

Entwicklung eines Konzepts zur Nutzeradaptivität Kognitiver Assistenzsysteme am Beispiel der manuellen Montage von Brennstoffzellenstackkomponenten

Benedikt KELM¹, Paul Hubert HAAS², Lennard MARGIES², Rainer MÜLLER¹

¹*Lehrstuhl für Montagesysteme, Universität des Saarlandes,*

²*Forschungsbereich Montagesysteme*

*Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) gGmbH,
Eschberger Weg 46, D-66121 Saarbrücken*

Kurzfassung: Kürzer werdende Produktlebenszyklen und eine steigende Variantenvielfalt führen dazu, dass auch in hoch automatisierten Industrienationen zukünftig eine Vielzahl von Montageaufgaben manuell ausgeführt werden. Gleichzeitig gilt es, die Herausforderungen eines zunehmenden Fachkräftemangels und einer immer heterogener werdenden Belegschaft in Bezug auf Alter, Qualifikation und Erfahrung zu bewältigen. Im Rahmen dieses Spannungsfeldes gewinnen Kognitive Assistenzsysteme zur Vermeidung von Über- und Unterforderung verstärkt an Bedeutung. Aufgrund dessen wird im vorliegenden Beitrag ein Konzept zum nutzeradaptiven Einsatz Kognitiver Assistenzsysteme am Beispiel einer manuellen Montagestation für Brennstoffzellenstackkomponenten auf Basis eines partizipativen Recommender-Systems vorgestellt.

Schlüsselwörter: Kognitive Assistenzsysteme, Nutzeradaptivität, Partizipativ, Recommender-System

1. Einleitung

Komplexer werdende Produkte, eine zunehmende Variantenvielfalt und verkürzte Produktlebenszyklen (Reinhart & Zühlke 2017) führen dazu, dass die Ähnlichkeit von Montageaufgaben abnimmt. Dies resultiert in einer Steigerung der kognitiven Belastung und erschwert die routinierte Ausführung von manuellen Montageaufgaben. Folglich steigt die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Ausführung und somit eines instabilen Montageprozesses. Kognitive Assistenzsysteme ermöglichen, die Ausführung manueller Tätigkeiten und die damit verbundene Entscheidungsfindung zu unterstützen sowie den Montagefortschritt zu überwachen und somit die geforderte Qualität sicherzustellen (Fast-Berglund et al. 2013). Gleichzeitig führt der demografische Wandel zu einem Fachkräftemangel und einer zunehmenden Heterogenisierung der Belegschaft in Hinblick auf Alter, Qualifikation und Erfahrung (Abele & Reinhart 2011). Herkömmliche Kognitive Assistenzsysteme berücksichtigen diesen Kontext oft nur unzureichend, was zu ineffizienter Informationsbereitstellung und mangelnder Akzeptanz in der Belegschaft führen kann. Daher besteht das Ziel dieses Beitrags in der Entwicklung eines Konzepts für den nutzeradaptiven Einsatz Kognitiver Assistenzsysteme, das durch die Berücksichtigung der individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten von Beschäftigten einer Über- oder Unterforderung entgegenwirkt. Grundlage dafür bildet ein menscherfassungsbasiertes, partizipatives Recommender-System. Dies

ermöglicht eine kompetenzgerechte Anpassung der Art und Tiefe der bereitgestellten Montageanweisungen. Die Umsetzung des Konzepts wird am Beispiel der Montage von Brennstoffzellenstackkomponenten an einer manuellen Montagestation dargelegt.

