

## **Digitale Vernetzung von Arbeitsprozessen zur Integration von digitalen Assistenzsystemen – Evaluierung an realen Anwendungsfällen**

Tobias RUSCH<sup>1</sup>, Alexander ENGELBRECHT<sup>2</sup>, Maximilian KÖNIG<sup>3</sup>, Robin SOCHOR<sup>3</sup>,  
Klaus FINK<sup>3</sup>, Florian KERBER<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH  
Fritz-Hopf-Straße 1, D-86720 Nördlingen*

<sup>3</sup> *Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV  
Am Technologiezentrum 10, D-86159 Augsburg*

**Kurzfassung:** Im Rahmen des Projekts SynDiQuAss arbeitet ein Konsortium aus Forschung und Industrie gemeinsam an der Integration digitaler Assistenzsysteme an bislang manuellen Montagearbeitsplätzen. Dazu wurde mittels eines partizipativen Vorgehensmodells und industrieller Anwendungsszenarien ein modularer Systemarbeitsplatz mit einer Softwareplattform als zentraler Schnittstelle für die anzubindenden Assistenzsystemtechnologien aufgebaut. Das Gesamtsystem wurde in mehreren Praxistests nach Akzeptanz und Nutzerfreundlichkeit physischer und kognitiver Assistenzsysteme evaluiert. Zudem wurden für die Bewertung der Produktivitätsauswirkungen die Montagezeiten für unterschiedlich erfahrene Probandengruppen ausgewertet und Rückschlüsse auf die tutorielle Funktion der eingesetzten Assistenzsysteme gezogen. Als weiteres Bewertungskriterium wurde durch eine Prozess-FMEA die Sicherheit und Qualität der Montageprozesse vor und nach der Integration der Assistenzsysteme untersucht. Zusammenfassend konnten so Produktivitätsfortschritte und Qualitätsverbesserungen aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Technologien nachgewiesen werden, die zudem die positiven Ergebnisse der Akzeptanz- und Nutzerfreundlichkeitsuntersuchungen bestätigen.

