

XR-Schnittstelle statt Robot Teach Pendant – Durchgängig von der Aktivierung des Roboters bis zur Delegation von komplexen Aufgaben am Anwendungsfall eines Schleifprozesses

Olga TOLTINOVA¹, Mathias HRADECSNI¹, Moritz SCHMIDT²,
Claudia MEITINGER², Andreas MUXEL¹

¹ *Fakultät für Gestaltung, Technische Hochschule Augsburg,
An der Hochschule 1, D-86161 Augsburg*

² *Fakultät für Elektrotechnik, Technische Hochschule Augsburg,
An der Hochschule 1, D-86161 Augsburg*

Kurzfassung: Die Integration von Robotik in Automatisierungsprozesse hat sich als übliche Praxis in modernen Produktionsumgebungen etabliert, erfordert jedoch weiterhin Programmierfähigkeiten von menschlichen Bedienern. In der vorliegenden Arbeit wird ein Konzept für eine XR-Schnittstelle präsentiert, um auf diese Situation einzugehen und die Mensch-Roboter-Interaktion zu vereinfachen. Es wird ein programmierfreies System für die Aufgabendelegation von kollaborativen Robotern vorgestellt, das den gesamten Interaktionsprozess abdeckt. Dabei wird eine Benutzeroberfläche entwickelt und der Schwerpunkt auf eine grafische, kontextualisierte und symbolische Funktionsdarstellung gelegt. Das Konzept zielt darauf ab, einen direkteren Kommunikationsprozess zwischen Mensch und Roboter zu etablieren, um die Einbindung menschlicher Arbeitskräfte zu erhöhen und dessen Fähigkeiten bewusst in den Arbeitsprozess einzubinden.

Schlüsselwörter: XR-Schnittstelle, Mensch-Roboter-Interaktion, Aufgabendelegation, Effizienzsteigerung, Automatisierung

1. Einführung

In den vergangenen Jahren wurden Mixed Reality (XR) Technologien in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen im Bereich der kollaborativen Robotik erforscht und eingesetzt. Ein besonderer Fokus wurde dabei auf die Verbesserung von Prozessen in der Produktion, der Wartung von Geräten und der Ausbildung von Fachkräften und Mitarbeitern vor Ort gelegt (Gattullo et al. 2022; Makhataeva & Varo 2020). Im Vergleich zur konventionellen Bedienung mittels Teach-Pendants führte beispielsweise der Einsatz von XR-Brillen zu Verbesserungen in der Aufgabendurchführung und einer Reduktion von Fehlerraten in physischen Mensch-Roboter-Interaktionen (pHRI) (De Franco et al. 2019; Gattullo et al. 2022; Walker et al. 2018).

In der bisherigen Forschung zur Mensch-Roboter-Interaktion lag der Fokus oft auf isolierten Teilen des Gesamtprozesses, wie z. B. der Pfadplanung (Fang et al. 2014), während kontextbezogene Monitoringsysteme und Benachrichtigungsmechanismen im Benutzerinterface vernachlässigt wurden. Zudem konzentrieren sich verfügbare Ansätze hauptsächlich darauf, den Programmieraufwand zu reduzieren, anstatt ihn

gänzlich zu eliminieren. Unsere Arbeit adressiert diese Defizite, indem sie eine Erweiterung der Strukturebene für Aufgabenstellungen vorstellt und sich auf die Gesamtheit der Benutzererfahrung in XR-basierten Mensch-Roboter-Schnittstellen konzentriert, angefangen von der (De-)Aktivierung des kollaborativen Roboters (Cobot) bis hin zur präzisen Auswahl bevorstehender Aufgaben. Durch die Integration der Systemsteuerung und der Visualisierung benutzerorientierter Performance-Indikatoren (z. B. verbleibende Prozessdauer) bietet der Ansatz eine Lösung, um Arbeitsprozesse möglichst nahtlos und effizient zu gestalten. Unser Beitrag demonstriert, wie eine ganzheitliche Herangehensweise an die Gestaltung von Mensch-Roboter-Interaktionen zu einer verbesserten Benutzererfahrung und Arbeitsleistung in realen industriellen Umgebungen beitragen kann.

