

Entwicklung, Erprobung und Evaluation einer Qualifizierungsmaßnahme zur MRK-Sensibilisierung von Auszubildenden in der Automobilindustrie

Stefan BRÄMER¹, Lars MÜLLER², Kathleen DELANG³, Felix ERLER⁴

¹ *Professur für Technische Bildung und ihre Didaktik,
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg*

² *Berufsschulzentrum des Landkreises Stendal
Schillerstraße 4, D-39576 Stendal*

³ *Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainerstraße 88, D-09126 Chemnitz*

⁴ *Automotive Cluster Ostdeutschland GmbH
August-Bebel-Straße 73, D-04275 Leipzig*

Kurzfassung: Die gegenwärtigen und zukünftigen Megatrends in unserer Gesellschaft haben nicht nur Auswirkungen auf industrielle Produktionsmethoden und Produkte, sondern auch auf die Arbeitswelt und Menschen in ihrem persönlichen Arbeitsalltag. Kennzeichnend für eine künftige Industrieproduktion ist eine hohe Individualisierung von Produkten und einer daraus schlussfolgernden flexiblen Serienproduktion, um die wettbewerbsfähig in einer globalisierten Welt zu sichern. Eine Technologie, die in dieser Zeit in den Vordergrund rückt, ist die Mensch-Roboter-Kollaboration. Sie gilt als eine der Schlüsseltechnologien im Rahmen der Industrie 4.0 und steht für direkte Zusammenarbeit von Menschen und Robotern ohne trennende Schutzeinrichtungen. Mit der Einführung einer neuen Technologie, stellt sich die Frage, wie die Facharbeiter*innen und Auszubildenden für die Technologie sensibilisiert werden können. Der vorliegende Beitrag beschreibt eine im Rahmen des Projekts „QualiKoBot“ entwickelte, erprobte und evaluierte Qualifizierungsmaßnahme für Auszubildende zur kollaborativen Robotik.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kollaboration, Ausbildung, Zusatzqualifizierung, Akzeptanz, Industrie 4.0, Robotik

1. Einleitung und Ausgangssituation

Kennzeichnend für eine künftige Industrieproduktion ist eine hohe Individualisierung von Produkten und einer daraus schlussfolgernden flexiblen Serienproduktion, um die wettbewerbsfähig in einer globalisierten Welt zu sichern (Gerdenitsch & Korunka 2019). Unter dem Stichwort „Smart Factory“ können somit Losgrößen von eins und personalisierten Produkten unter optimalen wirtschaftlichen Bedingungen gefertigt werden. Dabei zählt die Automobilindustrie mit ihren dazugehörigen Produktionsbereichen und ihrer Wertschöpfungskette zu den Pionieren im Kontext einer Industrie 4.0 (Zinke et al. 2017).

Genauso rasant entwickelt sich seit den 1970er Jahren die Robotertechnik. Dabei steht der Begriff Roboter für massige, hydraulisch betriebene Maschinen, die in Produktionsanlagen schwere Tätigkeiten verrichten (Fryman & Matthias 2012). In den

