

Analyse des Einflusses von Gestaltungsparametern des Roboters auf den Tätigkeitsspielraum des Menschen

Verena KLAER

*Institut für Arbeitswissenschaft
TU Darmstadt
Otto-Bernd Straße 2, D-64287 Darmstadt*

Kurzfassung: In diesem Beitrag werden ein Modell sowie ein Untersuchungskonzept zur Untersuchung des Einflusses des Entscheidungs- und Handlungsspielraums auf mentale Beanspruchung und Leistung in der Mensch-Roboter-Kollaboration vorgestellt. Das Thema wird aufbauend auf einer differenzierten Definition des Tätigkeitsspielraums und dem Stand der Forschung in der Mensch-Roboter-Kollaboration motiviert. Es wird untersucht, wie sich die Veränderung des Tätigkeitsspielraums auf die Beanspruchung des Mitarbeiters und die Leistung des Gesamtsystems auswirkt. Darauf aufbauend wird ein Arbeitsmodell vorgestellt, das die geplanten Studien gliedert. Das Untersuchungskonzept wird präsentiert und ein Ausblick auf zukünftige Studien gegeben.

Schlüsselwörter: Handlungsspielraum, Tätigkeitsspielraum, Entscheidungsspielraum, Mensch-Roboter-Kollaboration

1. Einleitung

Gerade im Kontext von Industrie 4.0 wird es zunehmend angestrebt, koexistente, kooperative und kollaborative Roboter in enger Zusammenarbeit in der Montage einzusetzen (Weiss und Huber 2016). Als Hauptgründe für den Einsatz von kooperativen und kollaborativen Robotern wird angegeben, die Effizienz, Qualität und die Flexibilität zu steigern und die Belastungen für den Menschen zu verringern (Bauer et al. 2016). Durch den geteilten Arbeitsraum, und die bei einer Kollaboration angestrebte Verzahnung der Aufgaben (Onnasch et al. 2016) kommt es zu einer gegenseitigen Beeinflussung bei der Ausführung gemeinsamer Aktivitäten. Der Einsatz von kollaborativen und kooperativen Robotern ist somit auch mit einer Neugestaltung von den Arbeitsaufgaben und deren Aufgabenmerkmalen, wie dem Tätigkeitsspielraum verbunden (Rosen 2018).

Im folgenden Beitrag wird ein Rahmen zur Analyse des Tätigkeitsspielraums des Menschen im Kontext von Mensch-Roboter-Kollaboration vorgestellt. Es wird untersucht, wie sich die Veränderung des Tätigkeitsspielraums auf die Beanspruchung des Mitarbeiters und die Leistung des Gesamtsystems auswirkt. Dazu wird zunächst eine Definition für den Tätigkeitsspielraum (Ulich 2011) erarbeitet und dieser in die Dimensionen Zeitkontrolle, Methodenkontrolle (Wall et al. 1990) und Entscheidungsspielraum differenziert. Darauf aufbauend wird ein Arbeitsmodell vorgestellt, das die geplanten Studien gliedert. In diesem Beitrag wird das zugrundeliegende Arbeitsmodell sowie die Forschungsfragen erläutert, ein Untersuchungskonzept präsentiert und ein Ausblick auf zukünftige Studien gegeben.

1. Stand der Forschung

Im folgenden Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen hinsichtlich des Tätigkeitsspielraums erläutert und der aktuelle Forschungsstand zum Einsatz von Kooperierenden und kollaborativen Robotern in der Montage diskutiert. Zusätzlich wird ein Überblick über verwendete Methoden gegeben.