2. Verwandte Arbeiten

Dieser Beitrag baut auf früheren Forschungsarbeiten auf, insbesondere auf Untersuchungen, die Handgesten in einem XR-Interface zur Definition von Pfadpunkten nutzen. Dieser Ansatz hat sich als effektiv erwiesen, indem er die Programmierdauer deutlich reduziert und die Häufigkeit der Roboternutzung in Produktionsprozessen steigert (Chan et al. 2022; Puljiz et al. 2019; Thormann et al. 2023). In der Arbeit von Ong et al. (2020) wird ein spezieller Maus-Controller genutzt, um Pfadpunkte in der Luft zu erstellen. Zwar wird die Programmierung dabei in den virtuellen Raum verlagert, jedoch müssen die Nutzenden weiterhin manuell die Wegpunkte für den Roboter definieren. Einige Forschungsarbeiten setzen einen digitalen Zwilling zur Vorvisualisierung des Roboterpfades ein, was zu einem verbesserten Verständnis über das Verhalten des Roboters führte. Diese Ansätze beschränken sich jedoch auf die Visualisierung der Pfadplanung, anstatt auch zusätzliche relevante Information, wie etwa die Dauer des geplanten Arbeitsprozesses oder spezifische Tooleigenschaften in einem relevanten Kontext anzuzeigen (Fang et al. 2014; Walker et al. 2018; Quintero et al. 2018). Feedbacksysteme orientieren sich meist an die Bedürfnisse erfahrener Robotik-Ingenieure oder auf spezifische Testaufgaben, wobei die Vielfalt der Benutzererfahrungen und Anforderungen im tatsächlichen Einsatzgebiet vernachlässigt wird (Zieliński et al. 2021; De Franco et al. 2019). Quesada & Demiris (2022) haben einen Lösungsansatz entwickelt, bei dem eine AR-Schnittstelle genutzt wird, um mehrere einfache Aktionen eines Roboterassistenten mit nur einem Befehl auszuführen. Jedoch wird dabei auf eine Vorschau der Aktionen verzichtet, was es dem Benutzenden erschwert, einen Überblick über das System und die bevorstehenden Aktionen zu bekommen. Die Möglichkeit Vorvisualisierungen anzuzeigen, könnte dem Nutzenden ein Sicherheitsgefühl geben und das Vertrauen in das System stärken.

In weiteren Forschungsarbeiten wurden UI-Elemente (z. B. Typ des Elements, Informationsart, Positionierung) einer Vielzahl von XR-Interfaces in Industrie und Forschung klassifiziert und analysiert, um Taxonomien für den Einsatz von User Interfaces (UI) in XR-Anwendungen auszuarbeiten (Gattullo et al. 2022; Suzuki et al. 2022). Solche Taxonomien fokussieren sich auf eine technisch-funktionale Beobachtung von Interfaces, statt ergonomische und benutzerorientierte Faktoren in die Analyse miteinzubeziehen. Diese begrenzte Perspektive vernachlässigt jedoch die Gesamtbetrachtung der Benutzererfahrung, die von dem Erstkontakt des Cobots bis zur Fertigstellung eines Werkstücks reicht.

3. Analyse bestehender Ansätze

In Tabelle 1 werden die verschiedenen Aspekte des Interaktionsprozesses in den einzelnen Spalten dargestellt. Bezüglich der Mensch-Roboter-Interaktion werden hier sowohl die Methoden zur manuellen Erstellung von Wegpunkten für die Pfadplanung in bestehenden Anwendungen als auch die spezifischen Elemente für eine umfassende Benutzerführung erläutert.