**Schlüsselwörter:** Digitale Assistenz, kollaborierende Robotik, Montage, FMEA, Variantenvielfalt, Industrie 4.0

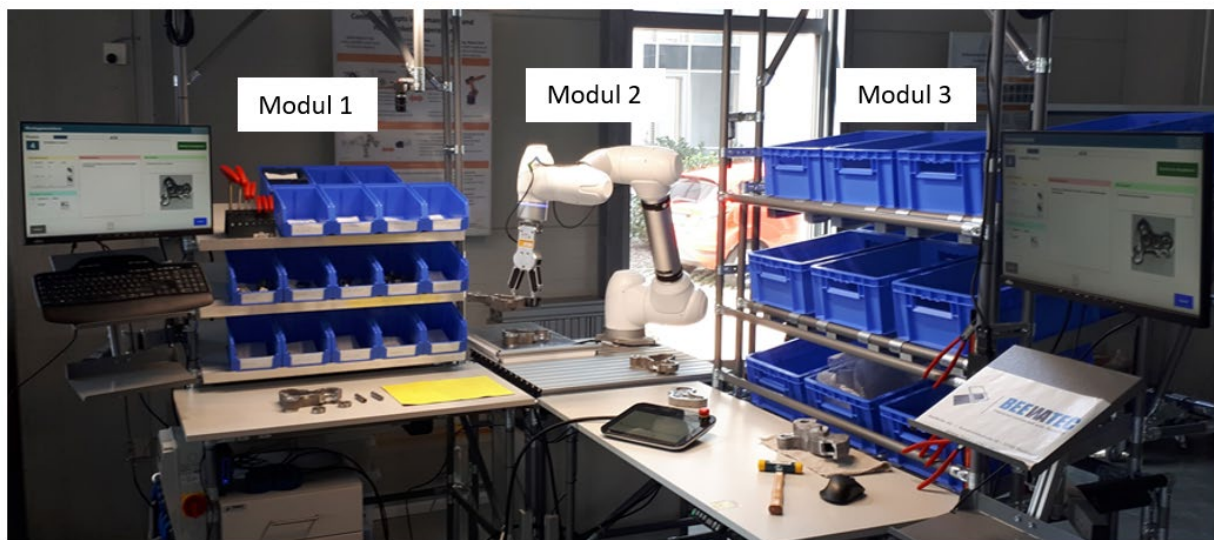
### **1. Einführung**

Durch den immer noch zunehmenden Fachkräftemangel (Manpower Group 2015) sind vor allem kleinere Unternehmen einem wachsenden wirtschaftlichen Druck ausgesetzt. Trotz einer großen Produktvielfalt und kleiner Losgrößen müssen Qualität und kurze Lieferfristen gewährleistet werden (Reinhart et al. 2015). Besonders im Bereich der Montage mit oftmals komplexen und vielfältigen Prozessschritten werden die Erfahrung und die individuellen Fähigkeiten qualifizierter Fachkräfte benötigt (Bannat 2014). Digitale Assistenzsysteme bieten verschiedene Möglichkeiten, diese Fähigkeiten zu unterstützen und zu einem effektiveren Arbeitsablauf beizutragen (Sochor et al. 2019). Physische Assistenzsysteme, beispielsweise kollaborative Roboter, übernehmen selbstständig oder durch Interaktion mit dem Menschen Handhabungs- und Fügeaufgaben, während kognitive Assistenzsysteme Informationen über den Produkti-

onsprozess liefern und dabei multimodale Interaktionsformen zur Kommunikation nutzen (Kleineberg et al. 2017). Die Entwicklung von Assistenzsystemen wird im Zuge der digitalen Transformation und Vernetzung der Produktion als ein wichtiges Handlungsfeld angesehen (Hinrichsen et al. 2017). Die Entwicklung und Evaluierung digitaler Assistenzsysteme ist ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt im Projekt SynDiQuAss. Dazu wurden verschiedene Assistenzfunktionalitäten in bestehenden Arbeitsplätze im Bereich der bisher manuellen Montage integriert. Der Fokus lag dabei auf der systematischen Auswahl geeigneter Komponenten zur kognitiven und physischen Assistenz und deren Applizierung an spezifizierten Arbeitsplätzen für die Montage variantenreicher Produktfamilien, die exemplarisch aus den Anwendungsfällen der beteiligten mittelständischen Industriepartner ausgewählt wurden. Bei diesem Vorgehen wird großer Wert auf die Einbindung der Mitarbeiter bei der Optimierung der einzelnen Funktionalitäten gelegt, um so Akzeptanz für die Nutzung dieser Systeme zu fördern. Das bei Fink et al. (2020) detaillierter beschriebene partizipative Vorgehensmodell spielt im Projektverlauf für die Integration der Assistenzsysteme eine tragende Rolle, um insbesondere die Schnittstellen der Mensch-Maschine-Interaktion bedarfsgerecht auszulegen.

## 2. Spezifizierte Montagearbeitsplätze mit integrierten Assistenzsystemen

Das Konzept für den im Projekt SynDiQuAss aufgebauten Demonstratorarbeitsplatz entstand in Anlehnung an die in den Unternehmen verwendeten Systemarbeitsplätze. Der Arbeitsplatz wird nach dem in Sochor et al. (2019) beschriebenen Modulkonzept aufgebaut, siehe Abbildung 1.



