

## **Evaluation eines auf Augmented Reality basierenden Werkerführungssystems**

Alexander ROMMEL<sup>1</sup>, Dominik HAUF<sup>2</sup>, Tobias RUSCH<sup>1</sup>,  
Florian KERBER<sup>1</sup>, Matthias RÖTTING<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg  
Emil-Eigner-Straße 1, D-86720 Nördlingen*

<sup>2</sup> *GPD-DCAI, BSH Hausgeräte GmbH*

*Robert-Bosch-Straße 16, D-89407 Dillingen a.d. Donau*

<sup>3</sup> *Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft, Technische Universität Berlin  
Marchstraße 23, D-10587 Berlin*

**Kurzfassung:** In der Fertigung von Konsumgütern tritt aufgrund von kundenindividueller Massenproduktion oftmals eine hohe Vielfalt schnell wechselnder Varianten auf. Speziell in der meist manuell durchgeführten Endmontage führt dies in Kombination mit kurzen Taktzeiten zu hoher Belastung der Werkenden. Am Anwendungsbeispiel der Geschirrspülerproduktion wird untersucht, ob eine intelligente Werkerführung mit tutorieller Funktionalität auf Basis von Augmented Reality (AR) zu positiven Ergebnissen bei der Qualität und Leistung der Arbeit führt. Dieser Beitrag beschreibt die Implementierung eines adaptiven Prototyps, der variantenindividuell Montageinformationen anzeigt. Soll- und Istzustand werden überlagert dargestellt. Eine Besonderheit stellt die automatisiert generierte Visualisierung der Montage anhand von CAD-Daten dar. Der Prototyp wurde im produktiven Betrieb an einem Arbeitsplatz eingesetzt und nach mehreren Monaten evaluiert. Im Beitrag werden die Evaluationsergebnisse mit denen einer Kontrollgruppe verglichen, um die Vorteile der AR-basierten Werkerführung herauszustellen. Die Kontrollgruppe nutzte ein Werkerinformationssystem. Für die folgende Ausbaustufe der Werkerführung soll das AR-Ausgabemedium in einer zweiten Studie evaluiert werden. Zusätzlich wird eine bilderkennungs-basierte Qualitätskontrolle implementiert, die die CAD-Daten nutzt, um die Werkerführung zum tutoriellen Assistenzsystem mit individuellem Feedback zu komplettieren.

**Schlüsselwörter:** Digitale Assistenz, Werkerassistenzsystem, Variantenvielfalt, Augmented Reality, Industrie 4.0, CAD

### **1. Einleitung**

Gesteigerte Kundenwünsche hinsichtlich Individualisierung führen zu immer komplexeren Produktvarianten und damit zu einer hoch flexiblen Produktion. Dadurch werden die Anforderungen an die Belegschaft immer größer (Roth 2016). Begleitet wird dies durch den strukturellen Wandel des Arbeitsmarktes und die dadurch bedingte Überalterung der Belegschaft. Die Anzahl an Fachkräften sinkt. Um diesen Entwicklungen entgegen zu wirken, müssen moderne Arbeitsplätze den Mitarbeitenden durch Assistenzsysteme unterstützen (Huber 2018). Neben den physischen spielen vor allem digital unterstützende Systeme eine zentrale Rolle – diese helfen den Angestellten kognitiv bei ihrer Arbeit. Die erste Ausbaustufe stellen