Die Kategorie „Ausführungsanweisungen“ bezieht sich auf visuelle Hilfestellungen, darunter text-, video- oder piktogrammbasierte Elemente sowie Tooltips in der Benutzeroberfläche, die den Benutzer durch den Arbeitsprozess führen. Unter der Kategorie „Vorvisualisierung des Prozesses“ wird die Integration von Elementen wie einem digitalen Zwilling beschrieben, der für virtuelle Simulationen vor der Ausführung am realen Roboter verwendet wird. „Kontextualisiertes Feedback“ hingegen umfasst Texte, Piktogramme oder Objekte in der XR-Schnittstelle, die an relevante Orte und Zeiten angepasst sind, darunter beispielsweise Roboter-Tooltip-Daten und virtuelle Überlagerungen, die Sicherheitsbeschränkungen darstellen.

Tabelle 1: Vergleich der verfügbaren Lösungen anhand ihrer vorhandenen Funktionen

Quelle	Manuelle Erstellung der Wegpunkte	XR Interface-Funktionen		
		Ausführungsanweisungen	Vorvisualisierung des Prozesses	Kontextualisiertes Feedback
Thorman et al. (2023)	x		x	
Chan et al. (2022)	x		x	
Ong et al. (2020)	x		x	
Chacko et al. (2020)	x		x	
Quintero et al. (2018)	x	x	x	
De Franco et al. (2019)	x			x
Aivaliotis et al. (2023)	x	x	x	x
Puljiz et al. (2023)	x		x	
Leutert et al. (2013)	x		x	
Quesada & Demirs (2022)				x

Da bisherige Anwendungen den gesamten Arbeitsprozess nicht vollständig abdecken und eine manuelle Erstellung der Wegpunkte erfordern, zielt unser Lösungsansatz darauf ab, diese Defizite zu beheben. Unser Ziel ist es, eine umfassende XR-Schnittstelle für Schleifanwendungen bereitzustellen.

4. Das Konzept

Um die erwähnten Aspekte zu adressieren, präsentieren wir das Konzept einer XR-Roboter-Schnittstelle einer Schleifanwendung für die manuelle Produktion von Waschbecken. In unserem Anwendungsfall kollaboriert ein menschlicher Mitarbeitender mit einem Cobot, um ein unbearbeitetes Werkstück zu schleifen und für den nächsten Produktionsschritt vorzubereiten. Der Roboter übernimmt hierbei repetitive und kräftezehrende Arbeitsprozesse, wodurch der Mitarbeitende von erschöpfenden Tätigkeiten entlastet wird. Dieser kommuniziert mit dem Cobot mithilfe eines XR-Headsets (Magic Leap 2), sowie einer speziell entwickelten Softwareanwendung für die Aufgaben-delegation. Das Interface leitet den Benutzenden Schritt-für-Schritt durch den Arbeitsprozess, vom Einschalten des Roboters (Abb.1.a) bis zur Adjustierung des Pfades.

Hierbei wird zunächst die Oberfläche von dem Werkstück mithilfe des Time-of-Flight Tiefensensors des Headsets gescannt (Abb.1: b, c).