2. Grundlagen und Stand der Forschung

Aufgrund seiner vielseitigen motorischen und kognitiven Fähigkeiten ist der Mensch der Schlüsselakteur in der manuellen Montage (Lotter 2012). Zur Beschreibung des menschlichen Lernverhaltens bietet sich eine Differenzierung zwischen Fähigkeiten und Fertigkeiten an (Schlick et al. 2018). Die Fähigkeit beschreibt das grundlegende Vermögen, eine Handlung auszuführen, während die Fertigkeit die erworbene Geschicklichkeit oder Routine bei der Ausführung dieser Handlung darstellt. Die Kombination von Fähigkeit und Fertigkeit führt zur Entwicklung von Kompetenz. Erfolgreiches Lernen steigert die Fertigkeiten und somit die Kompetenz. Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kompetenzniveau und der Anzahl der Wiederholungen einer Montageaufgabe. Dazwischen erstreckt sich die Komfortzone, die mit wachsender Kompetenz größer wird. Außerhalb dieses Bereichs können Über- oder Unterforderung zu Fehlern und Leistungseinbußen führen (Dander et al. 2021).

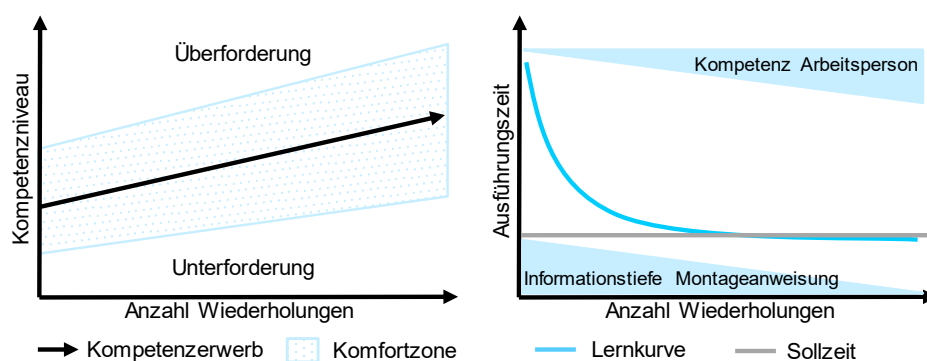


Abbildung 1: Links: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Kompetenzniveau, Anzahl der Wiederholungen und der resultierenden Komfortzone. Rechts: Lernkurve in der Montage (eigene Darstellung in Anlehnung an Dander et al. 2021).

Der zeitliche Verlauf des Lernprozesses bzw. des Kompetenzerwerbs lässt sich mathematisch mithilfe von Lernkurven beschreiben. Lernkurven stellen den Zusammenhang zwischen der Abnahme der für die Ausführung einer Tätigkeit benötigten Zeit und der Anzahl ihrer Ausführungen dar (Schlick et al. 2018). Der degressive Verlauf der Ausführungszeit nähert sich asymptotisch einem Grenzwert an. Dieser sollte in der Montage etwas niedriger als die Sollzeit sein, die beispielsweise durch die Anwendung von Systemen vorbestimmter Zeit festgelegt werden kann. Lernkurven ermöglichen, das Lernverhalten anhand von Ausführungszeiten zu beschreiben (vgl. Abbildung 1) und sind daher geeignet, die individuelle Kompetenz einer Arbeitsperson bei der Ausführung von wiederkehrenden Montageaufgaben darzustellen. Durch die wiederholte Ausführung der Montageaufgabe durchläuft die Arbeitsperson einen Lernprozess, der zu einer ständigen Veränderung ihres wahrgenommenen Anforderungsniveaus führt. Je nach individueller Kompetenz verlässt sie ihre Komfortzone. Eine Anpassung der Montageanweisung an das Kompetenzniveau der Arbeitsperson ist daher sinnvoll (Dander et al. 2021). In der Literatur existieren einige Konzepte zur

Anpassung der Montageanweisungen (Syberfeldt et al. 2016; Kölz et al. 2015), die auf der Ausführungszeit und der Fehlerhistorie basieren. Dabei werden unterschiedliche Formen von Montageanweisungen verwendet, z. B. Textanweisungen, grafische Hervorhebungen, Füge-Animationen sowie projizierte Konturen.

