

Blickbewegungsmessung zur vergleichenden Evaluierung von Augmented-Reality-Assistenzsystemen

Elisa Maria KLOSE

*Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel*

Kurzfassung: Augmented Reality (AR) ist eine vielversprechende Technologie für die Unterstützung von Montagetätigkeiten. Der Beitrag untersucht, inwieweit Blickbewegungsparameter nützlich sind, um AR-Systeme vergleichend zu evaluieren. Sowohl die Blinzelrate als auch der Nearest Neighbor Index scheinen geeignete Parameter zu sein.

Schlüsselwörter: Augmented Reality, Eye-Tracking, Montage

1. Evaluationen von Augmented-Reality-Assistenzsystemen für die Montage

Augmented Reality (AR) ist das Einblenden computergenerierter Informationen in die reale Welt, sodass reale und virtuelle Inhalte zu einer vermischten Realität verschmelzen (Azuma 1997). AR ist hochinteressant für die Unterstützung von Arbeitern in der Industrie, in der immer speziellere Anforderungen zu variableren Prozessen und einem erhöhten Informationsbedarf führen. Bei der Montage können mit AR-Datenbrillen z. B. komplexe Vorgänge ortsgenau in 3D visualisiert werden, während der Arbeiter die Hände frei hat. Blick und Aufmerksamkeit müssen so weniger zwischen Arbeitsplatz und Montageanleitung hin- und herwechseln und räumliche Informationen können besser vermittelt werden. AR-Assistenzsysteme mit Datenbrillen führen so potenziell zu kürzeren Bearbeitungszeiten, weniger Fehlern sowie geringerer kognitiver Beanspruchung als eine Unterstützung durch andere Hilfsmittel (Bottani & Vignali 2019). Bislang schöpft die Technologie dieses Potenzial jedoch nicht voll aus. Dies liegt erstens am Entwicklungsstand der Hardware, und ein Großteil der AR-Forschung widmet sich bislang technischen Fragestellungen. Zweitens ist auch die Gestaltung von AR Anwendungen noch wenig untersucht.

Evaluationen von AR-Systemen für die Montage betrachten meist nur die Leistung als abhängige Variable, d. h. wie schnell und oder genau und fehlerfrei die Montage ausgeführt wird. In einigen Studien wird noch eine subjektive Bewertung abgefragt, in den seltensten Fällen mit standardisierten Fragebögen wie dem NASA-TLX (Hart 2006) zur subjektiv empfundenen Beanspruchung (Dey et al. 2018). Die meisten Evaluationen vergleichen AR-System für die Montage mit einem oder mehreren weiteren Systemen. Die Ergebnisse sind hierbei sehr unterschiedlich – die AR Systeme führen bei einigen Evaluationen zu geringeren Montagezeiten und weniger Beanspruchung (Baird & Barfield 1999; Henderson & Feiner 2011; Hou et al. 2013) und bei anderen zu höheren Montagezeiten und mehr Beanspruchung oder es sind keine Unterschiede zu finden (Daling et al. 2020; Grubert et al. 2010; Loch et al. 2016).

Ähnlich ist es bei den deutlich weniger Evaluationen, die unterschiedliche AR-Visualisierungen miteinander vergleichen. Selbst bei sehr ähnlichem Versuchsaufbau und Inhalten können sich die Ergebnisse deutlich unterscheiden (Blattgerste et al. 2017; Blattgerste et al. 2018; Khuong et al. 2014).

Insgesamt besteht Bedarf, weitere Parameter zur Evaluierung von AR-Systemen für die Montage einzuführen, insbesondere solche, die menschliche Faktoren berücksichtigen. Hier setzt dieser Beitrag an, der eine Studie vorstellt, die die Nutzung von Blickbewegungsparametern bei der Evaluation von AR-Systemen untersucht. Die Hypothese ist, dass die Erhebung von Leistung und NASA-TLX nicht ausreicht, um die Unterschiede zwischen zwei AR-Systemen für die Montage zu untersuchen und dass die Blickbewegungsanalyse eine diagnostischere Analyse ermöglicht.