1990er Jahren hatte sich der Industrieroboter in der Produktion als klassisches Arbeitsmittel verbreitet und wurde damals als eine Revolution im industriellen Zeitalter gesehen (Schraft 2003). Um das Gefährdungspotenzial der Industrieroboter zu minimieren wird das gesamte Robotersystem in eine Roboterzelle mit einer Umhausung verpackt. Diese Umhausungen sind Schutzzäune, die eine physische Barriere zwischen dem Menschen und Roboter schaffen. Durch die zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen und wechselnde Geometrien der Bauteile verliert der klassische Industrieroboter seine Flexibilität und ist meist nur in der Serienfertigung anzutreffen. Vermehrt werden Automatisierungslösungen benötigt, die anpassungsfähiger an verschiedene Applikationen sind und ein vielfältigen Einsatz erlauben, ohne bei geringfügiger Änderung in der Anwendung nach einer kompletten Neuentwicklung des Robotersystems zu verlangen (Delang et al. 2016). Roboter werden demzufolge eingesetzt, wenn sie Kostenersparnisse gegenüber manueller Tätigkeit erzielen, sowie weniger Ausschuss und Nacharbeit produzieren und dabei geringere Takt- und Umrüstzeiten durch eine flexible Produktion gewährleisten. Bei kollaborierenden Robotern kommen für die fünf identifizierten Aufgabenarten Informationsaustausch, Präzision, Entlastung, Transport und Manipulation zusätzliche Vorteile einer direkten Interaktion von Bediener*in und Maschine hinzu (Müller et al. 2020). Eine Technologie, die in diesem Zusammenhang immer wieder genannt wird, ist die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK). Sie gilt als eine der Schlüsseltechnologien im Rahmen der Industrie 4.0 und steht für direkte Zusammenarbeit von Menschen und Roboter ohne trennende Schutzeinrichtungen.

2. Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Ein Roboter ist ein programmierbares Mehrzweck-Handhabungsgerät für das Bewegen von Material, Werkstücken, Werkzeugen oder Spezialgeräten, wobei sein frei-programmierbarer Bewegungsablauf verschiedene Aufgaben und Einsatzmöglichkeiten zulässt (O'Regan 2018). Industrieroboter sind nach der VDI-Richtlinie 2860 „[...] universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d.h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen [...]“ (VDI 2860 1990).

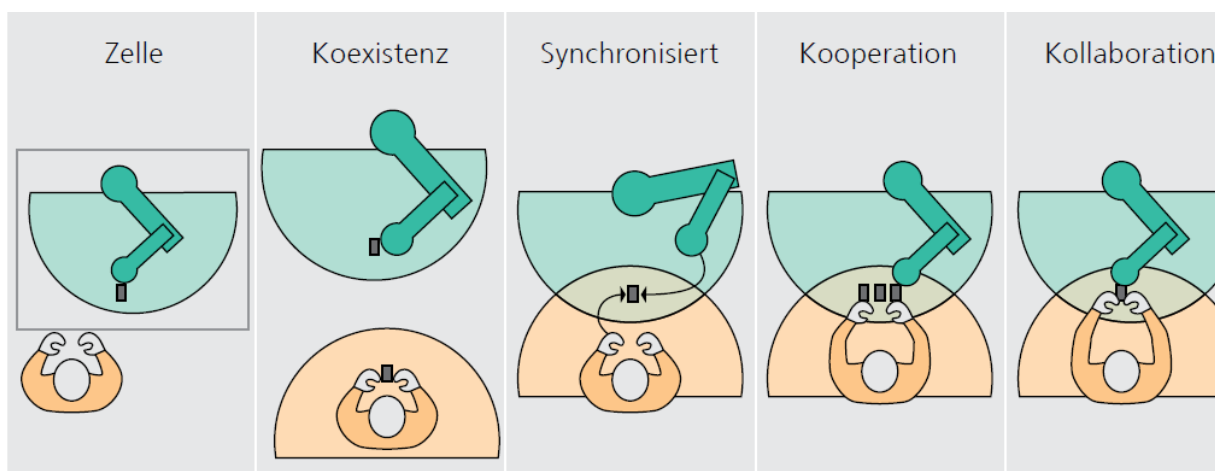


Abbildung 1: Zusammenarbeitsgrade Mensch/Roboter (Bauer et al. 2016)

