

## Hybrid Work Systems – Plattformbasierte Arbeitsplanung zur Gestaltung produktiver und ergonomischer Arbeitsprozesse

Michael SPITZHIRN<sup>1</sup>, Martin BENTER<sup>2</sup>, Christoph HEINDL<sup>3</sup>, Noël SCHEDER<sup>4</sup>,  
Felix STROHMEIER<sup>5</sup>, Wernher BEHRENDT<sup>5</sup>

<sup>1</sup> imk Industrial Intelligence GmbH, D-09128 Chemnitz

<sup>2</sup> MTM ASSOCIATION e. V., D-22609 Hamburg

<sup>3</sup> Visual Computing / PROFACTOR GmbH, A-4407 Steyr-Gleink

<sup>4</sup> Fraunhofer Austria Research GmbH, A-1040 Wien

<sup>5</sup> Salzburg Research Forschungsgesellschaft m. b. H., A-5020 Salzburg

**Kurzfassung:** Bei der Gestaltung von Arbeitsprozessen sind ergonomische und wirtschaftliche Kriterien zu beachten. Mit Hilfe von Planungswerkzeugen wie digitalen Menschmodellen sowie Motion Capturing können Arbeitsausführungen simuliert bzw. erfasst, analysiert und gestaltet werden. Die Kombination beider Ansätze unter Einsatz einer Plattform verspricht wesentliche Mehrwerte für eine prospektive Planung von Arbeitsprozessen. Im Beitrag soll dazu die Digitalplattform Hybrid Work System vorgestellt werden, in dessen Rahmen digitale Werkzeuge zur kollaborativen, ergonomischen und produktiven Untersuchung von Arbeitsplätzen entwickelt werden. Hierbei sollen Arbeitsplanungsdienste zwischen Anbietern und Nachfragern über die Plattform austauschbar sein. Weiterhin werden verschiedene Technologien wie videobasierte Bewegungsanalyse, KI-gestützte Objekterkennung sowie digitale Planungssysteme wie ema Work Designer (emaWD) und TiCon bereitgestellt und Modelle für deren Zusammenwirken entwickelt. Am Beispiel einer Zylinderkopfmontage wird die Funktionsweise der HWS-Plattform mit Schwerpunkt Arbeitsprozesssimulation mittels emaWD aufgezeigt. Mit Hilfe des Ansatzes kann eine kooperative, ortsunabhängige Zusammenarbeit von Planungsexperten ermöglicht und Unternehmen bei der Gestaltung ergonomischer, alter(n)s-gerechter sowie wirtschaftlicher Arbeitsprozesse unterstützt werden.

**Schlüsselwörter:** Digitale Arbeitsplanung, Digitale Ergonomie, digitale Menschmodelle, Hybrid Work System, Motion Capturing

### 1. Methoden zur Arbeitsprozessgestaltung und -bewertung

Zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsbedingungen können verschiedene Methoden und Verfahren wie Zeitanalysen (u.a. MTM-UAS) oder ergonomische Verfahren wie EAWS eingesetzt werden (Schlick et al. 2018). Die Methoden unterstützen die Identifikation von Problemen und Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen. Digitale Planungswerkzeuge wie der ema Work Designer können hierbei unterstützen, bereits in der Planungsphase digital den Prozess und notwendige Bewegungen unter Einsatz digitaler Menschmodelle abzubilden und mittels Zeit- und Ergonomieverfahren wie MTM oder EAWS zu bewerten und zu gestalten (Fritzsche et al. 2019; Spitzhirn et al. 2022a).