2. Methode

Es wurde ein Laborexperiment durchgeführt, bei dem die Probanden mithilfe von AR-Anleitungen Montageaufgaben ausführten. Bei der Aufgabendurchführung wurde die Blickbewegung aufgezeichnet und anschließend analysiert.

Die Montageaufgaben wurden mit Lego-Duplo Steinen umgesetzt. Dies ist aus Gründen der Vergleichbarkeit sowie der verhältnismäßig einfachen 3D-Modellierung in der Forschung zu AR-Assistenzsystemen für die Montage sehr geläufig.

Es wurden vier verschiedene Objekte entworfen, die jeweils aus 42 Steinen bestehen und auf einer 13 x 13 Grundplatte zusammengebaut werden sollten. Beim Design der tierähnlichen Modelle (Abbildung 1) wurde einerseits darauf geachtet, dass sie etwas sinnhaftes ergeben, da eine vollständig zufällige Verteilung der Steine recht weit von einer realen Montageaufgabe entfernt wäre. Andererseits wurde darauf geachtet, dass die Modelle nicht zu symmetrisch oder farblich sortiert und dadurch jeweils komplex genug sind, um eine Vorhersagbarkeit des nächsten zu verbauenden Steins gering zu halten. So sollte sichergestellt werden, dass die Modelle tatsächlich nach der Anleitung und nicht nach z. B. erwarteter Symmetrie gebaut werden.

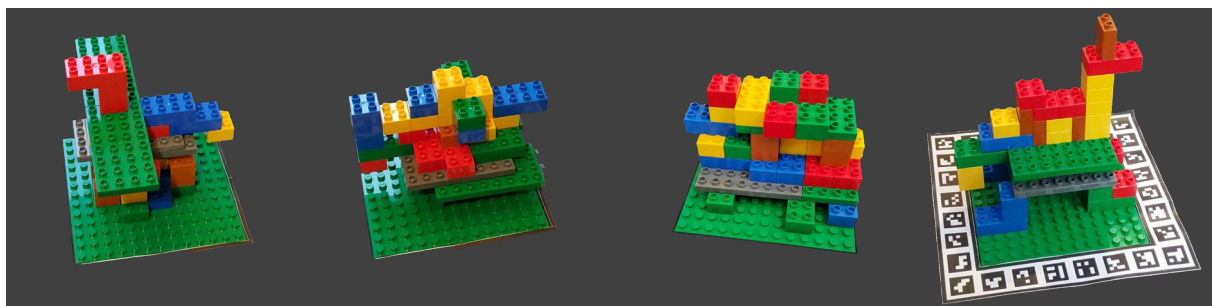


Abbildung 1: Tierähnliche Duplo-Modelle, die mithilfe von AR-Anleitungen zusammenzubauen waren. Von links nach rechts: Adler, Huhn, Käfer, Lama. Bei dem Modell ganz rechts ist der Marker zu sehen, der zur Positionierung der AR-Inhalte verwendet wird.

Die AR Anleitung wurde mit Unity 3D in Verbindung mit der Vuforia Engine für die AR-Brille Microsoft Hololens der ersten Generation entwickelt. Zur Positionierung der virtuellen Inhalte wurde ein aus April Tags zusammengesetzter Marker erstellt, der um die Duplo-Grundplatte herum befestigt wurde (Abbildung 1 rechts). Vuforia arbeitet für das Tracking mit solchen Markern, die von der Kamera der AR-Ausgabegeräts erkannt und verwendet werden, um die Position von AR-Inhalten daran auszurichten. Mithilfe des sogenannten „extended Tracking“ können nach einer ersten Erfassung des Markers AR-Inhalte auch weiterhin mit einer guten Genauigkeit dargestellt werden, indem die Inertialsensoren des Geräts genutzt werden. Hierfür „merkt“ sich das Gerät die Position von AR-Inhalten im Verhältnis zur Position des AR-Anzeigegeräts zu einem Zeitpunkt x. Bei einer Bewegung des Geräts – d. h. bei Datenbrillen bei

Bewegung des Kopfes oder Körpers – wird die Position der AR-Inhalte im Verhältnis zum Anzeigegerät anhand der Bewegungsdaten neu berechnet, sodass die virtuellen Inhalte im realen Raum fixiert zu sein scheinen.