Jegliche mechanische Gefährdung des Menschen, die durch Quetschen, Scheren, Schneiden und Erfassen (DIN/EN/ISO 10218-2 2012) von Körperteilen erfolgen kann, gilt es durch Vorsehen von Schutzmaßnahmen zu vermeiden. Klassische Schwerlastindustrieroboter werden bisher fast immer mit trennenden Schutzeinrichtungen, u.a. Schutzzäunen umhüllt, um diese Gefährdungen des Menschen auszuschließen (VDI 2854 1991). Im Gegensatz dazu steht die Mensch-Roboter-Kollaboration für die direkte räumliche und zeitliche Zusammenarbeit von Mensch und Roboter ohne trennende Schutzeinrichtung (Müller et al. 2020). Die Tätigkeiten von Mensch und Roboter werden auf einem Arbeitsplatz zusammengeführt, wodurch die strikte Trennung zwischen manueller und automatisierter Arbeit aufgehoben wird. Die Bereiche von Roboter und Mensch überlappen sich zu einem gemeinsamen Arbeitsraum, wobei unterschiedliche Zusammenarbeitsgrade differenziert werden (Abbildung 1). Die Berührung von Mensch und Roboter ist dabei möglich und teilweise arbeitsbedingt erforderlich. Ein wichtiger Faktor für eine erfolgreiche, nachhaltige und effiziente Nutzung der Technologie ist die Akzeptanz (Delang et al. 2016). Durch eine positive Grundeinstellung der Menschen, welche täglich mit dem Roboter zusammenarbeiten, können angestrebte Ziele von Unternehmen, wie z.B. verbesserte Ergonomie, gesteigerter Output oder die Verbesserung der Produktqualität erreicht werden (Müller et al. 2020). Um die notwendige Akzeptanz bei den Mitarbeiter*innen zu schaffen, sollte einerseits ein bei ihnen Verständnis für den Mehrwert durch den Robotereinsatz geschaffen und bestehende Ängste thematisiert werden (Kothgassner et al. 2012). Ängste können in Bezug auf die komplexe Bedienung ebenso bestehen wie der Robotereinsatz mit der Angst vor Unfällen oder Jobverlust einhergeht. Durch die Schaffung von Verständnis des Sicherheitssystems und der Wirkzusammenhänge von Sensorik und Roboterverhalten können diese reduziert werden (Müller et al. 2020).

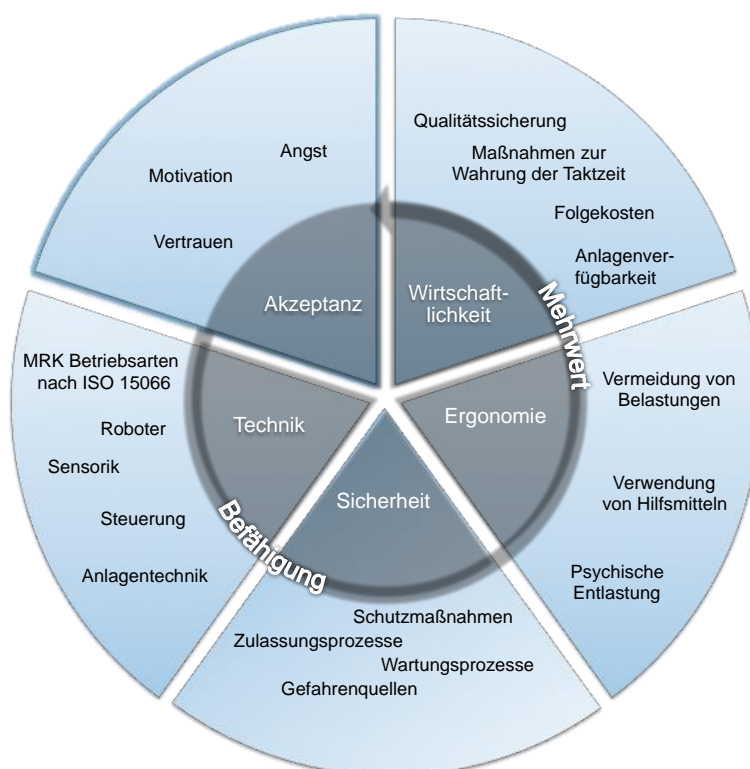


Abbildung 2: MRK-Kompetenzradar (Müller et al. 2020)

Daher wurde ein Kompetenzradar (Abbildung 2) entwickelt, dessen Prämisse es ist, Akzeptanz von MRK zu schaffen, indem der helfende Leichtbauroboter systemisch und ganzheitlich vorgestellt wird. Dieser beinhaltet die Wissensbereiche „Ergonomie“, „Wirtschaftlichkeit“, „Sicherheit“ und „Technik“.