In Experimenten konnte bereits nachgewiesen werden, dass die Erstausführungsdauer einer Montageaufgabe mit abnehmendem Abstraktionsgrad bzw. mit zunehmender Informationstiefe der Montageanweisung sinkt (Jeske et al. 2014). Zudem konnte gezeigt werden, dass der Lernfortschritt von der Art der Informationsbereitstellung abhängt. So zeigte sich bei text- und bildbasierten Montageanweisungen eine Verbesserung der menschlichen Zuverlässigkeit, die anhand einer abnehmenden Fehleranzahl festgestellt wurde. Bei animationsbasierten Montageanweisungen nahm die Fehleranzahl zunächst ebenfalls ab, stieg dann aber wieder an. Dies kann auf eine fehlleitende Salienz, d. h. eine unangemessen auffällige Gestaltung von Informationen bzw. Montageanweisungen zurückgeführt werden, die im Wiederholfall aufgrund ihrer geringen Bedeutung zu einer Missachtung führt (Jeske et al. 2014).

3. Entwicklung eines Konzepts zur nutzeradaptiven Informationsbereitstellung

Basierend auf den Zusammenhängen, die in Kapitel 2 dargelegt wurden, bildet die abnehmende Informationstiefe der Montageanweisungen bei steigender Kompetenz der Arbeitsperson die Grundlage für das im Folgenden vorgestellte Konzept der Informationsbereitstellung. Hierzu werden ein Beamer- und ein Laserprojektor vorgeschlagen, die unterschiedliche Informationsbereitstellungsoptionen für die Montageanweisungen ermöglichen. Darüber hinaus werden die einzelnen Montageaufgaben nach MTM-2 in Entnahme- (Aufnehmen = Hinlangen, Greifen und Loslassen) und Hauptfunktionen (Platzieren = Bringen und Fügen) unterteilt. Zur Darstellung von Hauptfunktionen kommen unter anderem Animationen und Bilder zum Einsatz. Animationen stellen den Fügeprozess in Form eines animierten Aufeinanderschwebens der Fügeteile dar. Bilder visualisieren den Fügeprozess, indem die Fügerichtung durch Pfeile kenntlich gemacht wird. Zusätzlich wird eine in-situ-Laserprojektion genutzt, um Fügepositionen oder Schraubpunkte auf dem Basisfügeteil in Form von Laserkonturen anzuzeigen. Zur Darstellung der Entnahmefunktionen wird ein "Pick-by-Light-System" eingesetzt, um die passenden Materialbereitstellungselemente für die Bauteilentnahme zu markieren. Zusätzlich werden Textanweisungen verwendet, welche sowohl Haupt- als auch Entnahmefunktionen beschreiben. Das vorgestellte Konzept wird um die Option der Warnung ergänzt, die besondere Hinweise in Text- und Bildform ermöglicht.

Um die zur Nutzeradaptivität notwendige dynamische und individuelle Bereitstellung von Montageanweisungen zu gewährleisten, sind Informationen über die individuellen und prozessbezogenen Kompetenzen der jeweiligen Arbeitsperson erforderlich. Hierfür bietet sich die Anwendung eines stufenbasierten Kompetenzmanagementmodells an. Im Rahmen dieses Beitrags wird dazu das in der Industrie bewährte vierstufige ILUO-Modell herangezogen. Über die digitale Erfassung der individuellen Ausführungszeiten (vgl. Kapitel 4) lassen sich personenindividuelle Lernkurven ermitteln und, wie in Tabelle 1 dargestellt, eine nutzeradaptive und kompetenzgerechte Eingruppierung in eine Kompetenzstufe vornehmen.