Es wurden zwei verschiedene AR-Anleitungen implementiert. Der „digitale Zwilling“ ist eine Darstellung, bei der die virtuelle Anleitung in 3D direkt hinter dem realen Objekt angezeigt wird. Bei der „kontaktanalogen Überlagerung“ wird der nächste zu setzende Stein direkt auf dem realen Montagefeld an seiner Position eingeblendet (Abbildung 2). Sobald ein Stein gesetzt wurde, wurde jeweils der nächste Schritt eingeblendet. Dies wurde per Wizard-of-Oz Methodik vom Versuchsleiter gesteuert.

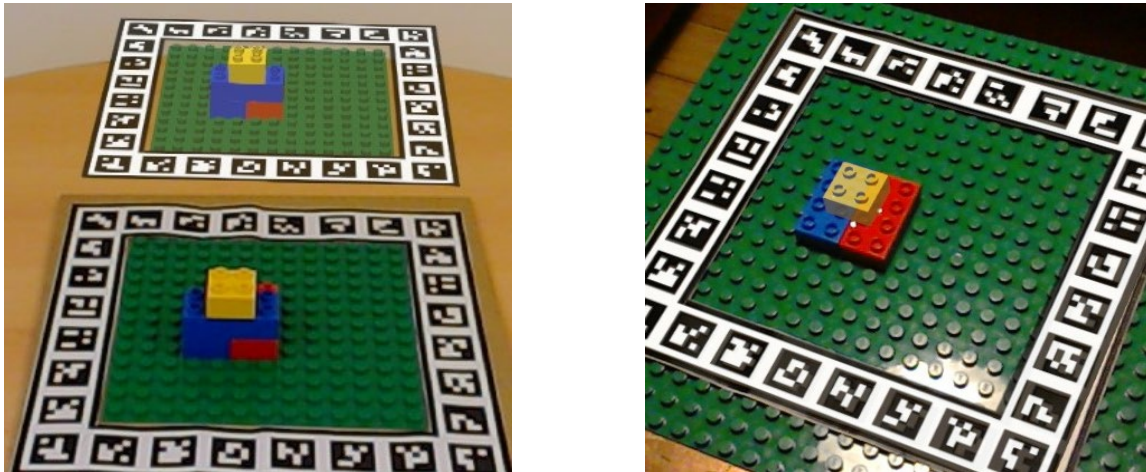


Abbildung 2: AR-Anleitungen. Links der digitale Zwilling, bei dem die virtuelle Anleitung hinter dem realen Objekt eingeblendet wird. Rechts die kontaktanaloge Überlagerung, bei der der virtuelle Stein (hier gelb) direkt auf den realen Steinen eingeblendet wird.

Die Probanden wurden zunächst über den Versuchsablauf informiert und unterschrieben eine Einwilligungserklärung zur Teilnahme. Die Teilnahme war freiwillig und wurde nicht vergütet.

Nach einem kurzen demografischen Fragebogen wurde die Datenbrille mitsamt des Eyetracking Clip-Ons von Pupil Labs aufgesetzt und die Augenkameras ausgerichtet. Danach wurde zunächst die Hololens mit dem vorinstallierten Kalibrierungsprogramm kalibriert. Anschließend wurde das Eyetracking-System per Natural-Features-Kalibrierung auf den Probanden eingestellt. Dann begann die eigentliche Aufgabe. Die Reihenfolge der AR Anleitungen wurde abgewechselt, um Reihenfolgeeffekte auszuschließen, d. h. die Hälfte der Probanden begann mit dem „Digitalen Zwilling“ und die andere Hälfte mit der „kontaktanalogen Überlagerung“.

Für eine Eingewöhnung wurde jeweils mit einer kurzen Übungsaufgabe begonnen, die die Montage von 4 Duplo-Steinen beinhaltete. Hier hatten die Probanden Gelegenheit, Fragen zum Ablauf oder der Darstellung zu stellen. Danach startete die komplexere Montageaufgabe mit Aufzeichnung der Daten, für die jeweils 42 Duplosteine montiert wurden.

