

Regelkreismodell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion am Beispiel eines Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes

Jochen NELLES, Christopher BRANDL, Alexander MERTENS

*Institut für Arbeitswissenschaft (IAW) der RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Der in diesem Beitrag erläuterte menschenzentrierte Gestaltungsprozess für die Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion gibt einen Überblick über die Identifikation des Nutzungskontextes, die Spezifikation der Nutzungsanforderungen, den Entwurf von Gestaltungslösungen und die Evaluierung von Gestaltungslösungen. Weiterhin wird ein Regelkreismodell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluation einer Mensch-Roboter-Interaktion dargestellt. Abschließend werden auf Grundlage einer Literaturrecherche Fragebogen und psychophysiologische Messmethoden vorgestellt, anhand derer das menschliche Wohlbefinden und die Performance eines Mensch-Roboter-Systems erhoben werden können.

Schlüsselwörter: Regelkreismodell, Gestaltung, Evaluierung, Fragebogen, Messmethoden, Mensch-Roboter-Interaktion

1. Einleitung

Sowohl in der Industrie als auch im privaten und kommerziellen Servicebereich steigen die Absatzzahlen für Roboter, damit einhergehend nimmt die Anwendung von Robotern in unmittelbarer Interaktion mit dem Menschen zu (IFR 2016). Diese Entwicklung wirft die Frage auf, wie eine Mensch-Roboter-Interaktion menschenzentriert gestaltet werden kann.

Die International Ergonomics Association und die DIN EN ISO 26800 definieren Ergonomie als „wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Menschen und anderen Elementen eines Systems befasst bzw. als der Berufsstand, der Theorie, Grundsätze, Daten und Verfahren auf die Gestaltung von Systemen anwendet, mit dem das Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren“ (Dul 2002). Der Ansatz der menschenzentrierten Gestaltung zielt darauf ab, (Arbeits-)Systeme zu entwickeln, die auf den Erkenntnissen der Arbeitswissenschaft bzw. Ergonomie (engl. Ergonomics, human factors) beruhen. Weiterhin ist gemäß DIN EN ISO 9241-210 unter Gebrauchstauglichkeit das Ausmaß zu verstehen, „in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um festgelegte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“.

Insgesamt verbessert der Ansatz der menschenzentrierten Gestaltung das menschliche Wohlbefinden, erhöht die Systemperformance und steigert die Gebrauchstauglichkeit. Aus dem Anspruch der Arbeitswissenschaft das menschliche Wohlbefinden und die Performance des Systems zu optimieren, leitet sich die

Forschungsfrage ab: Wie können das menschliche Wohlbefinden und die Performance eines Mensch-Roboter-Systems gestaltet und evaluiert werden?

2. Menschzentrierter Gestaltungsprozess für Mensch-Roboter-Interaktion

Gemäß dem Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210 basiert der menschzentrierte Gestaltungsprozess auf der Identifikation des Nutzungskontextes, der Spezifikation der Nutzungsanforderungen, dem Entwurf von Gestaltungslösungen und der Evaluierung von Gestaltungslösungen – hierbei können je nach Evaluierungsergebnis, falls die Gestaltungslösung die Nutzungsanforderungen nicht erfüllt, Iterationen angezeigt sein (s. Abbildung 1).

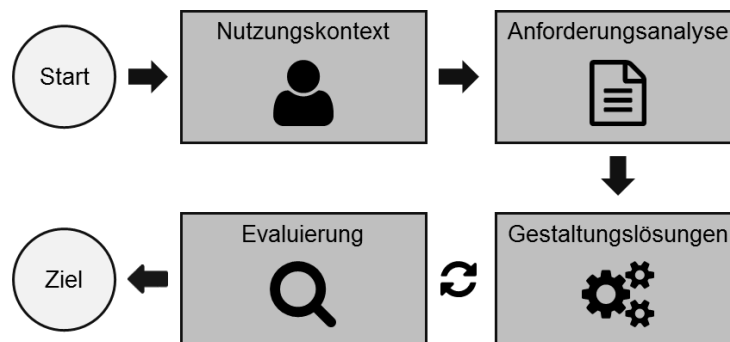


Abbildung 1: Menschzentrierter Gestaltungsprozess, modifiziert nach DIN EN ISO 9241-210