2.1 Tätigkeitsspielraum

Die Möglichkeit auf die eigene Arbeit und Handlungen Einfluss zu nehmen, ist von zentraler Bedeutung für Emotionen, Kognition und Verhalten (Österreich, 1981). Die begriffliche Beschreibung dieser Einflussname ist vielfältig, so wird zum Beispiel von Tätigkeitsspielraum gesprochen, aber auch von Autonomie, von Kontrolle, von Produktionsverantwortung oder von Handlungs- und Entscheidungs- oder Gestaltungsspielraum. Unabhängig davon weisen die Modelle häufig einen Zusammenhang zwischen Tätigkeitsspielraum und Gesundheit auf (z. B. im Fall der Autonomie im JDC Modell von Karasek et al (Karasek, 1990). Rosen (2018) zeigte in einem Scoping review, dass auch bestehende Studien einen starken Fokus auf den Bereich der Gesundheit haben. Kleinere Effekte zeigen sich aber ebenfalls hinsichtlich Motivation, Arbeitszufriedenheit und Leistungsfähigkeit (Rosen, 2018). Jedoch legen verschiedene Untersuchungen nahe, dass es sowohl ein „zu wenig“ als auch ein „zu viel“ an Tätigkeitsspielraum geben kann (Bratke, 2016), und Erkenntnisse hinsichtlich des Wirkungspfades des Tätigkeitsspielraums auf Leistungsfähigkeit, Motivation, Arbeitszufriedenheit sowie Gesundheit fehlen.

Der Tätigkeitsspielraum lässt sich gemäß der Handlungsregulationstheorie (Hacker und Sachse 2014) in 3 Ebenen einteilen: Orientierung und Zielbildung, Handlungsplanung und Ausführung.

In Bezug auf die Orientierung und Zielbildung definiert Ulich (2011) den Gestaltungsspielraum als Ausmaß der Autonomie des Beschäftigten und Maß an Entscheidungskompetenz hinsichtlich der Festlegung und Abgrenzung von Tätigkeiten. Dieses ist vergleichbar mit dem Konstrukt der Autonomie im JTC (Hackman & Oldham, 1976) und dem Job-Demand-Control Modell (Karasek, 1990)

In Bezug auf die Handlungsplanung definiert Ulich den *Entscheidungsspielraum* als Möglichkeit zur selbstständigen Gestaltung von Arbeits- und Vorgehensweisen nach eigenen Zielsetzungen (Ulich, 2011).

Die selbstbestimmte Ausführung wird durch den *Handlungsspielraum* bestimmt. Ulich (2011) sieht darin Möglichkeiten zum unterschiedlichen Aufgabenbezogenen Handeln „in Bezug auf Verfahrenswahl, Mitteleinsatz und zeitliche Organisation von Aufgabenbestandteilen“ (Ulich, 2011). Ein ähnliches Vorgehen haben Wall et al (1995), die in Bezug auf den Produktionskontext weiter in *Methodenkontrolle* und *Zeitkontrolle* differenzieren.

2.2 Kooperierende und kollaborierende Roboter in der Montage

In der Montage werden zunehmend Roboter in Koexistenz oder auch in Kooperation an verschiedenen Arbeitsplätzen, das heißt im direkten Arbeitsbereich des Menschen, eingesetzt. Mensch-Roboter-Kollaboration, im Sinne einer engen und situationsangepassten Bearbeitung von Teilaufgaben (Onnasch et al. 2016), findet bisher weniger Anwendung, aber eine Steigerung der Effizienz bei kleinen Losgrößen motiviert einen vielseitigen Einsatz eines Roboters in verschiedenen Aufgaben. Dieses umfasst zum

Beispiel den Einsatz des Roboters zum Greifen und verbinden von Teilen, und zur Ausführung von „Pick&Place“ Aufgaben sowie werkzeuggebundene Aufgaben wie zum Beispiel des Anziehens von Schrauben (Bauer et al. 2016).