Alternativ können Bewegungen an Arbeitsplätzen mittels Motion Capturing (MoCap) erfasst und bewertet werden (Yunus et al. 2021). Damit kann eine genaue Erfassung der Bewegungen erfolgen, jedoch sind die Bewertungen auf den aufgenommenen Prozess beschränkt und benötigen zusätzliche Kontextinformationen wie zur Umgebung, deren Erfassung schwierig und zeitaufwendig sein kann. Eine Kombination von MoCap und Arbeitsprozesssimulation unter zusätzlicher Einbindung externer Experten verspricht wesentliche Mehrwerte in der Durchführung sowie Ergebnisqualität. Nachfolgend wird ein Plattform-unterstützter Ansatz zur kollaborativen, ergonomischen und produktiven Untersuchung von Arbeitsplätzen unter Einsatz von videobasierter Bewegungserfassung und digitaler Simulationsmethoden anhand der Bewertung einer Zylinderkopfmontage vorgestellt.

## **2. Plattform Hybrid Work System**

Ziel von Hybrid Work Systems ist die Entwicklung eines Plattform-basierten IT-Dienstleistungs- und Technologiebündels, mit dem (semi)-automatisch Prozessanalysen nach zeitwirtschaftlichen und ergonomischen Kriterien durchgeführt werden können. Die Plattform fungiert einerseits als Vermittler, indem sie die notwendige Infrastruktur bereitstellt, um Arbeitsplanungsdienste zwischen Anbietern und Nachfragern zu ermöglichen. Zum anderen werden digitale Methoden und Technologien wie videobasierte Bewegungsanalyse, KI-gestützte Objekterkennung sowie digitale Planungssysteme wie ema Work Designer und TiCon bereitgestellt und Modelle für deren Zusammenwirken entwickelt. Damit werden die Parteien bei der Durchführung der Analyse und Gestaltung der Arbeitsprozesse unterstützt.

Um ein bedarfsgerechtes Angebot sowie geeignete Technologieentwicklungen voranzutreiben, wurden die Rahmenbedingungen und Anforderungen an die Plattform bzgl. Technik (Hardware und Software), Datensicherheit, Technologie- und Analysemethoden mittels Nutzerbefragungen bei Industrieunternehmen erfasst und daraus ein idealisierter Prozess entworfen. Weiterführende Informationen können Spitzhörn et al. (2022b) entnommen werden. Nachfolgend werden am Beispiel einer Zylinderkopfmontage der Idealprozess und die verwendeten Methoden dargestellt. Da sich die Plattform im Aufbau befindet, wird ein prototypischer Ablauf, welcher bei den Industriepartnern BRP Rotax und INNIO erprobt wird, dargestellt.

## **3. Anwendung des HWS am Beispiel Zylinderkopfmontage**

### **3.1 Projektanbahnung, Datenbereitstellung, Arbeitssystem, Analysesysteme**

Im vorliegenden Anwendungsfall soll im Industrieunternehmen ein bestehender Arbeitsplatz „Zylinderkopfmontage“ bzgl. Ergonomie und Produktionszeiten durch einen externen Dienstleister bewertet und verbessert werden. Als unternehmensinterne Verfahren sind für die Zeiten MTM-UAS und für die Ergonomie das EAWS-Verfahren zu verwenden. Daten zum Produkt und Prozess wie Stücklisten, CAD-Produktdaten, Gewichte und Montagepläne liegen in unterschiedlichen Systemen digital vor und werden bereitgestellt. Eine digitale Prozesssimulation des aktuellen Stands ist nicht vorhanden. Um bestehende Kapazitätsgrenzen zu kompensieren, sollen

geeignete externe Experten gesucht und eingebunden werden.

Der Industriebetrieb stellt auf der Plattform HWS eine Einladung (Tender) für Dienstleistungsangebote ein. In strukturierter Weise wird die gesuchte Expertise, der Zeitrahmen und die Bedingungen in standardisierter Form beschrieben – je nach Wunsch des Industriebetriebs unter Nennung des Namens oder anonymisiert. Auf der Plattform sind industrielle Dienstleister mit unterschiedlichsten Expertisen und Spezialisierungen (z. B. nach Branche, Fragestellung etc.) registriert und einige von ihnen reagieren auf die Anfrage mit Angeboten. Der Industriebetrieb kann nun eine für ihn treffende Auswahl vornehmen.