dabei Hilfssysteme dar, die den Mitarbeitenden vorhandenes Wissen in digitalisierter Form zur Verfügung stellen. Zu dieser Stufe zählt auch das von der Kontrollgruppe genutzte Werkerinformationssystem. Die zweite Ausbaustufe sind adaptive Assistenzsysteme, die situativ auf den Montagekontext reagieren. Wird situativ auf den Werkenden reagiert, spricht man von tutoriellen Assistenzsystemen (Apt et al. 2018). Das vorgestellte Werkerführungssystem hat diesen tutoriellen Ansatz zum Ziel, wurde jedoch im ersten Entwicklungsschritt als adaptives System entwickelt, da die Eignung von AR als Technologie für die adaptive Werkerführung evaluiert wird. Eine Vielzahl an Untersuchungen beschäftigen sich mit deren Einsatz in verschiedenen Branchen, unter anderem im industriellen Umfeld (Dey et al. 2018). Weiterhin lässt sich der Reifegrad der Technologie anhand des Gartner Hype Cycle verfolgen, in dem sie seit 2005 durchgehend bis zum Jahr 2018 vertreten ist. Der Wegfall im Jahr 2019 kann so interpretiert werden, dass die Technologie das Plateau der Produktivität erreicht hat (Hülsbömer 2021). Mehrere Laborstudien belegen ebenso die Eignung von AR für die Montage (Loch et al. 2016). Größte Besonderheit bei dem entwickelten Werkerführungssystem ist die automatisierte Erstellung der Inhalte aus bereits im PDM-System vorhandenen CAD-Daten. Diese werden dem Mitarbeitenden varianten- und schrittgetreu sowie in geometrisch richtiger Lage angezeigt.

## **2. Aufbau und Integration beider evaluierter Arbeitsplätze**

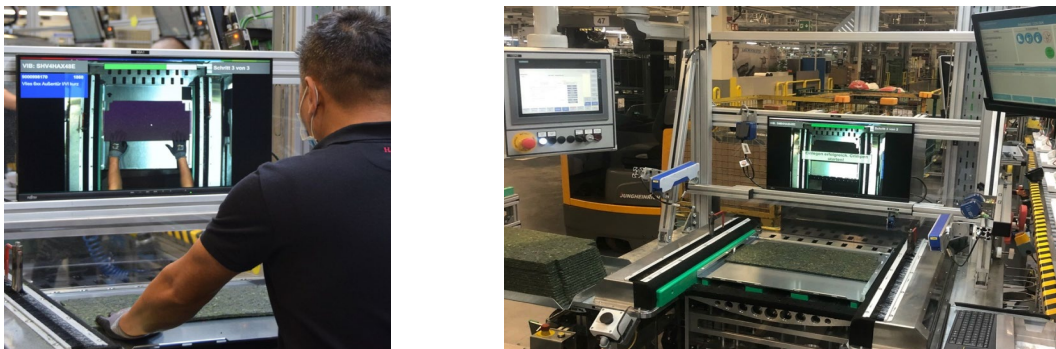
Um das neu geschaffene Werkerführungssystem einordnen zu können, wird es mit einem vorhandenen Werkerinformationssystem verglichen. Beide Systeme befinden sich am selben Arbeitsplatz (mit denselben Arbeitsinhalten), jedoch an unterschiedlichen Fertigungslinien. Die Eigenheiten beider Plätze hinsichtlich des Aufbaus, des Ablaufs und dem Assistenzsystem wird in den folgenden Kapiteln erklärt. An beiden Arbeitsplätzen werden Außentüren von Geschirrspülern montiert. Diese werden mit verschiedenen Materialien ausgestattet und anschließend an den Geschirrspüler an der Linie montiert. Die Taktzeit beträgt 30 Sekunden. Die Vormontage der Türen wird an einer eigenen Anlage durchgeführt, wobei variantenspezifisch zwischen zwei und vier Schritte ausgeführt werden. Daher hat dieser Arbeitsplatz eine Varianz von circa 100 Außentüren.

### **2.1 Arbeitsplatz mit Werkerinformationssystem**

Das Werkerinformationssystem zeigt dem Mitarbeitenden alle Materialien an, die an diesem Platz verbaut werden müssen. Dabei werden die Geschirrspüler, die direkt an der Linie gefertigt werden, gescannt und die Variante ermittelt. Dadurch werden dem Mitarbeitenden spezifisch für das Gerät, das in der Bandsequenz als nächstes montiert werden soll, alle notwendigen Informationen angezeigt. Gleichzeitig erfolgt ein Vergleich der einzelnen Bauteile des letzten Geschirrspülers, der an diesem Platz gefertigt wurde. Diese Anzeige muss der Mitarbeitende aktiv bestätigen. Er wird darauf aufmerksam gemacht, welche Bauteile sich verändert haben. Eine Überprüfung der verbauten Materialien erfolgt nicht. Es besteht keine Bindung zwischen Vormontage der Türe und dem aktuell zu fertigendem Gerät: Der Mitarbeitende kann also Türen vorfertigen und zwischenlagern. Häufig wird dies für Loswechsel genutzt. Die Vormontagestation wird vor jedem Wechsel durch einen Einrichter manuell für die nächste Variante gerüstet. Das System selbst ist bereits mehrere Jahre im Einsatz und wird stetig weiterentwickelt.