„Anfänger“ in Kompetenzstufe I erhalten eine Animation, eine Textanweisung für Haupt- und Entnahmefunktion, eine Laserkontur und einen Pick-by-Light-Hinweis

sowie eine Warnung/Hinweis. Dieser Stufe wird jede Arbeitsperson zugeordnet, die ein bestimmtes Produkt an der entsprechenden Montagestation noch nie oder seit mehr als einem Monat nicht mehr montiert hat, was auch für den Fall eines Variantenwechsels gilt. Sinkt die Ausführungszeit unter das 1,5-fache der MTM-Sollzeit (Kölz et al. 2015) und hat die Arbeitsperson die Montageaufgabe dreimal fehlerfrei durchgeführt, erreicht sie die Stufe L „Köner“. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei Unterschreitung des 1,5-fachen der MTM-Sollzeit, die Animation nicht mehr vollständig angesehen und somit nicht mehr benötigt wird (vgl. Kapitel 2, Jeske et al. 2014). Daher wird in dieser Stufe ein Bild des Fügevorgangs gezeigt und auf eine Textanweisung der Entnahmefunktion verzichtet, die nun lediglich durch das Pick-by-Light-System vorgegeben wird.

Tabelle 1: Nutzeradaptives Informationsbereitstellungsmodell zur kompetenzgerechten Anpassung der Art und Tiefe der Montageanweisungen

Kompetenzstufe	Schwellwert zu Erreichung der Stufe	Hauptfunktion				Entnahmefunktion		Warnung/Hinweis	Verwendungsgrund
		Animation	Bild	Text	Laserkontur	Text	Pick-by-Light		
I	Neues Produkt/Variante oder noch nie an Station gearbeitet oder Produkt >1 Monat nicht mehr montiert	x		x	x	x	x	x	Tutoriell
L	$t < 1,5 \times \text{MTM}$ und nach dreimaliger fehlerfreier Ausführung		x	x	x		x	x	Festigung Lernprozess
U	$t < 1,2 \times \text{MTM}$ und nach erneut siebenmaliger fehlerfreier Ausführung		x	x	x		x	x	Aufbau Routine
O	t gleitender Mittelwert der letzten fünf Ausführungen $\leq \text{MTM}$								Stiller Begleiter

x Standard

x Fehlerhistorienabhängig

Sinkt die Ausführungszeit unter das 1,2-fache der MTM-Sollzeit (Kölz et al. 2015) und wurde die Montageaufgabe erneut siebenmal fehlerfrei ausgeführt, erreicht die Arbeitsperson Stufe U „Fortgeschrittener“. Es kann davon ausgegangen werden, dass weder die Textanweisung noch das Bild länger betrachtet werden. Zudem bildet sich nach insgesamt mindestens zehn Wiederholungen der Montageaufgabe ein wiederkehrendes Verhaltensmuster (Ronis et al. 2014) in Form einer Montageroutine aus. Deshalb werden lediglich Laserkonturen auf das Basisfügeteil projiziert und zusätzlich markiert das Pick-by-Light-System die Bauteilentnahme. Außerdem besteht die Option, in Abhängigkeit der individuellen Fehlerhistorie die Hauptfunktionen Textanweisung, Bild sowie Warnungen oder Hinweise temporär hinzuzuschalten.

Sobald der gleitende Mittelwert der Ausführungszeit fünf aufeinander folgender Durchläufe gleich oder kleiner als die MTM-Sollzeit ist, wird die Arbeitsperson in Stufe O zum „Experten“ hochgestuft, da davon ausgegangen werden kann, dass die Montageanweisungen aufgrund der meist engen Sollzeitvorgaben nicht mehr benötigt bzw. beachtet werden. In den Stufen I und L werden immer Warnungen und Hinweise ausgegeben, da sich die betroffenen Arbeitspersonen in einem Lernprozess befinden („training on the job“) und die Informationen möglicherweise noch nicht verinnerlicht haben. In Stufe U ist eine höhere Routine vorhanden, sodass Warnungen oder Hinweise nur bei Montagefehlern ausgegeben werden. Abbildung 2 verdeutlicht die Möglichkeiten, die durch den Beamer projizierten Montageanweisungen im Rahmen des vorgestellten ILUO-Modells in ihrer Informationstiefe kompetenzgerecht anzupassen.