2.1 Identifikation des Nutzungskontextes

Bei der Identifikation des Nutzungskontextes sind neben den Benutzern, der Aufgaben und der Umgebung – in Analogie zur Definition eines Arbeitssystems nach Schlick et. al. (2010) – der Arbeitsauftrag, die Arbeitsgegenstände und die Arbeitsmittel zu beschreiben (DIN EN ISO 9241-210). Dieser Beitrag fokussiert vor allem auf die Mensch-Roboter-Interaktion am Beispiel eines Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes. Die Klassifikation des Roboters kann mit dem Schema „Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle“ nach Onnasch et. al. (2016) erfolgen. Diese Taxonomie kategorisiert die Mensch-Roboter-Interaktion und Roboter nach Kommunikationskanal, Aufgabe des Roboters, räumlicher Nähe, zeitlicher Nähe, Interaktionsform, Einsatzgebiet des Roboters, Morphologie des Roboters, Interaktionsrolle des Menschen, Autonomiegrad des Roboters und Teamzusammensetzung (Onnasch 2016). Weiterhin sind bei der Identifikation des Nutzungskontextes ethische, rechtliche und soziale Implikationen (ELSI) bzw. Aspekte (ELSA), die Technikakzeptanz und die Änderungs- bzw. Implementierungsakzeptanz zu berücksichtigen (Bernecker 2002, Bröhl 2016, Manzeschke 2013, Nelles 2016, Nelles 2017).

2.2 Spezifikation der Nutzungsanforderungen

Die Spezifikation der Nutzungsanforderungen erweitert – sofern die klassische Anforderungsanalyse, mit technischen bzw. funktionalen Anforderungen, dies nicht bereits berücksichtigt – die Anforderungsanalyse um Anforderungen hinsichtlich der menschzentrierten Gestaltung. Die Spezifikation der Nutzungsanforderungen sollte

Folgendes beinhalten: den vorgesehenen Nutzungskontext; Anforderungen, die aus den Erfordernissen der Benutzer abgeleitet wurden; Anforderungen, die auf arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen; Anforderungen hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit und messbarer Kriterien für die Erfüllung von Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung; und Anforderungen, die sich aus organisationalen Anforderungen ableiten. Darüber hinaus sollten potentielle Konflikte zwischen den Nutzungsanforderungen, bspw. zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit, zwecks weitergehender Betrachtung dokumentiert werden (DIN EN ISO 9241-210).

2.3 Entwurf von Gestaltungslösungen

Im Anschluss an die Identifikation des Nutzungskontextes und der Spezifikation der Nutzungsanforderungen folgt der Entwurf von anforderungsgerechten Gestaltungslösungen. Gestaltungslösungen haben einen wesentlichen Einfluss auf das Benutzererlebnis. Daher sollte das Benutzererlebnis während des Gestaltungsprozesses berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollte der Entwurf von Gestaltungslösungen folgende Schritte umfassen: Gestaltung des (Arbeits-)Systems und der Mensch-System-Interaktion; Konkretisierung von Gestaltungslösungen, bspw. anhand von Nutzerszenarien, Simulationen oder Prototypen; iterative Änderung von Gestaltungslösungen auf Basis der Ergebnisse der menschenzentrierten Evaluierung der Gestaltungslösungen; und Implementierung der Gestaltungslösungen mit den Umsetzungsverantwortlichen (DIN EN ISO 9241-210).

Hierbei umfasst der Entwurf von Gestaltungslösungen das gesamte (Arbeits-)System einschließlich Aufgaben, Umgebung, Arbeitsauftrag, Arbeitsgegenstände und Arbeitsmittel (Schlick 2010). Im Kontext der Mensch-Roboter-Interaktion sind diesbezüglich sowohl die Interaktion zwischen Mensch und Roboter, als auch der Roboter zu gestalten. Hierbei sind gemäß dem Schema „Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle“ nach Onnasch et al. (2016) die Kategorien Kommunikationskanal, Aufgabe des Roboters, räumlicher Nähe, zeitlicher Nähe, Interaktionsform, Einsatzgebiet des Roboters, Morphologie des Roboters, Interaktionsrolle des Menschen, Autonomiegrad des Roboters und Teamzusammensetzung zu berücksichtigen.

Des Weiteren sind bei dem Entwurf von Gestaltungslösungen die Grundsätze der menschenzentrierten Gestaltung einzuhalten. Hier werden exemplarisch die sieben Grundsätze der Dialoggestaltung (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Lernförderlichkeit, Steuerbarkeit, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit) nach DIN EN ISO 9241-110 aus dem Bereich der Software-Ergonomie genannt.