**Abbildung 1:** Demonstratorarbeitsplatz aus dem Projekt SynDiQuAss

Die einzelnen Module haben ein betriebsspezifisch anpassbares Standardformat und können so leicht ausgetauscht bzw. in ihrer Reihenfolge zueinander verändert werden. So kann der Arbeitsplatz bei Bedarf schnell an die wechselnden Anforderungen angepasst und im Rahmen von teilautomatisierten und digital unterstützten Montagekonzepten vernetzt werden. Wie bei Rusch & Kerber (2019) beschrieben, wurde der Montageprozess für die bei den Industriepartnern ausgewählten Produktfamilien eines Präzisionsgetriebes bzw. Flugzeugsitzelements dazu formal modelliert. Unter

Verwendung des Strukturmodells der Produktfamilie werden dabei die notwendigen Handhabungsschritte (Aktionen), die zu jeweils zu montierenden Einzelteile bzw. Unterbaugruppen sowie die benötigten Werkzeuge (Ressourcen) für jeden Prozessschritt verknüpft und variantenindividuell in einem Softwaresystem repräsentiert (Rusch et al. 2020). Für jeden einzelnen Montageschritt des Modells werden standardmäßig als kognitive Assistenz alle Ressourcen visuell dargestellt und deren Anordnung im Montagearbeitsplatz über das Pick-by-Light-System angezeigt. Optional kann eine physische Assistenzfunktion pro Montageschritt ausgewählt werden. Der modulare Aufbau des Gesamtarbeitsplatzes ermöglicht es, die digitalen Assistenzfunktionen speziell auf die jeweiligen Arbeitsbereiche auszulegen. Ein zentraler Bestandteil des Arbeitsplatzes ist die im Projekt entwickelte Softwareplattform zur daten- als auch aktorgetriebenen Repräsentation des Montageprozesses. Diese liefert die steuerungstechnischen Schnittstellen zu den einzelnen Assistenzsystemen (Rusch et al. 2020).

### 3. Evaluierungskonzept

Der dargestellte Demonstratorarbeitsplatz wurde an die Anwendungsfälle adaptiert, die bei den beiden Industriepartnern ausgewählt wurden, und jeweils im Realbetrieb evaluiert. Im Anwendungsszenario 1 wurden jeweils sieben Exemplare einer Variante des Präzisionsgetriebes von drei Probandengruppen mit unterschiedlichen Vorerfahrungen montiert. Nach Abschluss der bis zu dreistündigen Evaluationszeit wurden mit standardisierten Fragebögen Nutzerakzeptanz und Gebrauchstauglichkeit geprüft. Zusätzlich wurden die Montagezeiten jeder Versuchsperson erfasst und anonymisiert ausgewertet.

**Tabelle 1:** Evaluationskonzept

	Anwendungsszenario 1			Anwendungs-szenario 2
Probanden-gruppen	Studierende und Auszubildende	Fachkräfte mit < 1 Jahr Berufserfahrung	Fachkräfte mit > 1 Jahr Berufserfahrung	Fachkräfte mit >1 Jahr Berufserfahrung
Gesamtzahl	12	8	9	5
Produkt	Präzisionsgetriebe			Flugzeugsitzelement
Anzahl und Varianten	sieben identische Exemplare			jeweils unterschiedliche Varianten
Zeitdauer	2-3 Stunden			Mehrere Schichten à 7 Stunden
Technologieakzeptanz	Fragebogen nach Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)			
Gebrauchstauglichkeit	Fragebogen nach System Usability Scale (SUS)			
Produktivitätsbewertung	Montagezeiterfassung am Demonstratorarbeitsplatz			entfällt
	Prozess-FMEA am Systemarbeitsplatz			
	Prozess-FMEA am Demonstratorarbeitsplatz			
	Investitionskostenrechnung			

Die Prozesssicherheit wurde für den bisher genutzten Systemarbeitsplatz sowie den Demonstratorarbeitsplatz mit Hilfe einer Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) bewertet. Eine quantitative Investitionskostenrechnung rundete die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ab. Im Anwendungsszenario 2 wurden jeweils unterschiedliche Varianten eines Flugzeugsitzelements über mehrere siebenstündige Schichten während eines

mehrmonatigen Gesamtzeitraums von einer Gruppe von fünf qualifizierten Fachkräften montiert. Die Technologieakzeptanz und Gebrauchstauglichkeit wurde nach der ersten Schicht sowie nach dem letzten Durchlauf mit dem gleichen standardisierten Fragebogen getestet. Tabelle 1 fasst das Evaluierungskonzept für beide Anwendungsszenarien sowie die verwendeten Methoden zusammen.