Gegenstand ist der Arbeitsplatz Zylinderkopfmontage, der die Vormontage von Zylinderköpfen in einer Linienmontage umfasst und aus 14 Arbeitsgängen besteht. Der Prozess wird von verschiedenen Mitarbeitenden unterschiedlichen Alters an einem Einzelarbeitsplatz in stehender Körperhaltung durchgeführt und ist taktungebunden.

### *3.2 Technologien zur Bewegungs-, Objekt- und Prozesserfassung*

Als Ausgangsbasis stehen zwei Videos des Arbeitsplatzes in unterschiedlichen Detaillierungsstufen sowie CAD-Daten der einzelnen Komponenten und der Vorrichtung im Format \*jt zur Verfügung. Die Videos wurden unter Verwendung einer handelsüblichen Kamera erfasst und nach Spitzhahn et al. (2022b) aufgestellt. Für die Analyse wurde zudem eine Arbeitsprozessbeschreibung, prozessrelevante Angaben zum Gewicht (Zylinderkopf = 8,1 kg; andere Objekte < 3 kg) sowie Kräfte (Schieben Zylinderkopf auf Förderband = 50N; Drehen der Vorrichtung = 40N) vorgegeben.

Für die Bewertung des Arbeitsprozesses ist die Bewegungserfassung wichtig. Diese kann mittels Motion Capturing oder Simulation erfolgen. In der Ausschreibung wurde sich darauf verständigt, dass beide Ansätze Anwendung finden.

Auf Basis der von der Firma PROFACTOR entwickelten Videoanalyse (Heindl et al. 2019) können Bewegungen direkt aus den aufgenommenen Videos extrahiert werden. Dazu werden mittels eines neuronalen Modells pixel-basierte Positionen von 33 anatomischen Körpermerkmalen ermittelt und 3D-Koordinaten des Skeletts in ein kinematisches Modell mit Gelenkwinkeln unter Beachtung anatomischer Bedingungen überführt und im Standardformat BVH für die weitere Verarbeitung ausgegeben.

Die Segmentierung der Bewegungsdaten erfolgt unter Verwendung von prozessrelevanten Informationen sowie Areas of Interest (Aoi), die markante Hüllkörper der zu handhabenden Objekte darstellen. Bei Kollision bestimmter definierter Körperteile mit den Aois (bspw. Hand berührt Zylinderkopf) wird ein Abschnittsmarker erzeugt, der im Zusammenwirken mit Prozesswissen zur Bildung von Prozessabschnitten genutzt wird. Zur Identifikation der gehandhabten Objekte wird vom Fraunhofer Austria ein Objekterkennungsalgorithmus unter Einsatz von KI-Algorithmen und weiteren Nebenbedingungen entwickelt. Dies kann mit zur Aoi-Bestimmung sowie für die Detaillierung der Prozessbeschreibung verwendet werden. Um die aufgenommenen Bewegungen und Prozessbeschreibungen standardisiert in verschiedenen digitalen Systemen interpretieren zu können, wurde eine HWS-Taxonomie entwickelt. Diese Task-Beschreibungssprache teilt jeden Arbeitsprozess in Schritte, deren Struktur uniform ist und ein kontrolliertes Vokabular von Tätigkeiten wie bspw. Aufnehmen & Platzieren oder Werkzeug handhaben verwendet.

### *3.3 Bewegungsanalyse und Arbeitsablaufs simulation mittels ema Work Designer*

Für die Analyse des Arbeitsplatzes wird das Planungssystem ema Work Designer eingesetzt. Andere Tools, die über die HWS-Plattform angefragt werden können, sind bspw. TiCon oder MTMmotion (Spitzhirm et al. 2022b).

emaWD ermöglicht die ganzheitliche prospektive Planung, Bewertung und 3D-Simulation und Visualisierung menschlicher Arbeit im Kontext der Digitalen Fabrik (Fritzsche et al. 2019; Spitzhirm et al. 2022a). Unter Nutzung verschiedener anthropometrischer Menschmodelle mit unterschiedlichen Fähigkeiten (z. B. Alter, Beweglichkeiten, Kräfte) werden manuelle und teilautomatisierte Prozesse sowie Mensch-Roboter-Interaktionen analysiert und gestaltet.