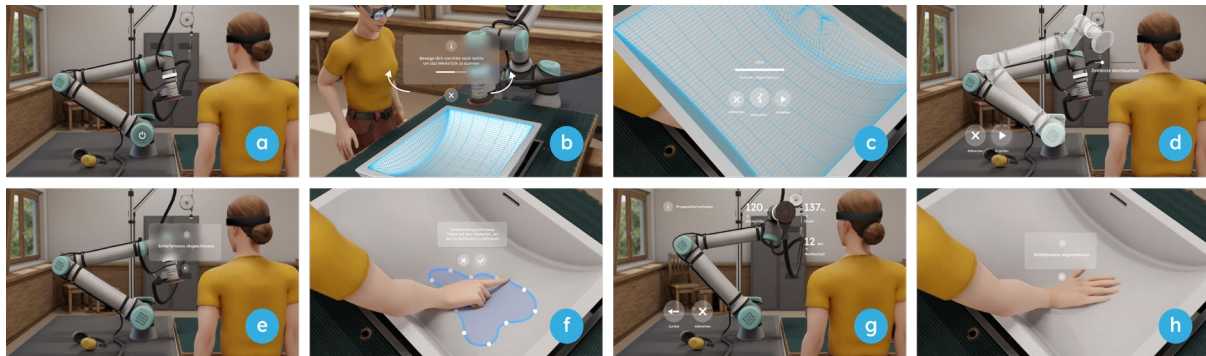


Abbildung 1: Kollaborativer Schleifprozess mithilfe einer XR-Schnittstelle

Nachdem das Werkstück gescannt wurde, hat der Benutzende die Möglichkeit das Roboterprogramm zu überprüfen, in dem ein digitaler Zwilling anstelle des physischen Roboters eingeblendet wird und die geplanten Aufgaben durchführt (Abb.1.d). Durch Verwendung einer Zeitstrahlleiste kann der Anwendende durch das gesamte Roboterprogramm navigieren und sicherstellen, dass der Ablauf fehlerfrei ist. Die Vorvisualisierung bietet dem Benutzer ein erhöhtes Sicherheitsgefühl, da sie ihm die Möglichkeit gibt, den Ablauf zu überprüfen und potenzielle Risiken im Voraus zu erkennen. Nach dem Abschluss des Haupt-Schleifprozesses wird der Benutzer über ein Benachrichtigungsfenster im XR-Interface informiert (Abb.1.e). Der Mitarbeitende kann nun eine Qualitätskontrolle durchführen und etwaige Anpassungen vornehmen. Es tritt beispielsweise die Notwendigkeit auf, bestimmte Bereiche des Werkstücks nachzuschleifen. Der Benutzende initiiert den Anpassungsprozess, indem er mit dem Finger direkt auf der Waschbeckenoberfläche eine geschlossene Fläche zeichnet, um die zu bearbeitende Stelle zu markieren (Abb.1.f). Dieser bewusste Eingriff stellt sicher, dass der Mensch aktiv in den Prozess eingebunden ist. Die gezeichnete Fläche wird im XR-Headset visuell und in Echtzeit dargestellt und mit veränderbaren Eckpunkten versehen, um weitere Feinjustierungen vornehmen zu können. Das erstellte Flächenmodell wird anschließend systemintern verwendet, um die Pfadplanung für den nachfolgenden Schleifvorgang zu kalkulieren. Durch diese gewohnte Interaktion, welche von realen zwischenmenschlichen Lehrling-Meister Situationen inspiriert wurde, kann der Lernaufwand minimiert und Anpassungen im Arbeitsprozess erleichtert werden. Nachdem der Schleifprozess initiiert wurde, kann der Benutzende den Tool Center Point (TCP) des Cobots inspizieren. Sobald der Blick auf den TCP gerichtet wird, erscheinen kontextabhängige Statusmeldungen, die Informationen wie die verbleibende Schleifdauer, die Druckintensität und die aktuelle Schleifpapierkörnung anzeigen (Abb.1: g). Diese Statusmeldungen werden situativ platziert und variieren in ihren Merkmalen je nach ihrer Relevanz – etwa durch Farbcodierung, Symbolsprache, Blinken, akustische Hinweise oder ihre Art der Information, sei es instruktiv oder rein informativ. Auf diese Weise tritt das technische Medium in den Hintergrund, während das Werkstück und die gegenwärtige Aufgabe in den Fokus rücken. Die Aufgaben-delegation wird im Hintergrund mit einer kognitiven Steuerungseinheit (CCU) auf Basis von Soar umgesetzt, womit die Notwendigkeit der manuellen Pfadplanung eliminiert

und eine natürliche Kommunikation mit dem System ermöglicht wird (Schmidt & Meitinger, 2023). Bei Soar handelt es sich um eine kognitive Architektur, die sich darauf konzentriert, menschenähnliche Problemlösungen zu modellieren.