#### 4. Evaluierungsergebnisse

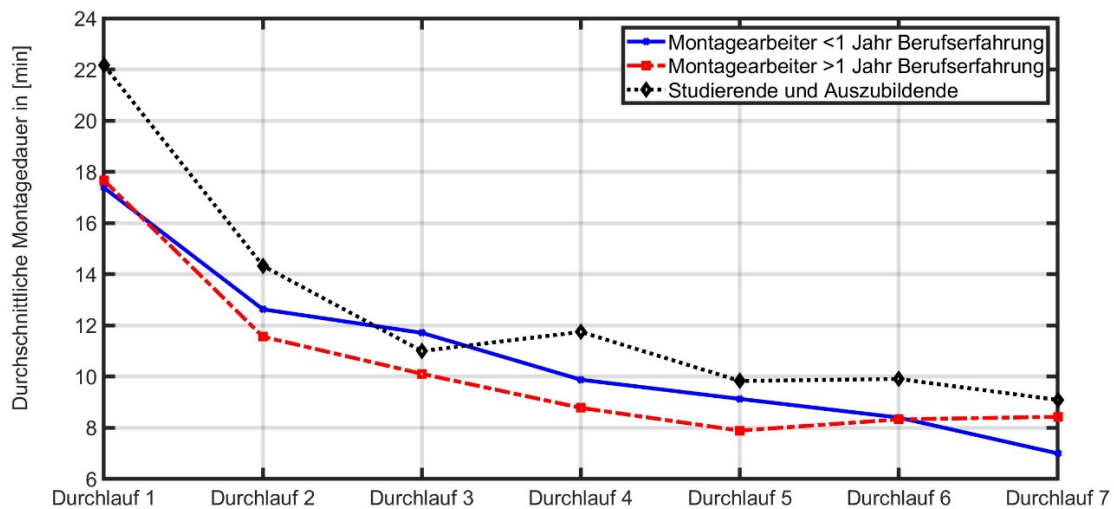
Die Ergebnisse der Technologieakzeptanz- und Gebrauchstauglichkeitsanalyse für Anwendungsszenario 1 wurden bereits in Fink et al. (2020) veröffentlicht. Als wesentliche Ergebnisse wurde darin die Auswahl und Integration der kognitiven und physischen Assistenzsysteme positiv beurteilt. Dabei blieb nach Einschätzung aller Probandengruppen die Kontrolle über den Montageprozess beim Ausführenden erhalten, wobei die notwendigen prozessspezifischen Informationen vom System zur Verfügung gestellt werden. Die Auswertung des zweiten Anwendungsszenarios erfolgte zu unterschiedlichen Zeitpunkten, um Langfristeffekte der Nutzung besser beurteilen zu können. Die Probanden beschränkten sich auf eine Gruppe qualifizierter Fachkräfte, da das Gesamtsystem im Realbetrieb getestet wurde und die montierten Flugzeugsitzelemente an Kunden ausgeliefert wurden. Tabelle 2 zeigt, dass bei Verwendung einer Likert-Skala (1 = stimme zu; 2 = stimme eher zu; 3 = weder noch; 4=stimme eher nicht zu; 5= stimme nicht zu) die Einfachheit der Bedienung des Systems sowie die Verbesserung der Arbeitssicherheit nach längerem Gebrauch noch positiver bewertet wird. Dagegen verschlechtert sich die Bewertung der Frage nach dem dauerhaften Nutzen sowie der Bereitstellung der notwendigen Informationen für den Montageprozess. Die kleine Stichprobengröße von nur fünf Probanden schränkt die Aussagekraft dieses Ergebnisses ein. Durch Untersuchung weiterer Anwendungsszenarien in der Verwertungsphase nach Projektende sollen die Kritikpunkte deshalb detaillierter ausgewertet werden. Als erste Maßnahme soll ein Expertenmodus für die kognitive Assistenz entstehen, der die Informationsbereitstellung für erfahrene Nutzer adaptierbar macht.