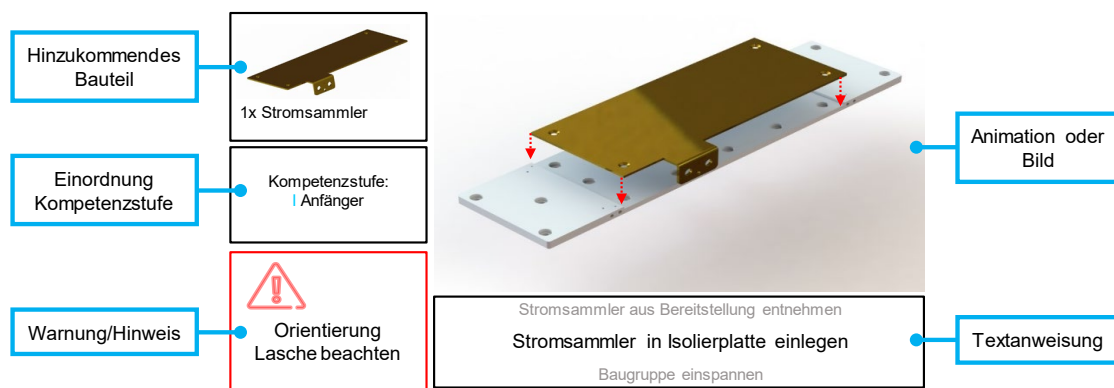


Abbildung 2: Möglichkeiten zur kompetenzgerechten Anpassung der Informationstiefe der projizierten Montageanweisungen.

4. Umsetzung

Zur personenindividuellen Einordnung in das vorgestellte ILUO-Modell ist eine Erfassung der menschlichen Arbeitsabläufe erforderlich, insbesondere die Erfassung von Tätigkeitszeiten und Fehlern. Als Erfassungstechnologien werden neben Tiefenbildkameras intelligente Betriebsmittel eingesetzt. Die Tiefenbildkameras erfüllen zwei Funktionen. Zum einen dienen sie der Erkennung von Platzierungs- und Lagefehlern und zum anderen dem Tracking der menschlichen Handbewegung. Letztgenannte Funktion erlaubt die Bestimmung der Tätigkeitszeiten. Aus den Daten der Tiefenbildkameras kann durch den Einsatz Neuroner Netze, im konkreten Fall sogenannter Convolutional Neural Networks (kurz: CNN), die genaue Handposition bestimmt werden. Durch die Definition von Entnahme- und Fügebereichen innerhalb der Montagestation können somit Überlappungsmomente zwischen diesen und der Hand der Arbeitsperson identifiziert werden (Andrianakos et al. 2019). Diese Überlappungsmomente initiieren jeweils die Messung von Aufnahme- (Verlassen des Fügebereichs bis Verlassen des Entnahmebereichs) und Platzierzeiten (Verlassen des Entnahmebereichs bis Verlassen des Fügebereichs).

Die Bestimmung etwaiger Tätigkeitsfehler hingegen gestaltet sich je nach Komplexität der Fügeaufgabe schwieriger. Im spezifischen Fall der Montage von Brennstoffzellenkomponenten ist die alleinige Nutzung von Kamerabildern zur Fehlererkennung nicht ausreichend. Daher wird die Montagestation, wie bereits dargelegt, um intelligente Betriebsmittel erweitert, welche die Fehleridentifikation im Kontext kamertechnisch schwer erfassbarer Prozesse, wie Schraub- oder Messvorgänge erleichtern oder erst ermöglichen. Konkret wird im Anwendungsfall eine intelligente Bügelmessschraube und ein trackingfähiger Drehmomentschrauber verwendet.

Aus dem Zusammenspiel von Kameras und intelligenten Betriebsmitteln kann somit sowohl die Bestimmung von Tätigkeitsfehlern als auch -zeiten erfolgen und eine arbeitspersonenspezifische Einordnung in das ILUO-Modell vorgenommen werden. Die Zuordnung von Arbeitspersonen in eine andere Kompetenzstufe soll partizipativ erfolgen, um etwaigen Akzeptanzmängeln entgegenzuwirken. Die Partizipation soll in der Montagestation durch die Integration eines Touchscreen-basierten Recommender-Systems, wie von Haas et al. (2023) vorgestellt, ermöglicht werden. Dieses System gestattet es der Arbeitsperson, eine neue Kompetenzstufeneinordnung abzulehnen oder anzunehmen.