Die Blickbewegung wurde mit der Software Pupil Capture aufgezeichnet. Nach jeder Montageaufgabe beantworteten die Probanden einige Fragen zur Bewertung der AR-Anleitung je auf einer Skala von 1-7 sowie den NASA-RTLX Fragebogen.

Es nahmen 10 Personen (3 weiblich, 7 männlich) mit einem Alter von 20 bis 57 Jahren ($M = 37,4$; $SD = 12,5$) teil. Drei davon trugen eine Brille und die Hälfte hatte Vorerfahrungen mit AR- oder VR-Datenbrillen.

3. Ergebnisse

Die Blickbewegungsdaten wurden zunächst mit der Software Pupil Player ausgewertet. Der Fragebogen wurde mit dem Online-Befragungstool von Unipark erhoben und in Excel exportiert. Die statistische Auswertung wurde mit RStudio durchgeführt.

3.1 Vergleich zwischen den beiden AR-Anleitungen

Bezüglich der Leistung wurden beim Vergleich der beiden AR Anleitungen keine Unterschiede gefunden. Sowohl die Dauer als auch die Anzahl der Fehler unterschieden sich nicht signifikant. Der RTLX Fragebogen zeigte keine Unterschiede zwischen den beiden Anleitungen. Einen signifikanten Unterschied gab es jedoch bei der Sicherheit bei der Aufgabenausführung. Die Teilnehmer waren sich mit der kontaktanalogen Überlagerung signifikant unsicherer, ob sie alles richtig machten. Die Mehrheit (70 %) der Probanden bevorzugte den digitalen Zwilling.

Auch bei den Blickbewegungsparametern gab es kaum Unterschiede. So waren sowohl die Fixationsrate als auch die Fixationsdauer bei beiden Anleitungen ähnlich. Ebenso waren Blinzelrate und -dauer nicht signifikant unterschiedlich. Der einzige signifikante Unterschied war der Pupillendurchmesser, der bei der kontaktanalogen Überlagerung größer war als bei dem digitalen Zwilling.

Tabelle 1: Vergleich zwischen den zwei AR-Anleitungen bezüglich Aufgabendauer sowie Fixations- und Blinzelparametern und weiteren Parametern der kognitiven Beanspruchung

	Dauer der Aufgaben- ausführung (sek)	NASA- RTLX (0-100)	Unsicherheit, alles richtig zu machen (1-7)	Fixationsrate (Anzahl pro Sekunde)	Fixations- dauer (sek)
Kontaktanaloge Überlagerung	250,3 ± 48,6	37,3 ± 28,6	3,90 ± 2,47	2,90 ± 0,41	245,9 ± 46,6
Digitaler Zwilling	244,8 ± 39,7	32,5 ± 26,2	2,30 ± 1,70	2,85 ± 0,42	243,7 ± 33,1
T-Test	t = 0,5984 p = 0,5644	t = 0,9813 p = 0,3521	t = 2,5159 p = 0,0330	t = 0,3897 p = 0,7058	t = 0,2292 p = 0,8239
	Blinzelrate (Anzahl pro Sekunde)	Blinzeldauer (sek)	Pupillen- durchmesser (px)	Nearest Neighbor Index (NNI)	
Kontaktanaloge Überlagerung	0,24 ± 0,11	0,29 ± 0,12	10,91 ± 4,06	0,80 ± 0,07	
Digitaler Zwilling	0,27 ± 0,13	0,23 ± 0,08	7,98 ± 3,88	0,77 ± 0,06	
T-Test	t = -1,2507 p = 0.2426	t = 1,9221 p = 0.0868	t = 3,1573 p = 0.0116	t = 1,0834 p = 0.3068	

3.2 Korrelationsanalyse zwischen Dauer und RTLX und den Blickparametern

Um über die Anleitungen hinweg Zusammenhänge zwischen der Dauer der Aufgabenausführung bzw. dem RTLX und Blickparametern und Fragebogenitems zu untersuchen, wurde eine lineare Regression durchgeführt. Tabelle 3 zeigt alle signifikanten Zusammenhänge für $\alpha < 0.05$.