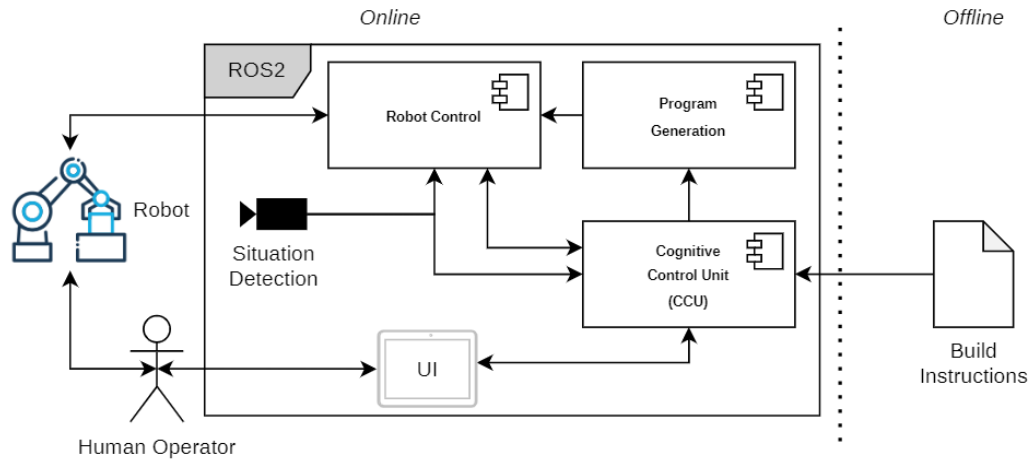


Abbildung 2: Systemarchitektur für Abgabedelegation (Schmidt & Meitinger 2023)

Nachdem die Adjustierung bestätigt wurde, startet der neue Schleifprozess, der nach Bedarf wiederholt oder abgebrochen werden kann, bis die angestrebte Qualität erreicht ist. Sobald der Benutzende mit dem Ergebnis zufrieden ist, kann der Roboter über einen Knopf im XR-Interface heruntergefahren werden, wodurch der kollaborative Schleifprozess vollständig abgeschlossen wird.

Unsere Lösung deckt damit alle Aspekte ab, die in unserem Vergleich mit anderen Anwendungen präsentiert wurden, und wurde so entwickelt, dass die Interaktion mit dem System intuitiv, komfortabel und leicht verständlich ist, was zu einem geringeren Lernaufwand führt.

5. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend stellt der Beitrag einen XR-basierten Ansatz für die Mensch-Roboter-Interaktion vor, wobei der Schwerpunkt auf einer durchgehenden Kommunikationsschleife liegt. Die konzipierte Benutzeroberfläche trägt dazu bei, ein erhöhtes Sicherheitsgefühl und gesteigertes Vertrauen gegenüber kollaborativen Robotern zu schaffen. Dies wird durch die Integration von Vorvisualisierungen und kontextualisierten Feedbackmechanismen erreicht, die es dem Benutzer ermöglichen, den Arbeitsprozess besser zu überblicken und potenzielle Risiken frühzeitig zu erkennen. Dadurch wird nicht nur die Akzeptanz für den Einsatz neuer Technologien gestärkt, sondern auch die Bedeutung menschlicher Entscheidungen und Kontrolle in einem hochtechnologisierten Umfeld unterstrichen.

In einem nächsten Schritt wird das Konzept technisch implementiert und in einer Nutzerstudie nach dem „NASA Task Load Index“ (NASA-TLX) oder ähnlichen Methoden (SUS, UEQ) evaluiert.