Technische und/oder technologische Vorkehrungen stellen sicher, dass der Roboter, dem Menschen keine Schmerzen oder Schäden zufügen kann. Gängige Maßnahmen sind z.B. die Kraft- und Leistungsbegrenzung des Roboters auf ein nicht mehr gefährdendes Maß, die Reduzierung der Robotergeschwindigkeit während einer Interaktion mit dem Menschen oder die Verwendung sensitiver Manipulatoren oder einer zusätzlichen Roboterhaut.

Diese für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter geeigneten Anbauteile sind so konstruiert, dass z.B. keine scharfen Kanten daran zu finden sind, was die im Kollisionsfall auftretende Flächenpressung reduziert (Müller et al. 2020). Zusätzlich können weiche Außenmaterialien verwendet und Sensorik verbaut werden, die durch kapazitative Widerstände Berührungen mit menschlicher Haut erkennen und den Roboter stoppen lassen. Durch permanente Überprüfung der benötigten Motorströme werden auftretende Unregelmäßigkeiten erkannt und ein Sicherheitsstopp eingeleitet.

Zusammenfassend charakterisiert MRK eine aussichtsreiche Möglichkeit, die klassischen Stärken von Produktionsmitarbeiter*innen mit den Vorteilen eines Roboters zu kombinieren. Um an dieser Stelle die von der MRK gebotenen Möglichkeiten optimal nutzen zu können, muss bekannt sein, über welche Fähigkeiten die beteiligten Parteien verfügen (Müller et al. 2020).

3. MRK-Sensibilisierung von Auszubildenden

Aufbauend auf einer Analyse der beiden Ausbildungsberufe Industriemechaniker*in und Mechatroniker*in bei einem Automobilhersteller in Verbindung mit den Anforderungen der MRK-Technologie wurden zu schulende Kompetenzen eruiert. Ausgehend von dieser Analyse wurde, orientiert am Prinzip der Handlungsorientierung, ein betriebliches Schulungskonzept ausgearbeitet.

Für eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter ist das Vorgehen bei der Einbindung der Auszubildenden (Einführungsstrategie) im Rahmen der betrieblichen Qualifizierung ausschlaggebend (Müller et al. 2019). Diese MRK-Einführungsstrategie beinhaltet die Prozessschritte: „1. Auszubildende frühzeitig informieren“, „2. Transparenz schaffen“, „3. Probleme aufnehmen“, „4. Bedürfnisse wecken“, „5. Entscheidungen treffen lassen“, „6. Technologie ausprobieren“ und „7. Auszubildendenentscheidungen umsetzen“ (Müller et al. 2019).

Das Konzept der betrieblichen Qualifizierungsmaßnahme sieht einen modularisierten Aufbau der Zusatzqualifizierungsmaßnahme vor. In Tabelle 2 werden die Module, das Modell mit dem niedrigen Einstiegsniveau und das methodische Vorgehen dargestellt. Die Module unterteilen sich in die Themenbereiche „Einführung“, „Grundlagen“, „Technik“, „Sicherheit“ und „Technologie“. Die Themenkomplexe, die in der eintägigen Qualifizierungsmaßnahme nicht behandelt wurden, sind „kursiv“ markiert, da diese bereits im Vorfeld durch den Automobilhersteller im Rahmen einer Schulung im Bereich „Steuern und Programmieren von Industrierobotern“ behandelt wurden. Ebenso unterscheiden sich die beiden Konzepte vom Zeitaufwand. Das Modell mit dem niedrigen Einstiegsniveau hat einen Zeitrichtwert von zwölf Stunden und das mit dem hohen Niveau von acht Stunden. Die Verlaufspläne für beide Komplexitätsniveaus beinhalten detaillierte Zeitrichtwerte, die Themengebiete, den didaktisch-methodischen Aufbau

sowie die auszubildenden beruflichen Handlungskompetenzen und die eingesetzten Medien.