Tabelle 2: Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalyse

	Dauer (sek)		
	R	R ²	Lineare Regression
Nearest Neighbor Index (NNI)	-0,64	0,406	F = 12,28; p = 0,0025
Ich wusste immer genau, welches Teil ich als nächstes nehmen muss (1-7)	-0,60	0,363	F = 10,26; p = 0,0049
Blinzeldauer (sek)	0,48	0,23	F = 5,377; p = 0,0324
	NASA-RTLX (0-100)		
	R	R ²	Lineare Regression
Ich war mir bei der Aufgabendurchführung unsicher, ob ich alles richtig mache.	0,5185	0,2283	F = 6,619; p = 0,0192
Blinzelrate (Anzahl pro Sekunde)	0,5281	0,2389	F = 6,963; p = 0,0167

4. Diskussion

Gemäß der eingangs formulierten Hypothese konnten weder in Leistung noch der subjektiv empfundenen Beanspruchung Unterschiede zwischen den beiden AR-Anleitungen festgestellt werden. Grund hierfür ist, dass beide ihre Vor- und Nachteile haben. Der digitale Zwilling ist gemäß dem Prinzip des Abguckens und Nachmachens sehr natürlich und jedem Menschen vertraut. Er ist zudem sehr robust gegen Positionierungsfehler bei den AR-Einblendungen. Für die Montage ist jedoch eine räumliche Übertragungsleistung nötig, d. h. die Position des Duplo-Steins in der Anleitung und diejenige des realen Steins müssen abgeglichen werden. Für eine korrekte Position müssen z. B. teilweise Reihen abgezählt werden. Die kontaktanaloge Überlagerung bedarf genau dieser kognitiven Leistung nicht. Der Nutzer sieht sofort, wohin der reale Stein gesetzt werden soll, da der virtuelle Stein ebendort eingeblendet wird. „*Eigentlich muss man dabei gar nicht mehr nachdenken*“ beschrieb ein Proband die Anleitung. Ein Nachteil dieses Systems ist jedoch die Empfindlichkeit gegenüber Positionierungsfehlern. Sobald ein virtueller Stein um einige Millimeter falsch eingeblendet wird, ist der Proband unsicher, wohin der Stein genau gesetzt werden soll, was sich in der subjektiven Bewertung zeigt. Ein weiterer Nachteil ist die Verdeckung der Realität durch virtuelle Inhalte: solange der virtuelle Stein eingeblendet wird, sieht man den realen Stein und ggf. Teile der eigenen Hand „dahinter“ schlechter. Um die Verdeckung möglichst gering zu halten, wird jeweils nur der aktuelle Stein virtuell eingeblendet. Dadurch fehlen ggf. Kontextinformationen – ein weiterer Nachteil gegenüber dem digitalen Zwilling, bei dem jeweils der aktuelle und alle vorherigen Steine eingeblendet werden. Der aufgetretene größere Pupillendurchmesser – ein Indikator für eine höhere kognitive Beanspruchung – bei der kontaktanalogen Überlagerung lässt sich durch diese beschriebenen Nachteile erklären. Insgesamt gleichen sich diese Vor- und Nachteile insbesondere durch die beim aktuellen Stand der Technik auftretenden Positionsungenauigkeiten bei den Einblendungen über verschiedene Probanden hinweg aus.