Einerseits können auf Basis der ema-Verrichtungsbibliothek die Arbeitsprozesse und Bewegungsausführungen der Zylinderkopfmontage mittels parametrisierter Tätigkeitsbeschreibung unter Angabe von Rahmenbedingungen (z. B. zu handhabende Objekte, Zielposition) realitätsnah und effizient simuliert werden.

Andererseits können die aufgenommenen Bewegungsdaten aus dem PROFACTOR-Tool in Form von BVH-Dateien in den ema Work Designer importiert und mit ema-Verrichtungen verknüpft werden, sodass eine Optimierung des Arbeitsprozesses auch durchgeführt werden könnte. Da die Struktur des im MoCap verwendeten Menschmodells sowie des ema Menschmodells ähnlich sind, sind nur die anthropometrischen Unterschiede sowie Bezeichnung der Körperpunkte anzupassen. Die Anpassung der Körpermaße erfolgt im Menschmodell und die Bezeichnung einmalig per Mapping-Tabelle. Der Erstellungsprozess im Zusammenspiel mit MoCap kann direkt oder über die Schnittstelle ema Wizard im emaWD erfolgen.

Unter Einsatz des ema Wizards kann die Ausgangsumgebung (Materialanstellung, Produktionslinie), die verwendeten Komponenten sowie eine erste Simulation mit Motion Capturing-Daten erstellt werden. Dazu können im Wizard die aus den vorgelegten HWS-Prozessen erzeugten Informationen wie Gewicht, Sperrigkeit, Objektklasse, Positionen und Orientierungen genutzt und interne und externe CAD-Daten und Prozessinformationen mit den ausführenden Ressourcen (z. B. Werker\*innen) sowie den verwendeten Objekten und Werkzeugen verknüpft werden.

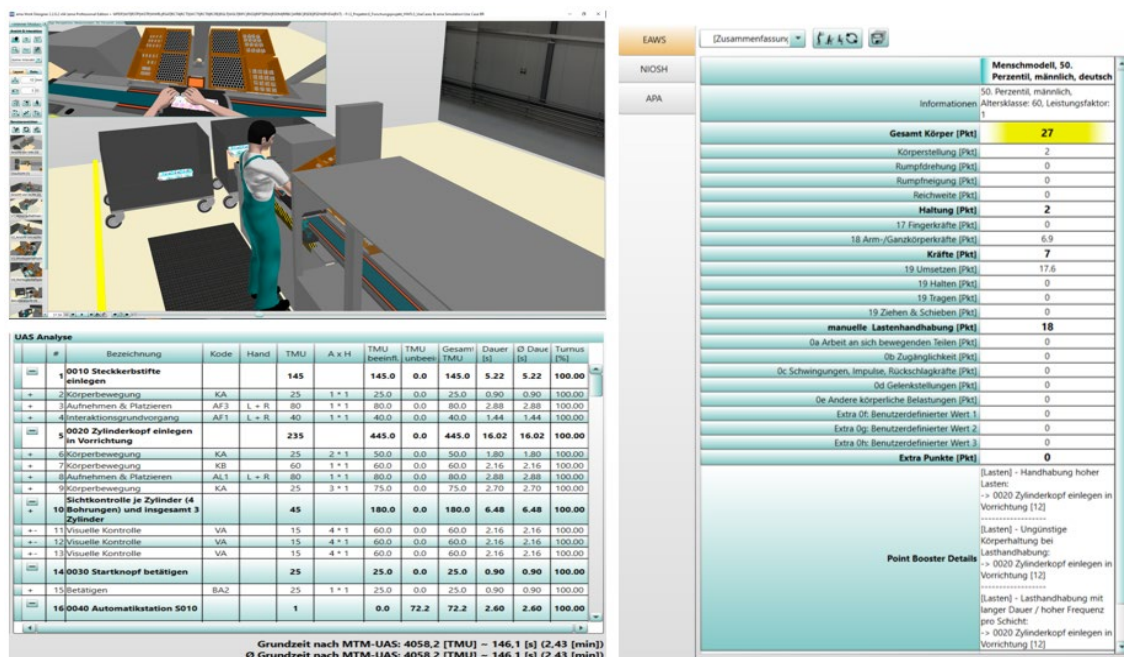
Die mittels ema Wizard erstellte Simulation und Umgebung kann anschließend im ema Work Designer weiter spezifiziert und mit ema-Verrichtungen verknüpft werden. Alternativ kann der Prozess auch direkt im emaWD durchgeführt werden. Eine Anpassung des verwendeten Menschmodells nach dessen Fähigkeiten kann auch vorgenommen werden.