In Bezug auf eine variable Produktion von Baureihen mit kleinen Losgrößen fordert Rickert et al. (2016), dass die Bedienung der Roboter so gestaltet werden soll, dass Facharbeiter sie ohne großen Ausbildungsaufwand bedienen können (Rickert und Perzylo 2016). Aufgrund der Komplexität der Sicherheitsanforderungen wird in der Praxis jedoch aktuell noch stark zwischen kleineren Fehlerbehebungen, wie zum Beispiel dem Entwirren eines Materialstaus und Neuauslegungen unterschieden (Bauer et al. 2016). Gegenläufig dazu ist die eine aktive Einbindung von Roboter und des Menschen in die Gestaltung des Arbeitsprozesses, sodass situationsgerecht die traditionellen Rollenverteilungen um die der Zusammenarbeit erweitert werden (Dehais et al. 2011).

Die Zusammenarbeit mit dem Roboter im direkten Arbeitsumfeld birgt aber auch das Risiko steigender Monotonie durch eine Reduktion der Nebentätigkeiten. Ebenso können die in der Mensch-Roboter Kollaboration propagierten engen zeitlichen und örtlichen Kopplungen der Arbeitsprozesse von Mensch und Roboter zu einer Verringerung des Handlungsspielraums des Menschen führen.

Zusammenfassend lässt sich sagen dass der Einsatz von Robotern zur gemeinsamen Erreichung eines Arbeitsauftrags im gleichen Arbeitsraum mit dem Menschen zunimmt. Dabei bewirken eine enge Kopplung im Mensch-Maschine- System eine Veränderung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums.

2.3 Bewertung der Auswirkungen des Robotereinsatzes auf den Menschen

Menschliche Faktoren sind ein wesentlicher Faktor für die erfolgreiche Gestaltung von Mensch Roboter Interaktion (Charalambous et al. 2017). Die Vielzahl der verwendeten Konstrukte, Fragebögen und Methoden und heterogenen Kategorien der Mensch-Roboter-Interaktion machen dabei eine generelle Systembewertung hinsichtlich Ergonomie und Leistung des Mensch-Maschinesystems schwierig (Nelles et al. 2019).

Es gibt bereits Forschungsarbeiten, in denen das Prozesswissen und die Autorität im Bereich der Aufgabenallokation auf den Roboter übertragen wird (Gombolay et al. 2017; Tausch 2019). Dabei deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Entscheidung akzeptiert wird, solange sie nachvollziehbar ist und die Leistung des Gesamtsystems verbessert wird. Allerdings zeigen sich auch eine Abnahme der Situation Awareness (Gombolay et al. 2017).

Arai und Kato (2010) evaluierten verschiedene Gestaltungsparameter einer Montagezelle und untersuchten insbesondere den physischen Nähe des Roboters, und den Einfluss der Geschwindigkeit und Voraussagbarkeit der Bewegungen hinsichtlich der mentalen Beanspruchung auf der Basis von Fragebögen und psychophysiologischen Messmethoden (Arai et al. 2010). Weitere Studien erheben die subjektive Beanspruchung basieren auf Fragebögen wie zum Beispiel dem NASA-TLX und STAI-S Questionnaires (Dehais et al. 2011). Dabei wird deutlich, dass die enge Koppelung von Mensch und Roboter mentalen Stress beim Menschen auslösen kann. Die erreichte Systemleistung wird bisher zumeist quantitativ in Bezug auf die Effizienz und die Effektivität bewertet, aber auch die Qualität, Fehlererkennung und Behebung derer werden bewertet (Arai et al 2010; Nelles et al. 2019).

3. Arbeitsmodell

Anhand der Analyse des Stands der Forschung wird deutlich, dass es fehlendes Wissen hinsichtlich der optimalen Gestaltung des Tätigkeitsspielraums, insbesondere des Entscheidungs- und des Handlungsspielraums des Menschen im Kontext flexibler und adaptiver Automatisierung durch kollaborative Roboter in der Montage gibt. In Bezug auf eine erfolgreiche Einführung der Systeme ist vor allem eine Bewertung des Einflusses auf die Leistungsfähigkeit und der mentalen Belastung von Interesse.

