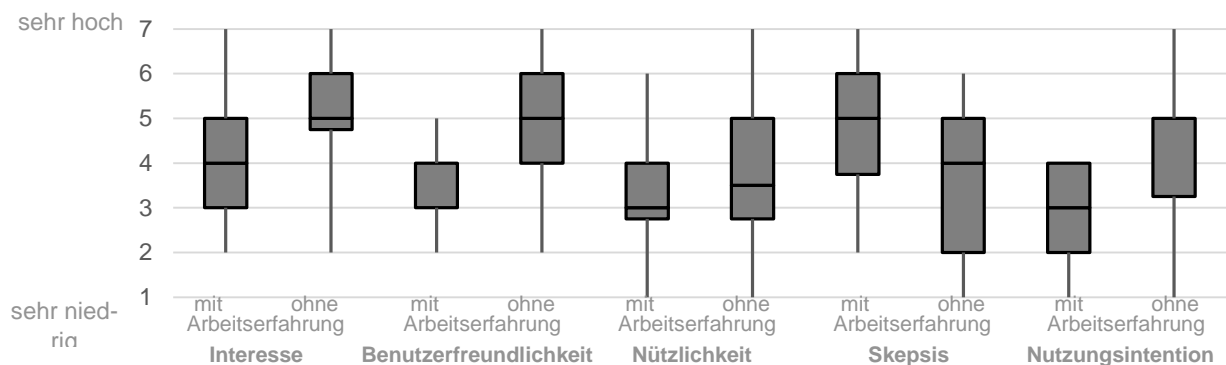
Die Auswertung des SSQ (Abb. 3) gibt ein präziseres Bild zu den von den Probanden wahrgenommenen körperlichen Anforderungen und zeigt, dass Kopfschmerzen ( $\bar{x} = 4,58$ ,  $SD = 2,35$ ), Probleme beim Fokussieren der Augen ( $\bar{x} = 4,66$ ,  $SD = 2,1$ ) und Augenschmerzen ( $\bar{x} = 4,25$ ,  $SD = 2,3$ ) die am häufigsten auftretenden Beschwerden sind und mit zunehmender Nutzungsdauer steigen.



**Abbildung 3:** Auswertung des SSQ

Probanden mit Arbeitsplatz Erfahrung nahmen die Datenbrille nach einwöchiger Nutzungsdauer positiver wahr, jedoch ohne signifikanten Unterschied verglichen mit Probanden mit Arbeitsplatz Erfahrung nach statistischer Detailauswertung (Abb.4).

Es konnte eine negative Korrelation zwischen Skepsis und Neugierde gefunden werden. Die gering wahrgenommene Nützlichkeit des Systems stützt die Erkenntnisse aus der Untersuchung zur User Experience. Die Nutzungsintention liegt insgesamt auf einem niedrigen Niveau, bei Nutzern mit Arbeitsplatz Erfahrung wiederum niedriger ( $\bar{x} = 2,83$ ,  $SD = 1,04$ ) als bei jenen ohne ( $\bar{x} = 3,83$ ,  $SD = 1,62$ ).



**Abbildung 4:** Interesse, Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit, Skepsis und Nutzungsintention

#### 4. Diskussion

Die Probanden bewerteten die Unterstützung ihrer Tätigkeit durch die Microsoft HoloLens als niedrig. Dies unterstreicht sowohl das Resultat der Bewertung der Leistung mit dem NASA TLX als auch die auf Basis des UEQ ermittelte niedrige pragmatische Qualität der Datenbrille und deckt sich mit den Resultaten des TUI. Damit muss die erste Hypothese verworfen werden.

Die Befragung zur psychischen und physischen zeigt eine leichte Steigerung der körperlichen Anforderungen, während sich die anderen Dimensionen des NASA TLX nicht signifikant ändern. Die zweite Hypothese kann daher nicht bestätigt werden. Die Testpersonen beklagen bereits nach kurzer Zeit okulomotorische Beschwerden, insbesondere Kopf- und Augenschmerzen sowie Akkomodationsprobleme, die sich mit

zunehmender Nutzungsdauer verschlimmern. Fraglich ist, ob dies langfristig zu physischen oder psychischen Einschränkungen der Nutzer führt oder durch Gewöhnung die Beschwerden zurückgehen. Die vierte Hypothese wurde damit bestätigt.

Die Ergebnisse des TUI zeugen von niedriger Nutzungsintention, maßgeblich hervorgerufen durch niedrige Nützlichkeit und auftretende okulomotorische Beschwerden. Die dritte Hypothese zur Nutzerakzeptanz muss verworfen werden.

Der Beitrag der Microsoft HoloLens als augmentierendes Assistenzsystem zur Unterstützung der Tätigkeitsausführung erwies sich in der Feldstudie als niedrig. Neben Produktverbesserungen, wie Gewichtsreduktion und erhöhtem Tragekomfort, kann eine optimierte Software Gebrauchstauglichkeit und pragmatische Qualität des Systems verbessern und die Nutzerakzeptanz erhöhen. Da die Probanden ohne Arbeitsplatzenerfahrung Technologie, Nutzererleben, hedonische Qualität sowie Innovativität insgesamt hoch einstufen, wird proklamiert, dass die AR-Technologie ein wertvolles Hilfsmittel zur Arbeitsunterweisung und zum Erlernen neuer Tätigkeiten sein kann. In diesem Fall sollten bei verkürzter Nutzungsdauer weniger Beschwerden auftreten.

Neben der in der Feldstudie untersuchten kognitiven Ergonomie gilt es überdies, bisher unbeantwortete unternehmenspraktische Fragestellungen zu berücksichtigen. Dies betrifft auch Aspekte der zeitlichen Bewertung der Nutzung etwa mit dem MTM-Prozessbausteinsystem, um die prozesssichere Nutzung innerhalb der Taktzeit sicherzustellen. Beispielhaft seien die Informationsaufnahme während des Gehens, die Zeitdauer für Bedienoperationen durch Gestensteuerung sowie Systemantwortzeiten genannt. Ebenso wäre die Notwendigkeit neuer Prozessbausteine zur Fokussierung mittels Kopfbewegungen oder zur Sprachsteuerung denkbar, da sich die Bedienschritte bisher der zeitlichen Bewertung mittels MTM-Prozessbausteinsystem entziehen.

## 5. Literaturverzeichnis

- Dörner R, Broll W, Grimm P, Jung B (2013) Virtual und Augmented Reality (VR / AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Vieweg.
- Hart SG, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Advances in Psychology* 52: 139-183.
- Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lienthal MG (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *Intern. Journal of Aviation Psych.* 3: 203-220.
- Klocke F, Bassett E, Bönsch C, Gärtner R, Holsten S, Jamal R, Jurke B, Kamps S, Kerzel U, Mattfeld P, Shirobokov A, Stauder J, Stautner M, Trauth D (2017) Assistenzsysteme in der Produktionstechnik. In: C Brecher, F Klocke, R Schmitt, G Schuh (Hrsg.). *Internet of Production für agile Unternehmen*. AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017. Aachen: Apprimus Verlag.
- Kothgassner OD, Felhofer A, Hauk N, Kastenhofer E, Gomm J, Kryspin-Exner, I (2013) *Technology Usage Inventory (TUI): Manual*. Wien.
- Schrepp M, Hinderks A, Thomaschewski J (2014) Applying the User Experience Questionnaire (UEQ) in Different Evaluation Scenarios. In: A Marcus (Hrsg.). *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience*. *Lecture Notes in Computer Science* 8517: 383-392. Springer.



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](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)