2.4 Evaluierung von Gestaltungslösungen

Im Anschluss an den Entwurf von Gestaltungslösungen sind die Gestaltungslösungen zu evaluieren. Hierbei wird zwischen theoriebasierten, expertenbasierten und nutzerbasierten Evaluationsansätzen unterschieden. Expertenevaluationen sind qualitativ, sie werden bspw. anhand eines Cognitive Walkthrough durchgeführt und orientieren sich an der DIN EN ISO 9241-110, Usability Heuristiken, Style Guides und weiteren Leitfäden. Nutzerbasierte Evaluationen können sowohl qualitativ; bspw. anhand von Befragung, Methode des Lauten Denkens oder Selbstkonfrontation; oder quantitativ, bspw. mittels Video-/Audioanalyse der Benutzerhandhabung, Blickbewegungsanalyse und mentaler sowie physischer Beanspruchungsanalyse, erfolgen.

Weiterhin kann die Evaluierung nach dem Evaluationszeitpunkt differenziert werden. Bei einer summativen Evaluation wird ein bereits fertiges Produkt global und zusammenfassend bewertet. Hingegen findet bei einer formativen Evaluation die Bewertung während der Systemgestaltung statt, das Evaluationsverfahren wird in den Entwicklungsprozess eines entstehenden Produktes mit eingebunden. Eine Mischform ist die formative-summative Evaluation, hierbei wird ein teilweise fertiges Produkt während des Produktentwicklungsprozesses bzgl. der ergonomischen Qualität einzelner Systemfunktionen bewertet. Die Prüfung durch Benutzer kann in unterschiedlichen Reifegraden des Produktes, beispielsweise in frühen Stadien anhand von Modellen, Szenarien oder Skizzen oder in späteren Stadien mittels Prototypen, Laborversuchen oder Feldvalidierungen, durchgeführt werden (DIN EN ISO 9241-110, DIN EN ISO 9241-210, Schlick 2010).

3. Modell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion

In diesem Beitrag wird exemplarisch an einem Mensch-Roboter-Arbeitsplatz ein Modell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion vorgestellt. Der Beitrag thematisiert vor allem die Evaluierung anhand einer empirischen Laborstudie und die Ableitung von Kriterien für eine menschenzentrierte Gestaltung der Interaktion. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich beispielsweise die Evaluierung der Gebrauchstauglichkeit auf dem Gebiet der Mensch-Computer-Interaktion bereits über Jahrzehnte entwickelt hat – der Kontext der Mensch-Roboter-Interaktion ist noch vergleichsweise neu.

Das Modell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion basiert grundsätzlich auf einem Regelkreismodell und wurde in Anlehnung an den „Regelkreis mit dem Menschen als Regler“ nach Schlick (2010) modifiziert und steht in Analogie zum „Wirkungsplan des Temperaturregelkreises“ nach Zacher (2011), siehe Abbildung 2. Darüber hinaus können Aspekte aus dem Modell eines Arbeitssystems nach Schlick (2010) ergänzt werden.

Die im Regelkreismodell als *Führungsgröße w* dargestellte Eingabe besteht aus Material, Energie und Information, und beinhaltet die Informationen hinsichtlich übergeordnetem Arbeitsauftrag und spezieller Arbeitsaufgabe. Die Arbeitsperson bzw. der Mensch als Regler (*Regeleinrichtung*) kann bspw. mittels Kognition, Anthropometrie, Biomechanik und Physiologie beschrieben werden und interagiert – exemplarisch an einem Mensch-Roboter-Arbeitsplatz – mit einem Roboter. Der Roboter (*Regelstrecke*) oder in Analogie zum Arbeitssystem nach Schlick (2010) das Arbeitsmittel, kann durch weitere Geräte und Werkzeuge, bspw. Endeffektor oder Greifer, und Arbeitsgegenstände ergänzt werden. Die Klassifikation des Roboters und die Ausprägung der Mensch-Roboter-Interaktion können mit dem Schema „Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle“ nach Onnasch et. al. (2016) näher beschrieben werden. Bei den *Störgrößen z* handelt es sich um potentielle Einflüsse physikalischer, technischer, organisationaler oder sozialer, personeller oder verhaltensbasierter Art, um ethische, rechtliche und soziale Implikationen bzw. Aspekte oder um Fragen der Technikakzeptanz und der Änderungs- bzw. Implementierungsakzeptanz – diese sind auch bei der Identifikation des Nutzungskontextes zu berücksichtigen. Der Entwickler (*Messeinrichtung*) repräsentiert den iterativen menschenzentrierten Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210. Weiterhin kann der Entwickler als Versuchsleiter fungieren, welcher bspw. im Rahmen einer empiri-