## 2.2 Arbeitsplatz mit Werkerführungssystem

Da die Anzahl an Varianten in Kombination mit den schnellen Loswechseln vor allem für neue Mitarbeitende nicht mehr zu beherrschen ist, wurde die Vormontageanlage mit einem adaptiven Werkerführungssystem ausgestattet. Dieses soll künftig zu einem tutoriellen Assistenzsystem erweitert werden. Aktuell werden dem Mitarbeitenden variantenbezogen alle Montageschritte in der richtigen Reihenfolge und mit in der geometrisch passenden Lage des Bauteils angezeigt. Legt der Mitarbeitende das Bauteil an der richtigen Stelle ein, wird es sensorisch erfasst und es wird zum nächsten Schritt weitergeschaltet. Eine Kontrolle des Bauteils findet dabei nicht statt. Die Herausforderung besteht darin, das Werkerführungssystem so zu gestalten, dass wenig Datenpflege notwendig ist. Es wurden für die Darstellung des Zielzustandes CAD- und Metadaten, die die Bauteilbeziehungen beschreiben, herangezogen, welche automatisiert eingepflegt werden. Für das automatische Rüsten der Anlage wurde der Ablauf geändert: Die Vormontageanlage wurde mit der Linie synchronisiert. Das zu fertigende Produkt startet die Werkerführung. Schließt der Mitarbeitende die Vormontage ab wird das Gerät freigegeben. Zeitgleich wurde die Vormontagestation mechanisch erneuert – die Anlage rüstet sich automatisch.