Dabei ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

- Wie wirkt sich der Handlungsspielraum in der Mensch Roboter Kollaboration auf das Wohlbefinden des Menschen und auf die Leistung des Menschen und des Gesamtsystems aus?
- Wie wirkt sich der Entscheidungsspielraums in der Mensch Roboter Kollaboration auf das Wohlbefinden des Menschen und auf die Leistung des Menschen und des Gesamtsystems aus?

Zur Verdeutlichung des Forschungsansatzes wird das in Abbildung 1 dargestellte Arbeitsmodell genutzt. Dieses Mensch-Maschine System besteht aus Mensch und Roboter, die einen gemeinsamen Arbeitsauftrag bearbeiten. Entsprechend der aktuellen Praxis wird der Arbeitsauftrag von einer externen Instanz in Aufgaben aufgeteilt, das Maß mit dem der Mensch auf diese Aufgabenteilung Einfluss nehmen kann ist Teil des Entscheidungsspielraums. Dabei wird der Handlungsspielraum durch die gegenseitige Beeinflussung der Aktivitäten bestimmt.

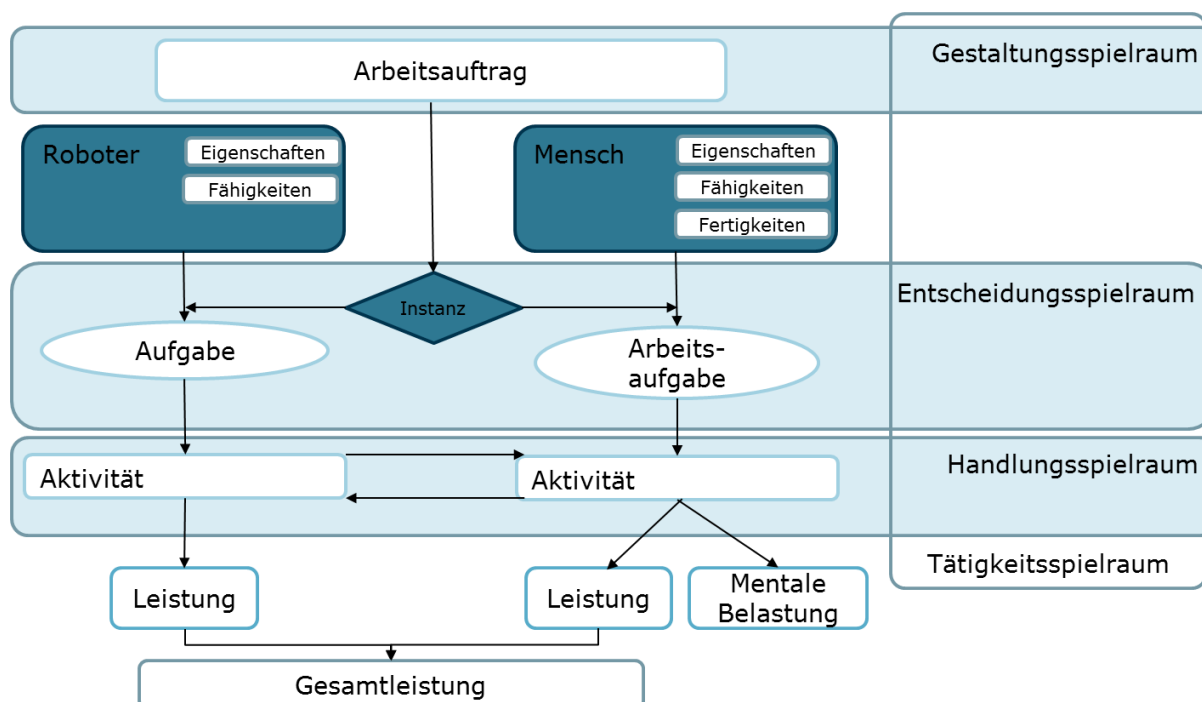


Abbildung 1: Arbeitsmodell hinsichtlich des Mensch-Maschine-Systems und der Wirkbereiche des Gestaltungsspielraums, Entscheidungsspielraums und des Handlungsspielraums.