Auf Basis der importierten wie auch in ema erzeugten Bewegungen sowie den Tätigkeitsbeschreibung inkl. Prozessinformationen (Gewicht, Art des Aufnehmens etc.) kann der Arbeitsprozess mittels 3D-Simulation, Visualisierung und verschiedenen Auswertungen (z. B. Zeitanalysen MTM-UAS, EAWS-, Gelenkwinkel-, Laufweg-, Sicht-, Erreichbarkeitsanalysen) analysiert und verbessert werden (vgl. Abbildung 1).

In einem weiteren Schritt wurde mittels einer ema-Prozesssimulation unter Einsatz verschiedener Menschmodelle (vgl. Spitzhirm et al. 2022a) überprüft, ob verschiedene Nutzergruppen (Frauen, ältere Mitarbeitende) im Arbeitsprozess eingesetzt werden können oder gestalterische Maßnahmen für eine alter(n)- und fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung vorzunehmen sind. Dies wurde vorgenommen, da keine weiteren Bewegungsaufnahmen zum Zeitpunkt der Untersuchung zur Verfügung standen und dies das zeiteffizienteste Mittel war. Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass

ein allgemeiner Einsatz der Mitarbeitenden möglich ist, d. h. alle Objekte können erreicht und gehabt werden (keine Überschreitung Maximalkräfte, -lasten). Auffälligkeiten sind bspw. bei der Simulation mit dem Menschmodell "Frau, Altersklasse 60" aufgetreten. Hier kommt es zu erhöhten Belastungen (EAWS: 33,5 Punkte), was zu möglichen Risiken für muskuloskelettale Beschwerden führen kann.

Durch eine Optimierung der Materialanstellung könnten erhebliche ergonomische Verbesserungen für alle Werker\*innen erreicht werden.



**Abbildung 1:** Ergebnisse aus der ema Simulation unter Nutzung MoCap-Daten (links oben: ema Arbeitsprozesssimulation; links unten: MTM-UAS-Analyse; rechts: EAWS-Analyse)