schen Laborstudie ein Versuchsdesign aufstellt, eine Evaluierung durchführt und den Zusammenhang zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen untersucht. Hierbei können sich aus der Arbeitsaufgabe (Innersubjektvariablen) und den Arbeitspersonen (Zwischensubjektvariablen) die unabhängigen Variablen ergeben. Die abhängigen Variablen können aus dem Arbeitsergebnis resultieren. Der Entwickler erhebt das Arbeitsergebnis sowie Quantität und Qualität (*Regelgröße x*) und wirkt gestalterisch auf das Mensch-Roboter-System ein. Aus dieser Rückführung können sich iterativ gestalterische Maßnahmen, bspw. für die Arbeitsperson eine geänderte Arbeitsaufgabe (*Regelabweichung e*) und bspw. für den Roboter Änderungen bzgl. Hardware oder Software, ergeben. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass aus Sicht der Ergonomie eine angemessene Systemgestaltung gegenüber einer Auswahl oder Schulung von Arbeitspersonen zu bevorzugen ist (DIN EN ISO 26800).

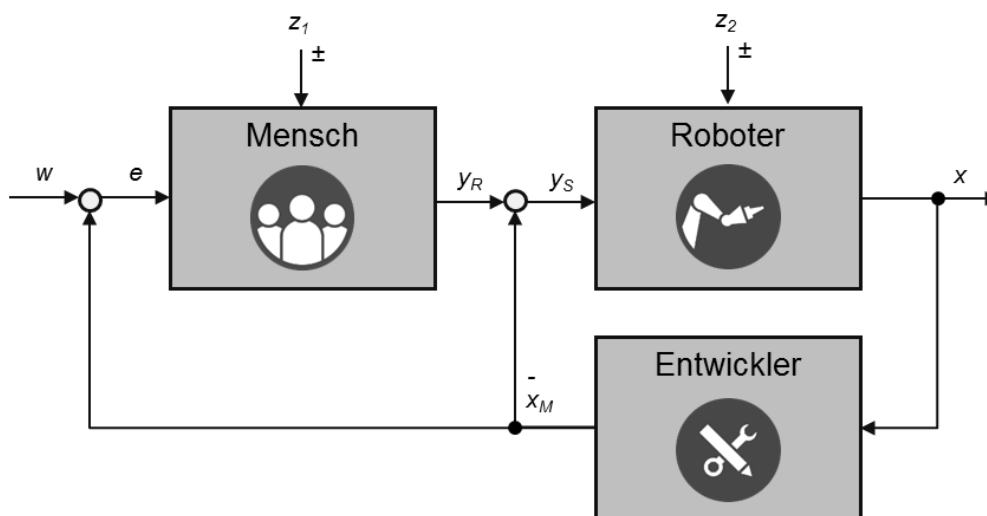


Abbildung 2: Regelkreismodell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion, modifiziert nach Schlick 2010.

Zur Untersuchung der Erhebung des menschlichen Wohlbefindens und der Systemperformance im Kontext der Mensch-Roboter-Interaktion wurde in den Datenbanken von IEEE und Web of Science eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Hierzu wurden im Suchzeitraum 01.01.2000 bis 31.01.2017 aus 3854 Studien durch mehrstufige Filterung 27 als relevant erachtete Beiträge ausgewertet. Grundsätzlich lassen sich die in den Studien verwendeten Evaluierungen in fragebogenbasierte Erhebungen und in psychophysiologische Messmethoden unterscheiden. Teilweise wurden mehrere Fragebogen kombiniert und mit einer psychophysiologischen Messmethode ergänzt.