4. Forschungsansatz

Die formulierten Forschungsfragen werden in einer Laborstudie analysiert werden. Dabei liegt der Fokus auf der gezielten Veränderung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums und der Messung von Leistung und Beanspruchung des Menschen. Dabei wird die Leistung über die Produktivität gemessen und honoriert. Die mentale Beanspruchung wird sowohl über psychophysiologische Messgrößen, als auch subjektiv über den NASA TLX gemessen. In einer U-Linie werden verschiedene Konfigurationen einer Getriebebaugruppe montiert. Zunächst werden die Teilnehmer begrüßt und die Fähigkeiten des Roboters im kooperativen Betrieb demonstriert. Dabei wird auf Sicherheitsfeatures eingegangen und der Roboter führt beispielhaft eine Pick and Place Aufgabe und eine Fügeaufgabe aus. Anschließend werden drei Arbeitsaufträge vom Versuchsleiter instruiert und nach einer Eingewöhnungsphase ausgeführt. Der erste Arbeitsauftrag besteht dabei aus zwei separaten Aufgaben, die unterschiedliche Handlungsspielräume aufweisen. Der zweite und dritte Arbeitsauftrag beinhaltet Variation des Entscheidungsspielraums.

4.1 Variation des Handlungsspielraums

In Bezug auf den Handlungsspielraum werden Arbeitsaufgaben mit jeweils einer hohen und niedrigen zeitlichen und räumlichen Kopplung von Aktivitäten in aufeinanderfolgenden Teilarbeitsschritten betrachtet.

In einer niedrigen Ausprägung des Handlungsspielraums liegt eine hohe Kopplung der Aktivitäten von Mensch und Roboter vor. Es gibt zeitliche und örtliche Überschneidungen im Arbeitsprozess, in denen der Mensch seine Aktivitäten für den Roboter unterbrechen muss oder eine direkte Reaktion gefordert ist.

In der hohen Ausprägung des Handlungsspielraums werden die Arbeiten parallel verrichtet. Nach den Aktivitäten des Roboters werden die bearbeiteten Bauteile in einen Puffer eingelagert, aus welchem der Mensch die Teile entnehmen kann. Es gibt keine geplante zeitliche und örtliche Kopplung der Aktivitäten von Roboter und Mensch. Sollte es doch zu einem Zusammenstoß kommen, weicht der Roboter dem Menschen aus. Nach dem Abschluss jeder Aufgabe wird die Beanspruchung bewertet, und die mentale Beanspruchung wird über psycho-physiologische Messgrößen bewertet. Die Gesamtleistung wird mithilfe der Produktivität und Quantität von Fehlern berechnet.

4.2 Variation des Entscheidungsspielraums

Im zweiten und dritten Arbeitsauftrag wird zur Variation des Entscheidungsspielraums ein Szenario initiiert, in der zwei neue Varianten der Baugruppe aufgebaut werden.

In der niedrigen Ausprägung des Entscheidungsspielraums gibt der Roboter Informationen zu der Optimierung der Arbeitsteilung und passt sein Verhalten anschließend an. Der Teilnehmer bekommt vom Roboter vorgegeben, welche Arbeitsschritte er zu erfüllen hat.

In der zweiten Variante hat der Teilnehmer die Möglichkeit auf Basis von dem Versuchsleiter zur Verfügung gestellten Informationen zu entscheiden, welche Teile der Aufgabe er übernehmen möchte. Der Roboter wird mit Unterstützung eines Tutorials an die zugeordneten Aufgaben angeleitet.

5. Fazit und Ausblick

In dem vorliegenden Beitrag wurde der Forschungsstand zum Tätigkeitsspielraum und zum Einsatz von Robotern in der Montage dargestellt. Die ausgewählten Forschungsfragen sowie ein Versuchskonzept zur Untersuchung dieser wurden vorgestellt. Als nächste Schritte sind die Detaillierung des Versuchsablaufs und die Ausführung einer Laborstudie geplant.