Tabelle 1: Inhalte und modularisierter Aufbau (Müller et al. 2020)

Module	Modell mit niedrigem Einstiegsniveau	Methodisches Vorgehen
Einführung	Begrüßung Kurzvorstellung	Kartenabfrage Steckbrief/Interview
Grundlagen	MRK-Technologie Vor- und Nachteile <i>Zukunftsbedeutung</i>	Fragen-entwickelnde Methode Brainstorming Rollenspiel
Technik	Anlagentechnik <i>Steuerung</i> <i>Wartungsprozesse</i>	Fragen-entwickelnde Methode Planspiel Blitzlicht
Sicherheit	Biomechanik Schutzmaßnahmen	Mind-Map Fragen-entwickelnde Methode
Technologie	Onlinesimulation Bedienungsaufgaben	Simulationsspiel Programmieraufgaben

Die vorgestellte Qualifizierungsmaßnahme wurde bisher mit 24 Auszubildenden (m=24, w=3) der Berufe „Industriemechaniker*in“ (n=14) und „Mechatroniker*in“ (n=10) erprobt und wird gerade auf die Adaption auf andere Ausbildungsberufe (z.B. „Maschinen- und Anlagenführer*in“) sowie andere Beschäftigungsgruppen überprüft. Hierzu wird aktuell eine Bewertung der Qualifizierungsmaßnahme im betrieblichen Umfeld des Automobilherstellers bzgl. der definierten Einflussfaktoren auf die Akzeptanz neuer Technologien (Neugierde, Interesse, Technologieängstlichkeit, Technologieskepsis, Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit) mittels eines standardisierten Erhebungsinstruments durchgeführt (Kothgassner 2012). Die Evaluation wird als quantitative Untersuchung im Pre-Post-Design durchgeführt, wobei je zwei Experimental- und Kontrollgruppen einbezogen werden (Solomon-Plan). Die erste Experimental- und Kontrollgruppe durchläuft dabei einen Vor- und Nachtest, wobei nur die erste Experimentalgruppe die Intervention (Treatment) durchläuft. Die zweite Experimental- und Kontrollgruppe durchläuft nur einen Nachtest und keinen Vortest, wobei nur die zweite Experimentalgruppe die Intervention (Treatment) durchläuft. Die Ergebnisse werden anschließend mit Verfahren der deskriptiven Statistik (u.a. U-Test für Paardifferenzen) ausgewertet. Mit den ersten Ergebnissen der Evaluation wird Ende 2020 gerechnet.

4. Zusammenfassung und Diskussion

Das Konzept der skizzierten betrieblichen Qualifizierungsmaßnahme ist kurzzyklisch, dynamisch und modularisiert aufgebaut und lässt sich somit an spezifische Bedarfe und Zielgruppen anpassen. Dabei wurden zwei Komplexitätsniveaus für eine erfolgreiche Implementierung von MRK-Systemen entwickelt. Die Qualifizierung mit hohem Einstiegsniveau setzt die Grundlagen der Robotertechnik und der Programmierung von Robotern voraus und dauert einen Arbeitstag. Beim niedrigen Einstiegsniveau hingegen besteht nur die Voraussetzung, dass die Auszubildenden sich im zweiten Ausbildungsjahr befinden und schon einige Erfahrungen an unterschiedlichen Stationen im Werk sammeln konnten. Beide Niveaus wurden transparent für das Unter-

nehmen anhand der lernzielorientierten Didaktik beschrieben und die Themenkomplexe mit Hilfe des Modells der Handlungsorientierung ausgearbeitet.