**Tabelle 2:** Auszug aus dem Fragebogen mit Auswertungsergebnissen der beiden Testzeitpunkte

Fragen	1.Testzeitpunkt (Mittelwerte)	2. Testzeitpunkt (Mittelwert)
Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.	1,40	2,20
Ich empfinde das System als unnötig komplex.	4,40	4,60
Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.	1,40	1,20
Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	2,00	1,80
Meine Vorgesetzten sind davon überzeugt, dass ich das System verwenden muss.	1,60	3,00
Ich habe das Gefühl die Kontrolle über das System zu haben.	1,40	1,60
Ich erhalte von dem System alle notwendigen Informationen.	1,80	2,20

Die Produktivitätsbewertung erfolgt im Projekt anhand quantifizierbarer und nicht quantifizierbarer Kriterien. Die quantifizierbaren Kriterien beruhen dabei auf monetär messbaren Werten und zeigen die Kostenstrukturen eines digitalisierten Systemarbeitsplatzes. Nicht direkt quantifizierbare Effekte liefern der Vorher-Nachher-Vergleich

der Prozesssicherheit sowie die Auswertung der Montagezeiten zur Ermittlung von Lerneffekten. Abbildung 2 zeigt die Auswertung der Montagezeiten aus Anwendungsszenario 1. Dabei zeigte sich, dass bei allen Versuchspersonen die Montagezeiten im Vergleich zwischen erstem und siebtem Durchlauf deutlich verkürzt waren. Es ist anzunehmen, dass ein Gewöhnungseffekt durch die Wiederholung desselben Prozesses unabhängig von den integrierten Assistenzsystemen auftritt. Bemerkenswert ist jedoch, dass zum Ende der Versuchsreihe die Gruppe der Studierenden und Auszubildenden, die keinerlei Vorerfahrung mit der Montage hatten, ähnliche Montagezeiten wie berufserfahrene Fachkräfte erzielen und eine Variante des Präzisionsgetriebes in unter zehn Minuten montieren können. Somit verkürzt das Gesamtsystem die Einlernzeit und bestätigt seine tutorielle Funktion, die für den Einsatz von unqualifizierten Kräften bei Auftragsschwankungen genutzt werden kann. Zeitevaluierungen für den bestehenden Systemarbeitsplatz standen aus Datenschutzgründen leider nicht zur Verfügung.



**Abbildung 2:** Montagezeiten nach Durchläufen und Probandengruppen

Zur Analyse der Veränderungen bei der Prozesssicherheit wurde im Projekt eine vergleichende Analyse der Fehlerfälle und deren Auswirkungen auf den gesamten Montageprozess für den bisherigen Systemarbeitsplatz sowie den Demonstratorarbeitsplatz durchgeführt. Diese „Failure Mode and Effects Analysis“ (FMEA) oder deutsch „Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse“ (Decker & Tietjen 2020) ermittelt für jeden einzelnen Montageschritt mögliche Risiken, die sich aus dem Produkt der Fehlerschwere und Auftretenswahrscheinlichkeit ergeben. Dabei treten gerade die Stärken der Digitalisierung in Form von Dokumentation und Qualitätssicherung hervor. Die Risikoprioritätszahlen konnten durch den Einsatz der digitalen Assistenzsysteme an vielen Stellen deutlich verbessert werden.

Für die quantitative Produktivitätsmessung wurde ein Konfiguratortool entwickelt, das die individuellen Kosten bestimmt und mit den vorherigen Investitionen für einen produktspezifischen Systemarbeitsplatz vergleicht. Die Anschaffungs- bzw. Ausstattungskosten des Arbeitsplatzes mit digitalen Assistenzsystemen steigert die auftretenden Investitionen, dies eröffnet im Gegenzug Rationalisierungspotenziale. Die digitale Unterstützung reduziert die Einlernphase bei der Montage der Produkte für neue Mitarbeitern und erleichtert den Werkern die Umstellung bei häufigen Produkt- und Variantenwechseln aufgrund der kleineren Losgrößen der einzelnen Aufträge. Die hohe