6. Literatur

- Arai, T.; Kato, R.; Fujita, M. (2010): Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly. In: *CIRP Annals* 59 (1), S. 5–8. DOI: 10.1016/j.cirp.2010.03.043.
- Bauer, W.; Bender, M.; Braun, Martin; Rally, Peter; Scholtz, Oliver (2016): Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! Stuttgart: Frauenhofer.
- Charalambous, George; Fletcher, Sarah R.; Webb, Philip (2017): The development of a Human Factors Readiness Level tool for implementing industrial human-robot collaboration. In: *Int J Adv Manuf Technol* 91 (5-8), S. 2465–2475. DOI: 10.1007/s00170-016-9876-6.
- Dehais, Frédéric; Sisbot, Emrah Akin; Alami, Rachid; Causse, Mickaël (2011): Physiological and subjective evaluation of a human-robot object hand-over task. In: *Applied Ergonomics* 42 (6), S. 785–791. DOI: 10.1016/j.apergo.2010.12.005.
- Gombolay, Matthew; Bair, Anna; Huang, Cindy; Shah, Julie (2017): Computational design of mixed-initiative human–robot teaming that considers human factors. Situational awareness, workload, and workflow preferences. In: *The International Journal of Robotics Research* 36 (5-7), S. 597–617. DOI: 10.1177/0278364916688255.
- Hacker, W.; Sachse, P. (2014): Allgemeine Arbeitspsychologie. 3., vollständig überarbeitete Auflage.
- Nelles, Jochen; Brandl, Christopher; Mertens, Alexander: Regelkreismodell für die menschenzentrierte Gestaltung und Evaluierung einer Mensch-Roboter-Interaktion am Beispiel eines Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes 2018, zuletzt geprüft am 08.03.2018.
- Nelles, Jochen; Kwee-Meier, Sonja Th.; Mertens, Alexander (2019): Evaluation Metrics Regarding Human Well-Being and System Performance in Human-Robot Interaction – A Literature Review. In: Sebastiano Bagnara, Riccardo Tartaglia, Sara Albolino, Thomas Alexander und Yushi Fujita (Hg.): Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018), Bd. 825. Cham, Switzerland: Springer (Advances in Intelligent Systems and Computing, volume 825), S. 124–135.
- Onnasch, Linda; Maier, Xenia; Jürgensohn, Thomas (2016): Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle.
- Rickert, Markus; Perzylo, Alexander (2016): Industrieroboter für KMU: Flexible und intuitive Prozessbeschreibung. In: *Industrie Management* 32 (2), S. 46–49.
- Rosen, Patricia (2018): Aufgabengestaltung in der Mensch -Roboter -Interaktion – Tätigkeitsspielräume bei teilautomatisierten Produktionsaufgaben. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hg.): ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(f)T- Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung. GfA-Frühjahrskongress, Februar. Frankfurt a. M.
- Tan, J. T. C.; Arai, T. (Hg.) (2010): Analytic evaluation of human-robot system for collaboration in cellular manufacturing system. 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics.
- Tausch, Alina (2019): Wer darf die Zuckermasse anrühren? - Aufgabenzuteilung in der Mensch-Roboter-Interaktion. In: *Komplexität & Lernen* (51).
- Ulich, Eberhard (2011): Arbeitspsychologie. 7., neu überarbeitete und erweiterte Auflage. Zürich, Stuttgart: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich; Schöffer-Poeschel Verlag.
- Wall, Toby d.; Corbett, J. Martin; Clegg, Chris W.; Jackson, Paul R.; Martin, Robin (1990): Advanced manufacturing technology and work design: Towards a theoretical framework. In: *J. Organiz. Behav.* 11 (3), S. 201–219. DOI: 10.1002/job.4030110304.
- Weiss, Astrid; Huber, Andreas (2016): User Experience of a Smart Factory Robot: Assembly Line Workers Demand Adaptive Robots. In: *CoRR* abs/1606.03846.



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