## 4. Diskussion

Mit Hilfe der Arbeitsprozesssimulationen können bereits im Planungsprozess verschiedene Varianten erstellt, verglichen und diskutiert werden. Durch die Nutzung von Bewegungsaufnahmen im emaWD ist es möglich, die Bewegungsausführung entsprechend dem Ist-Prozess genau abzubilden. Die Kombination mit ema-Vorrichtungen ermöglicht zusätzlich eine zeitliche und ergonomische Analyse sowie die Untersuchung verschiedener Arbeitsplatzkonfigurationen und gestalterischer Maßnahmen. Die Anwendung des hier dargestellten Workflows ist auch von den verfügbaren digitalen Daten abhängig, sodass es bei fehlenden Daten zu erhöhten manuellen Aufwendungen kommen kann. Darüber hinaus ist zu hinterfragen, inwiefern eine Videoaufnahme im Produktionsbereich von allen Mitarbeitenden akzeptiert, und vom Betriebsrat erlaubt wird. Weiterhin könnten die Mitarbeitenden bei den Videoaufnahmen versuchen, diese durch ein spezielles Verhalten zu beeinflussen. Diese Herausforderungen könnten durch anonymisierte, randomisierte Analysen mit repräsentativen Wiederholungen bewältigt werden. Mit der HWS-Plattform wird es möglich, Anbieter und Nachfragende zusammenzubringen. Dies kann aber auch zu unerwünschten Preiswettbewerben führen, die möglichst zu vermeiden sind.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe der Plattform Hybrid Work Systems werden verschiedene Methoden und Werkzeuge zur kollaborativen, ergonomischen und produktiven Untersuchung von Arbeitsplätzen unter Einsatz von videobasierter Bewegungserfassung und digitalen Simulationsmethoden bereitgestellt. Am Beispiel der ergonomischen und zeitlichen Bewertung einer Zylinderkopfmontage wurde ein möglicher Workflow für MoCap und Arbeitsprozesssimulation unter Einsatz des ema Work Designer dargestellt. Auf Basis eines entwickelten videobasierten Bewegungssystems von ProFactor sowie einer Objekterkennung können Bewegungen und relevante Objekte aus Videos erfasst werden. Diese Informationen können anschließend in den ema Wizard übertragen und damit eine erste Umgebung und Simulation im emaWD erstellt werden. Durch die Kombination von aufgenommenen Bewegungen mit ema-Verrichtungen im emaWD kann der Ist-Prozess um Gestaltungsvarianten erweitert werden.

Die Zylinderkopfmontage wurde zusätzlich im emaWD unter Einsatz verschiedener Menschmodelle mit bestimmten Fähigkeiten (Alter, Geschlecht, verschiedenen Körpermaßen, Beweglichkeit) simuliert und bewertet. So konnte aufgezeigt werden, dass alle relevanten Werker\*innen im Arbeitsprozess eingesetzt werden können, jedoch ergonomischer Verbesserungsbedarf besteht.

Als nächste Schritte werden in den nächsten Monaten die einzelnen Methoden in die digitale Plattform Hybrid Work System eingebunden und in verschiedenen Industrieunternehmen erprobt. Damit soll eine kooperative, ortsunabhängige Zusammenarbeit erleichtert sowie die Unternehmen bei der Gestaltung ergonomischer, alter(n)s-gerechter sowie wirtschaftlicher Arbeitsprozesse unterstützt sowie ein Zugang zu weiterer Fachexpertise erschlossen werden.

## 6. Literatur

- Heindl C, Stübl G, Pönitz T, Pichler A, Scharinger, J (2019) Visual large-scale industrial interaction processing. Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers (pp. 280-283). doi: 10.1145/3341162.3343769
- Fritzsche L, Ullmann S, Bauer S, Sylaja VJ (2019) Task-based digital human simulation with Editor for Manual work Activities – industrial applications in product design and production planning. DHM and Posturography: 569–575. doi: 10.1016/B978-0-12-816713-7.00042-8
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft, 4. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg.
- Spitzhirm M, Ullmann S, Fritzsche L (2022a) Considering individual abilities and age-related changes in digital production planning—human-centered design of industrial work tasks with ema software. Z. Arb. Wiss. 76, 459–477, <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00343-5>
- Spitzhirm M, Benter M, Heindl C, Scheder N, Reisinger G, Strohmeier G, Behrendt W (2022b) Hybrid work systems—platform-based work planning—designing productive and human-centered work processes. Z. Arb. Wiss. 76, 489–509, <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00342-6>
- Yunus MNH, Jaafar MH, Mohamed ASA, Azraai NZ, Hossain MS (2021) Implementation of Kinetic and Kinematic Variables in Ergonomic Risk Assessment Using Motion Capture Simulation: A Review. International Journal of Environmental Research and Public Health 18(16): 8342. doi: 10.3390/ijerph18168342

**Förderung:** Das Projekt “Hybrid Work Systems“ wird aus Mitteln des österreichischen Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie im Rahmen des Forschungsprogramms „IKT der Zukunft“ der Forschungsförderungsgesellschaft FFG unterstützt.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

## Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher  
und nachhaltiger Arbeitssysteme  
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023**

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und  
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023  
ISBN 978-3-936804-32-4

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**

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

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