5. Fazit und Ausblick

Mit dem entwickelten nutzeradaptiven Konzept soll die Akzeptanz des Kognitiven Assistenzsystems durch eine kompetenzgerechte Informationsbereitstellung erhöht werden. Dazu werden Art und Tiefe der Montageanweisungen durch eine sukzessive Reduzierung der Informationsbereitstellungsoptionen auf Basis der individuell ermittelten Kompetenzstufe personenindividuell angepasst und so einer Über- bzw. Unterforderung entgegengewirkt. Eine starre Vorgabe wird vermieden, da diese als negative Bevormundung empfunden werden könnte.

Gegenstand konsekutiver Forschung ist es, die Schwellenwerte der Kompetenzstufen durch eine umfassende Probandenstudie zu evaluieren, um die Praxistauglichkeit sicherzustellen. Hierbei sind neben zeitlichen Aspekten auch organisatorische Herausforderungen in der Produktion, wie Urlaubs- und Krankheitszeiten zu berücksichtigen. Die Gebrauchstauglichkeit des nutzeradaptiven Systems in Verbindung mit dem Recommender-System soll mit Hilfe der System Usability Scale sichergestellt werden.

6. Literatur

- Abele E, Reinhart G (2011) Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser.
- Andrianakos G, Dimitropoulos N, Michalos G, Makris S (2019) An approach for monitoring the execution of human based assembly operations using machine learning. *Procedia CIRP* 86:198-203.
- Dander H, Adler P, Witt G (2021) Soziotechnisches Lernsystem am Arbeitsplatz - Förderung der Kompetenz von Mitarbeitenden durch soziotechnische Assistenzsysteme zum flexiblen Einsatz am Arbeitsplatz. *Industrie 4.0 Management*, 6:47–51.
- Fast-Berglund Å, Fässberg T, Hellman F, Davidsson A, Stahre J (2013) Relations between complexity, quality and cognitive automation in mixed-model assembly. *Journal of Manufacturing Systems* 32:449–455.
- Haas PH, Margies L, Müller R (2023) Konzeption eines adaptionsfähigen menschenzentrierten Montagesystems auf der Basis markerloser sensorischer Mitarbeitererfassung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Nachhaltig Arbeiten und Lernen - Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse. Sankt Augustin: GfA-Press, B 4.3.
- Jeske T, Meyer F, Schlick CM (2014) Einfluss der Gestaltung von Arbeitsplänen auf die Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*. 68:1–6.
- Kölz M, Bächler A, Kurtz P, Hörz T (2015) Entwicklung eines interaktiv, adaptiven Montageassistenzsystems. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. Dortmund: GfA-Press, C 4.1.
- Lotter B (2012) Manuelle Montage von Kleingeräten. In: Lotter B, Wiendahl HP (Hrsg.) Montage in der industriellen Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer, 109–146.
- Reinhart G, Zühlke D (2017) Von CIM zu Industrie 4.0. In: Reinhart G (Hrsg.) Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Hanser, XXXI–XL.
- Ronis DL, Yates F, Kirscht JP (2014) Attitudes, Decisions, and Habits as Determinants of Repeated Behavior. In: Breckler SJ, Greenwald AG, Pratkanis AR (Hrsg.) Attitude structure and function. New York: Psychology Press, 227–254.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Syberfeldt A, Danielsson O, Holm M, Wang L (2016) Dynamic operator instructions based on augmented reality and rule-based expert systems. *Procedia CIRP* 41:346–351.

Danksagung: Dieser Beitrag wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des Projektes "H2SkaProMo" (03EN5014I) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



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