**Abbildung 1:** Werkerführungssystem. Links im laufenden Betrieb. Rechts in der Übersicht.

## 3. Versuchsaufbau und Studiendesign

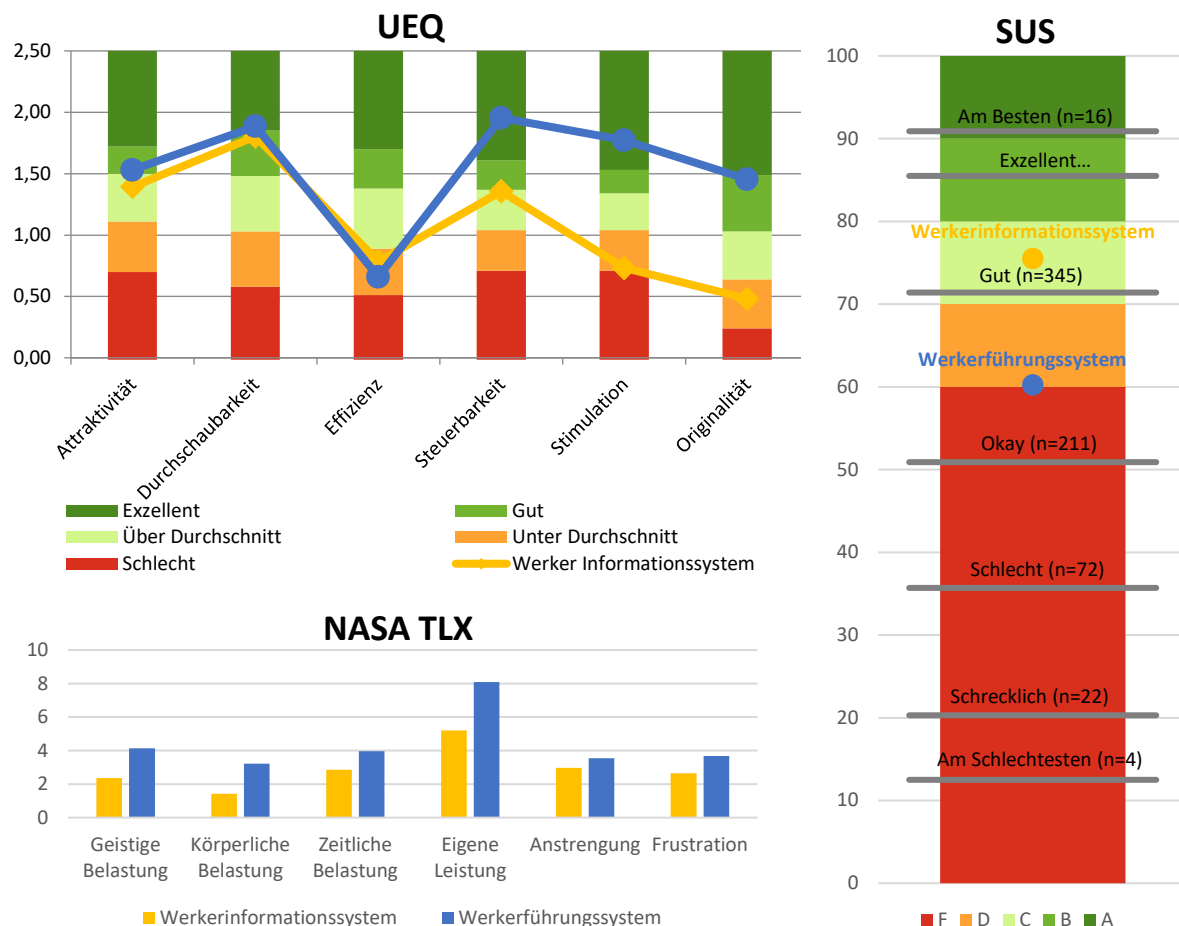
Zielsetzung dieser ersten Studie ist die Evaluation, inwiefern sich AR als Technologie für ein adaptives Werkerführungssystem eignet. Dazu wurden die Mitarbeitenden, die mit beiden Systemen mehrere Monate im Realbetrieb arbeiteten, befragt. Es wurde ein dreiteiliger Fragebogen aus standardisierten Fragen zur Gebrauchstauglichkeit, Nutzerfahrung sowie der Arbeitsbelastung erstellt. Der Fragebogen bezieht sich auf die kognitiven Systeme. Die Mitarbeitenden wurden für die Beantwortung der Fragen während ihrer Schicht abgelöst und von einem Versuchsleiter unterstützt.

**Tabelle 1:** Versuchsaufbau

	<b>Werkerführungssystem</b>	<b>Werkerinformationssystem</b>
Probandengruppe	Mitarbeitende an der Linie	Mitarbeitende an der Linie
Anzahl an Probanden	11	14
Geräte pro Proband	Ungefähr 7.500	Mehr als 7.500
Einsatzzeitraum	4 Monate <	4 Jahre <
Gebrauchstauglichkeit	Fragebogen nach dem System Usability Scale (SUS)	
Nutzererfahrung	Fragebogen nach User Experience Questionnaire (UEQ)	
Arbeitsbelastung	Fragebogen nach dem NASA Task Load Index (NASA TLX)	

#### 4. Ergebnisse der durchgeführten Befragung

Die variantenindividuelle Kontextinformation für die Montageschritte wird adaptiv, also für die gerade zu montierende Variante, generiert. Daher wird auf einige klassische Elemente wie spezielle Montageanweisungen, die aus ähnlichen kognitiven Assistenzsystemen bekannt sind, verzichtet. Es stellt sich die Frage, wie das System hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit sowie Nutzerfahrung vom Werkenden wahrgenommen wird. Beide ausgewählten Fragebögen verwenden eine Likert-Skala. Es lässt sich daher keine absolute Einordnung der Ergebnisse vornehmen.