Weiterhin lassen sich die Erhebungsmethoden darin unterscheiden, ob das menschliche Wohlbefinden oder die Systemperformance erhoben werden soll. Auffällig bei der Recherche ist, dass die untersuchten Studien nicht explizit das menschliche Wohlbefinden, sondern mittels Fragebogen unterschiedliche Faktoren erheben. Im Folgenden werden, auf Grundlage der Literaturrecherche ausgewählte, Faktoren und entsprechende Fragebogen zur Erhebung genannt: Gebrauchstauglichkeit (z.B. System Usability Scale), Vertrauen (z.B. Trust Scale Questionnaire, Human Robot Trust Scale, Trust in Automation, General Trust in Automation), Akzeptanz (z.B. Technology Acceptance Model for Human-Robot Cooperation in Production Systems), Arbeitsbelastung (z.B. NASA Task Load Index) und Angst (z.B. Negative Attitude towards Robots, Robot Anxiety Scale, State-Trait Anxiety Inventory). Die

Performance wurde primär hinsichtlich Effektivität (z.B. Qualität, Fehler, Genauigkeit) und Effizienz (z.B. Bearbeitungszeit) untersucht. Hinsichtlich psychophysiologischer Messmethoden wurden bspw. Herzfrequenz, elektrodermale Aktivität, okulomotorische Aktivität und Muskelaktivität erhoben.

4. Diskussion und Ausblick

Eine allgemeingültige Beantwortung der Forschungsfrage, wie das menschliche Wohlbefinden und die Systemperformance bei einer Mensch-Roboter-Interaktion gestaltet und evaluiert werden können, ist aufgrund der heterogenen Kategorien der Mensch-Roboter-Interaktion und der Passgenauigkeit der Fragebogen und Messmethoden nicht möglich. Jedes Arbeitssystem und jede Mensch-Roboter-Interaktion werden individuell gestaltet und evaluiert werden müssen. Allerdings helfen der menschenzentrierte Gestaltungsprozess und das Regelkreismodell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion bei einer systematischen Gestaltung und Analyse des Mensch-Roboter-Systems.

5. Literatur

- Bernecker, T., & Reiß, M. (2002). Kommunikation im Wandel. Zeitschrift Führung und Organisation, 71(6), 352-359.
- Bröhl, C., Nelles, J., Brandl, C., Mertens, A., Schlick, C. M. (2016). TAM Reloaded: A Technology Acceptance Model for Human-Robot Cooperation in Production Systems. HCI International 2016 – Posters' Extended Abstracts, pp. 97-103.
- Dul, Jan; Bruder, Ralph; Buckle, Peter; Carayon, Pascale; Falzon, Pierre; Marras, William S. et al. (2012): A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. In: Ergonomics 55 (4), S. 377–395. DOI: 10.1080/00140139.2012.661087.
- DIN EN ISO 26800 (2011) Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte, Deutsche Fassung EN ISO 26800:2011.
- DIN EN ISO 9241-210 (2010). Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210: 2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010.
- DIN EN ISO 9241-110 (2006) Ergonomie der Mensch-System,-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110: 2006); Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2006.
- International Federation of Robotics (IFR) <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-report-2016> (Abgerufen am 05.10.2017)
- Manzeschke, A., Weber, K., Rother, E., & Fangerau, H. (2013). Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme.
- Nelles, J.; Bröhl, C.; Spies, J.; Brandl, C.; Mertens, A.; Schlick, C. M. (2016) ELSI-Fragestellungen im Kontext der Mensch-Roboter-Kollaboration, In: Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!. Bericht zum 62. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 03.-05. März 2016, Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA), GfA-Press, Dortmund 2016, ISBN 978-3-936804-20-1, pp. 1-6
- Nelles, J., Kohns, S., Spies, J., Bröhl, C., Brandl, C., Mertens, A., & Schlick, C. M. (2017). Best-practice approach for a solution-oriented technology assessment: Ethical, legal, and social issues in the context of human-robot collaboration. In Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes (pp. 1-14). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Onnasch, L., Maier, X., Jürgensohn, T. (2016). Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua Fokus), Projektnummer: F 2369, PDF-Datei, DOI: 10.21934/baua:fokus20160630
- Schlick, C. M., Bruder, R., & Luczak, H. (2010). Arbeitswissenschaft. Springer-Verlag.
- Zacher, S., & Reuter, M. (2011). Regelungstechnik für Ingenieure. Analyse, Simulation und Entwurf von Regelkreisen.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(F)T
Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung

64. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FOM Hochschule für
Oekonomie & Management gGmbH

21. – 23. Februar 2018

GfA Press

Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21. – 23. Februar 2018

FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2018

ISBN 978-3-936804-24-9

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.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

USB-Print:

Prof. Dr. Thomas Heupel, FOM Prorektor Forschung, thomas.heupel@fom.de

Screen design und Umsetzung

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de