Variantenvielfalt bleibt so beherrschbarer, geringe Losgrößen werden wirtschaftlicher und die verkürzte Anlern- und Umstellungszeit senkt die Durchlaufzeiten. Dadurch sinken die Personalkosten pro Stück und die Produktivität der Montage steigt. Aus den Daten des Anwendungsszenario 1 werden die erwarteten Einsparungen errechnet und im Anschluss mit den Mehrkosten zum bisherigen Montagearbeitsplatz verrechnet. Im Beispiel des Demonstrator-Arbeitsplatzes ermittelt sich eine Einsparung von 7.286,60 Euro im Jahr im Vergleich zu einem bisher verwendeten Systemarbeitsplatz ohne digitale Assistenzsysteme. Die genaue Beschreibung des Konfiguratortools erfolgt in einer weiteren Veröffentlichung.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Der als Ergebnis des Forschungsprojekts SynDiQuAss entstandene modulare Montagearbeitsplatz hat in der Praxisevaluation bewiesen, dass die erwarteten Vorteile durch ein partizipatives Vorgehensmodell bei dessen Entwicklung und Auslegung in vielen Aspekten erreicht werden können. Das methodische Vorgehen lässt eine Übertragung auf andere Produktfamilien und Branchen zu. Die unter Berücksichtigung der Evaluierungsergebnisse gewonnenen Erkenntnisse sollen deshalb interessierten Anwendungspartnern zur Verfügung gestellt werden. Dadurch können auch offengebliebene Forschungsfragen wie die automatisierte Generierung von Prozessbeschreibungen für beliebige Varianten einer Produktfamilie und die dadurch bedingte Anpassung physischer Assistenzfunktionen vertieft werden.

## 6. Literatur

- ManpowerGroup GmbH (2015). Studie Fachkräftemangel. Eschborn.
- Reinhart G, Scholz-Reiter B, Wahlster W, Wittenstein M, Zühlke D (2015) Intelligente Vernetzung in der Fabrik. Fraunhofer Verlag, 337-349.
- Bannat A (2014) Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. Dissertation TU München, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation.
- Sochor R, Riegel A, Merhar L, Rusch T, Merkel L, Kerber F, Braunreuther S, Reinhart G (2019) Kognitive und physische Assistenz in der Montage. In Werkstatttechnik online 109 Nr. 3, 122-127.
- Kleineberg T, Hindrichsen S, Eichelberg M, Busch F, Brockmann D, Vierfuß R (2017) Leitfaden: Einführung von Assistenzsystemen in der Montage. Hochschule Ostwestfalen-Lippe.
- Hinrichsen S, Riediger D, Unrau A (2017) Anforderungsgerechte Gestaltung von Montageassistenzsystemen. URL: <http://refablog.de/gestaltungvonmontageassistenzsystemen>.
- Fink K, Rusch T, Merkel L, Sochor R, Kerber F, Reinhart, G (2020) Ein Vorgehensmodell zur Prozessevaluierung zur Integration ausgewählter kognitiver und physischer Assistenzsysteme am Montagearbeitsplatz 4.0 im Mittelstand. GfA Frühjahrskongress 2020, Berlin, Beitrag B.18.5.
- Rusch T, Kerber F (2019) Prozessmodellierung zur Integration von Assistenzsystemen an Montagearbeitsplätzen. In: GfA, Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2019, Beitrag C.9.7.
- Rusch T, Steuer J, König M, Sochor R, Fink K, Stelzle B, Romanelli M, Kerber F (2020) Tool-based automatic generation of digital assembly instructions. 14th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '20.

**Danksagung:** Das Vorhaben SynDiQuAss, Förderkennzeichen 01FI16001, wird im Rahmen des Programms "Zukunft der Arbeit" vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds gefördert.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)  
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)  
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021**

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum  
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2021  
ISBN 978-3-936804-29-4

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**

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

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