6. Literatur

- Aivaliotis S, Lotsaris K, Gkournelos C, Fourtakas N, Koukas S, Kousi N & Makris S (2023). An augmented reality software suite enabling seamless human robot interaction. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(1), 3–29. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2104459>
- Chacko SM, Granado A & Kapila V (2020). An augmented reality framework for robotic tool-path teaching. *Procedia CIRP*, 93, 1218–1223. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.143>
- Chan WP, Hanks G, Sakr M, Zhang H, Zuo T, Van Der Loos HFM & Croft E. (2022). Design and Evaluation of an Augmented Reality Head-mounted Display Interface for Human Robot Teams Collaborating in Physically Shared Manufacturing Tasks. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 11(3). <https://doi.org/10.1145/3524082>
- De Franco A, Lamon E, Balatti P, De Momi E & Ajoudani A (2019). An Intuitive Augmented Reality Interface for Task Scheduling, Monitoring, and Work Performance Improvement in Human-Robot Collaboration. *IWOBI 2019 - IEEE International Work Conference on Bioinspired Intelligence, Proceedings*, 75–80. <https://doi.org/10.1109/IWOBI47054.2019.9114472>
- Fang HC, Ong SK & Nee AYC (2014). A novel augmented reality-based interface for robot path planning. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 8(1), 33–42. <https://doi.org/10.1007/s12008-013-0191-2>
- Gattullo M, Evangelista A, Uva AE, Fiorentino M & Gabbard JL (2022). What, How, and Why are Visual Assets Used in Industrial Augmented Reality? A Systematic Review and Classification in Maintenance, Assembly, and Training (From 1997 to 2019). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(2), 1443–1456. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3014614>
- Leutert F, Herrmann C & Schilling K (2013). A spatial augmented reality system for intuitive display of robotic data. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 179–180. <https://doi.org/10.1109/HRI.2013.6483560>
- Makhataeva Z & Varol HA (2020). Augmented reality for robotics: A review. *Robotics*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/ROBOTICS9020021>
- Ong SK, Nee AYC, Yew AWW & Thanigaivel NK (2020). AR-assisted robot welding programming. *Advances in Manufacturing*, 8(1), 40–48. <https://doi.org/10.1007/s40436-019-00283-0>
- Puljiz D, Stohr E, Riestere, KS, Hein B & Kroger T (2019). General Hand Guidance Framework using Microsoft HoloLens. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 5185–5190. <https://doi.org/10.1109/IROS40897.2019.8967649>
- Quesada RC & Demir Y (2022). Proactive Robot Assistance: Affordance-Aware Augmented Reality User Interfaces. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 29(1), 22–34. <https://doi.org/10.1109/MRA.2021.3136789>
- Quintero CP, Li S, Pan MK, Chan WP, Machiel Van Der Loos HF & Croft E (2018). Robot Programming Through Augmented Trajectories in Augmented Reality. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1838–1844. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.01253>
- Schmidt M & Meitinger C (2023). A Concept for User-Centered Delegation of Abstract High-Level Tasks to Cobots for Flexible Lot Sizes. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.01253>
- Suzuki R, Karim A, Xia T, Hedayati H & Marquardt N (2022). Augmented Reality and Robotics: A Survey and Taxonomy for AR-enhanced Human-Robot Interaction and Robotic Interfaces. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517719>
- Thormann C, Matour ME & Winkler A (2023). Gesture Control of a Lightweight Industrial Robot Supported by Augmented Reality. *2023 27th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR 2023 – Proceedings*, 406–410. <https://doi.org/10.1109/MMAR58394.2023.10242445>
- Walker M, Hedayati H, Lee J & Szafir D (2018). Communicating Robot Motion Intent with Augmented Reality. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 316–324. <https://doi.org/10.1145/3171221.3171253>
- Zielinski K, Walas K, Heredia J & Kjargaard MB (2021). A study of cobot practitioners needs for augmented reality interfaces in the context of current technologies. *2021 30th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2021*, 292–298. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN50785.2021.9515406>



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

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

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de