**Abbildung 2:** Ergebnisse der Umfrage

Damit eine Einordnung der erzielten Ergebnisse getroffen werden kann, werden zum Vergleich die durchschnittlich erreichten Werte aus anderen Studien herangezogen. Für den UEQ erfolgt dabei der Vergleich mit den von Schrepp (2019) veröffentlichten Werten für den Bereich von Business-Software, hierfür wurden insgesamt 158 Produkte evaluiert. Bei der Bewertung des SUS wird zum einen die Einordnung in ein klassisches Notensystem vorgenommen. Zum anderen erfolgt eine Zuordnung zu Begriffen nach Bangor et al. (2009). Hier wurden SUS-Umfragen mit Begriffspaaren durchgeführt und so eine Korrelation zum erreichten SUS-Score hergestellt. Zusätzlich ist die Häufigkeitsverteilung der Antworten angegeben. Um die Arbeitsbelastung zu überprüfen wurde darüber hinaus der NASA-TLX Fragebogen herangezogen. Da die beiden Systeme dieselben Arbeitsinhalte unterstützen, stellt sich die Frage, ob das Werkerführungssystem aufgrund seiner höheren Evolutionsstufe zu einer Reduzierung der Arbeitsbelastung führt.

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse diskutiert. Dabei ist festzuhalten, dass die erreichten Werte aufgrund der geringen Teilnehmerzahl lediglich einen Hinweis auf Schwächen der Systeme liefern. Die praxisnahe Befragung führt zu zusätzlichen Herausforderungen. Den Mitarbeitenden fällt es schwer, die Assistenzsysteme unabhängig von mechanischem und elektrischem Aufbau des Platzes zu bewerten.

### 5.1 UEQ

Der UEQ erreicht beim Werkerführungssystem eine überdurchschnittliche Bewertung. Bei Attraktivität und Durchschaubarkeit erreichen beide Systeme ähnliche Werte. Die Steuerbarkeit wird hingegen beim Werkerführungssystem besser bewertet. Dies lässt sich damit erklären, dass das System im Regelbetrieb ohne Eingriff der Mitarbeitenden arbeitet. Das deutlich bessere Ergebnis beim Kriterium der Stimulation lässt sich durch die bessere Informationsdarstellung erklären. Dem Mitarbeitenden wird mehr Information über den Arbeitsschritt dargestellt als beim Informationssystem. Die überdurchschnittlich bewertete Originalität kann darauf zurückgeführt werden, dass das Werkerführungssystem als innovativ wahrgenommen wird.

Bei beiden Systemen wird eine unterdurchschnittliche Leistung hinsichtlich der Effizienz erreicht. Für das Werkerinformationssystem lässt sich dies durch die ständig notwendige Aufmerksamkeit des Mitarbeitenden erklären. Der Mitarbeitende muss jeden Loswechsel aktiv bestätigen, dadurch wird der Arbeitsfluss gestört und der Mitarbeitende aus seinem Arbeitstakt gebracht. Für das Werkerführungssystem wurde der Ablauf des Arbeitsplatzes geändert. Die Mitarbeitenden können nur noch im 1:1 Bezug zur Linie fertigen. Dies wirkt sich nachteilig auf die Flexibilität und die Effektivität des Platzes aus. Die Türen können nicht mehr vorgefertigt werden. Dies hat eine erhöhte Belastung der Mitarbeitenden zur Folge. Gleichzeitig wird eine Qualitätssteigerung erreicht, da keine variantenfremden Türen montiert werden können.

### 5.2 SUS

Hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit zeigt sich, dass das Werkerinformationssystem bessere Werte erreicht. Dies lässt sich damit erklären, dass das System länger im Einsatz ist. Die Mitarbeitenden kennen das System seit ca. vier Jahren, die Eingewöhnungsphase ist abgeschlossen. Weiterhin hat das Werkerinformationssystem einen besseren Reifegrad: es ist ein fertiges Produkt, dass mehrere Optimierungsschleifen durchlaufen hat. Dagegen befindet sich das Werkerführungssystem noch im Status eines Prototyps. Während des Einsatzes kam es zu Fehlern, da CAD-Daten für einzelne Varianten nicht vorhanden waren. Zusätzlich konnten nicht alle Bauteile per Sensor abgefragt werden, so dass Arbeitsschritte zeitbasiert weitergeschaltet wurden.