Zusammenfassend liefert die entwickelte Qualifizierungsmaßnahme ein grundlegendes Fundament, welches inhaltlich an die Bedarfe des Automobilherstellers angepasst ist. So kann sie als Grundlage für die Aus- und Weiterbildung von Auszubildenden und Mitarbeiter*innen aus anderen Fachbereichen dienen. Der modularisierte Aufbau ist dahingehend an heterogene Zielgruppen adaptierbar. Darüber hinaus können in der Testumgebung Aufstiegsfortbildungen und direkte Einarbeitungen für Anlagenbediener*innen und Instandhalter*innen durchgeführt werden. Es ist ebenso möglich, einen Bedienungsaufgabenkatalog anzufertigen und die Lernenden nach der Maßnahme selbstständig diese Aufgaben erfüllen zu lassen, um weitere Programmierkenntnisse aufzubauen. Mit Blick in die Zukunft werden neue Anlagenkonzepte auf Unternehmen zukommen. Die Forschung konzentriert sich derzeit auf den Komplex schutzzaunloser Schwerlastrobotik sowie Gestik- und Mimiksteuerung von Robotern. Ein erster Schritt in diese Richtung kann die vorgestellte Qualifizierungsmaßnahme zur Sensibilisierung von Auszubildenden sowie Mitarbeiter*innen im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration sein.

5. Literatur

- Bauer W, Bender M, Braun M, Rally P, Scholtz O (2016) Leichtbauroboter in der manuellen Montage. Einfach Einfach Anfahren. Stuttgart.
- Delang K, Winkler L, Bdiwi M, Breifeld M, Putz (2016) Bedarfsgerechte Industrieanwendungen kollaborierender Mensch-Roboter-Systeme in Produktionsprozessen. In: Zweite transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“. Hamburg, S. 163-172.
- DIN/EN/ISO 10218-2 (2012): Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration (ISO 10218-2:2011). Berlin.
- Fryman J, Matthias B (2012) Safety of Industrial Robots: From Conventional to Collaborative Applications. In: 7th German Conference on Robotics (ROBOTIK). Berlin: VDE. 51-55.
- Gerdenitsch C, Korunka C (2019) Digitale Transformation der Arbeitswelt. Berlin: Springer.
- Kothgassner OD, Felnhofer A, Hauk N, Kastenhofer E, Gomm J, Kryspin-Exner I (2012) Technology Usage Inventory (TUI): Fragebogen und Manual. Wien: Icarus.
- Müller R, Franke J, Henrich D, Kuhlenkötter B, Raatz A, Verl A (2019) Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration. München.
- Müller L, Keppler R, Erler F, Delang K, Brämer S (2020) Entwicklung und Erprobung einer Schulung zur MRK-Sensibilisierung von Auszubildenden in der Automobilindustrie. In: lernen & lehren. Elektrotechnik – Informationstechnik Metalltechnik – Fahrzeugtechnik. ISSN 0940-7340. Heft 136. Bremen: Heckner.
- O'Regan G (2018) The Innovation in Computing Companion. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland.
- Schraft RD (2003) Vom Industrie- zum Serviceroboter - Aus Konkurrenten werden Assistenten. In: Warnecke HJ, Bullinger HJ (2003) Kunststück Innovation. S. 219-226. Heidelberg: Springer.
- VDI-Richtlinie 2854 (1991) Sicherheitstechnische Anforderungen an automatisierte Fertigungssysteme. Düsseldorf.
- VDI-Richtlinie 2860 (1991) Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. Düsseldorf.
- Zinke G, Renger P, Feirer S, Padur T (2017) Berufsausbildung und Digitalisierung - ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Bd. 186. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung.



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 · www.internetkundenservice.de