Betrachtet man nicht die Unterschiede zwischen den Anleitungen, sondern die Zusammenhänge zwischen Leistung bzw. RTLX und den Blickbewegungsparametern, so lässt sich eine negative Korrelation zwischen Aufgabendauer und dem Nearest Neighbor Index (NNI) feststellen. Der NNI ist ein räumlicher Verteilungsparameter, der mit der kognitiven Beanspruchung in Zusammenhang gebracht wird (Di Nocera et al. 2016). Die Richtung des Zusammenhangs ist dabei abhängig von der Art der

kognitiven Anforderungen. Während zeitliche Anforderungen einen höheren NNI verursachen (verstreute Verteilung der Fixationen), verursachen räumliche Anforderungen einen niedrigeren NNI (vermehrte Clusterbildung bei den Fixationen). Die negative Korrelation spiegelt also einen Zusammenhang der längeren Aufgabendauer mit höheren visuellen Anforderungen wider, beim digitalen Zwilling also z. B. die genaue Position des nächsten Steins zu erkennen und ggf. abzuzählen und bei der kontaktanalogen Überlagerung die Abschätzung, in welche Richtung der virtuelle Stein bei ungenauer Positionierung verschoben ist.

Des Weiteren wurde ein Zusammenhang zwischen Blinzelrate und subjektiv empfundener Beanspruchung gefunden, was bisherigen Erkenntnissen zum Zusammenhang von kognitiver Beanspruchung und Blinzelrate entspricht. Anhand der Blinzelrate und des NNI lassen sich also Rückschlüsse ziehen, ob eine Person besser oder schlechter mit einem AR-System zurechtkommt. Aufgrund der kleinen Stichprobe sollten die Ergebnisse jedoch mit weiteren Probanden validiert werden.

5. Literatur

- Azuma R (1997) A Survey of Augmented Reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments* 6:355–385.
- Baird KM, Barfield W (1999) Evaluating the Effectiveness of Augmented Reality Displays for a Manual Assembly Task. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*:250–259.
- Blattgerste J, Strenge B, Renner P, Pfeiffer T, Essig K (2017) Comparing Conventional and Augmented Reality Instructions for Manual Assembly Tasks. In: Unknown (Ed) *PETRA 2017: The 10th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* : June 21-23, 2017, Island of Rhodes, Greece. ACM, New York, NY, USA, 75–82.
- Blattgerste J, Renner P, Strenge B, Pfeiffer T (2018) In-Situ Instructions Exceed Side-by-Side Instructions in Augmented Reality Assisted Assembly. In: Unknown (Ed) *Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference on - PETRA '18*. ACM Press, New York, New York, USA, 133–140.
- Bottani E, Vignali G (2019) Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IJSE Transactions* 51:284–310.
- Daling L, Abdelrazeq A, Sauerborn C, Hees F (2020) A Comparative Study of Augmented Reality Assistant Tools in Assembly. In: Ahram T, Falcão C (Eds) *Advances in Usability and User Experience*, vol 972. Springer International Publishing, Cham, 755–767.
- Dey A, Billinghamurst M, Lindeman RW, Swan JE (2018) A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014. *Front. Robot. AI* 5.
- Di Nocera F, Capobianco C, Mastrangelo S (2016) A Simple(r) Tool For Examining Fixations. *Journal of Eye Movement Research* 9:1–6.
- Grubert J, Hamacher D, Mecke R, Böckelmann I, Schega L, Huckauf A, Urbina M, Schenk M, Doil F, Tümler J (2010) Extended Investigations of User-Related Issues in Mobile Industrial AR. In: Höllerer T (Ed) *9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2010: 13 - 16 Oct. 2010, Seoul, Korea. IEEE, Piscataway, NJ, 229–230.
- Hart SG (2006) NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In: *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol 50, 904–908.
- Henderson SJ, Feiner SK (2011) Augmented reality in the psychomotor phase of a procedural task. In: *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. IEEE, 191–200.
- Hou L, Wang X, Bernold L, Love PED (2013) Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly. *J. Comput. Civ. Eng.* 27:439–451.
- Khuong BM, Kiyokawa K, Miller A, La Viola JJ, Mashita T, Takemura H (2014) The effectiveness of an AR-based context-aware assembly support system in object assembly. In: *Proceedings of the International Conference on Virtual Reality*. IEEE, 57–62.
- Loch F, Quint F, Bristel I (2016) Comparing Video and Augmented Reality Assistance in Manual Assembly. In: *12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*. IEEE, 147–150.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Sträter für die Unterstützung sowie der Universität Kassel für die Finanzierung dieser Arbeit.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2022
ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

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.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de