Werden die einzelnen Fragen des SUS untersucht, zeigt sich die größte Differenz bei der Frage nach Systeminkonsistenzen. Das Werkerführungssystem ist gut in den Arbeitsplatz integriert. Mit insgesamt drei Bildschirmen leidet jedoch die Übersichtlichkeit am Montageplatz. Für das System wurde ein zweiter Monitor verbaut und das Bedienpanel für die Vormontagestation besitzt ebenso eine Anzeige. Die Informationen sind für den Mitarbeitenden wenig überschaubar. Zur Lösung des Problems ist deshalb eine Evaluation verschiedener AR-Ausgabemedien geplant.



### 5.3 NASA TLX

Die Ergebnisse des NASA TLX zeigen, dass die Arbeitsbelastung nicht gesenkt werden konnte. Das Werkerführungssystem zeigt über alle Kriterien hinweg höhere Werte. Dies lässt sich mit dem geänderten Ablauf des Arbeitsplatzes erklären. Durch den geänderten Arbeitsablauf entsteht beim Loswechsel eine höhere Spitzenbelastung der Mitarbeitenden. Betrachtet man jedoch die Zufriedenheit der Mitarbeitenden mit ihrer eigenen Leistung, zeigt sich ein konträres Bild. Sie sind mit dem Werkerführungssystem zufriedener. Hierin zeigt sich das große Potential von AR-Technologien, besonders wenn diese fehlerfrei integriert sind. Der Mitarbeitende ist sich bei der Ausführung seiner Arbeit sicherer, da er keine Materialnummern mehr kontrollieren muss. Er kann visuell überprüfen, welche Teile er verbauen muss.

## 6. Fazit und Ausblick

Die durchgeführte Befragung konnte zeigen, dass das entwickelte Werkerführungssystem auf Basis von Augmented Reality in der Lage ist, den Mitarbeitenden bei seiner Arbeit gewinnbringend adaptiv zu unterstützen. Das zeigt vor allem die überdurchschnittliche Nutzererfahrung. Hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit wird aber deutlich, dass Verbesserungen notwendig sind.

Vor allem hinsichtlich des Ausgabemediums soll ein weiterer Probandenversuch zeigen, ob es Alternativen zu einem Monitor gibt. Es soll untersucht werden, welche Darstellungsform den Mitarbeitenden nicht mit Informationen überflutet. Die Ergebnisse der Fragebögen zeigen, dass die Integration eines Werkerführungssystems in einen Arbeitsplatz genauer untersucht werden muss. Das System liefert den Mitarbeitenden an einer getakteten Montage erst dann einen Mehrwert, wenn sein Arbeitsablauf nicht durch das System gestört wird. Aufgrund der gesammelten überdurchschnittlichen Ergebnisse des UEQ wird das Werkerführungssystem weiterentwickelt und eine bildbasierte Erkennung der Bauteile soll, für den Ausbau zum tutoriellen Assistenzsystem, integriert werden.

## 7. Literatur

- Roth A (2016) Industrie 4.0 – Hype oder Revolution?. In: Roth A. (eds) Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- Huber W (2018) Neue Unternehmen und Führungskräfte. In: Industrie 4.0 kompakt – Wie Technologien unsere Wirtschaft und unsere Unternehmen verändern. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Apt W, Schubert M, Steffen W (2018) Digitale Assistenzsysteme, Institut für Innovation und Technik (iit), Berlin, ISBN-13:978-3-89750-181-2.
- Dey A, Billinghurst M, Lindeman R, Swan J (2018) A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014. *Frontiers in Robotics and AI*.
- Hülsbömer S (2021) Gartner-Trends im Reality Check, Computerwoche. Aufgerufen am 04. Dezember, 2021. <https://www.computerwoche.de/a/gartner-trends-im-reality-check>.
- Loch F, Quint F, Brishtel I (2016) Comparing Video and Augmented Reality Assistance in Manual Assembly, 2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE), London.
- Schrepp M (2019). User Experience Questionnaire Handbook.
- Bangor A, Kortum P, Miller J (2009) Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J. Usability Stud.* 4, 114-123.



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](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

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