

Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Kollaboration auf Basis von Analyse und Bewertung physischer Belastungen im Fliesenlegen

Verena KLAER¹, Simon NICKLAS², Jurij WAKULA¹, Sven ROGALSKI²

*¹ Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

*² Assisted Working and Automation, HDA Darmstadt
Birkenweg 8, D-64295 Darmstadt*

Kurzfassung: In diesem Beitrag wird die Aufgabenallokation zwischen Roboter und Fliesenleger auf Basis von Tätigkeits- und Belastungsanalysen im BMBF-MAROON-Projekt vorgestellt. Es baut auf die Bewertung der Fliesenlegerteiltätigkeiten zur Feststellung von ergonomischen Optimierungspotentialen und die Analyse der technischen Realisierbarkeit in der Praxis auf. Im Rahmen einer Feldstudie werden die Tätigkeitsanalysen des Fliesenlegehandwerks an vier verschiedenen Baustellen im Wohnungsbau erhoben und mit dem IAD-BkB-Verfahren beurteilt. Zusätzlich werden die Erkenntnisse durch eine Onlinebefragung (n=39) ergänzt. Aufbauend auf diese Analysen wird ein Konzept für einen kooperativen Fliesenlegeprozess mit Roboter bei der Herstellung des Wandbelags unterhalb von 1m Höhe erarbeitet.

Schlüsselwörter: Handwerk, Fliesenlegertätigkeiten, körperliche Belastungen, Mensch-Roboter Kollaboration

1. Einleitung

Der Einsatz von kooperierenden Robotern als Assistenzsystem in Handwerksberufen wird als Chance gesehen die hohen körperlichen Belastungen der Mitarbeiter (Ditchen 2011; Adelman et al. 1994; Wakula & Landau, 2000) zu reduzieren sowie die Produktivität und Qualität aufrechtzuerhalten bzw. zu steigern (Chen et al. 2018). Hierzu soll der Mensch insbesondere seine Flexibilität und kreative Lösungsfindungen beitragen, der Roboter hingegen Wiederholungsgenauigkeit, Kraft, Präzision und Eignung für komplexe und repetitive Aufgaben (Beumelburg 2005; Michalos et al. 2018). Trotz einiger Konzepte für Roboter im Fliesenlegehandwerk (Jongeneel 2010; Nornes 2013) ist bis jetzt kein Gesamtkonzept für einen Roboter im Fliesenlegerhandwerk eingeführt, das kooperativ mit dem Menschen arbeitet. Dabei sind die Hauptherausforderungen die hohe geforderte Mobilität, die ständigen baulichen Veränderungen und Bodenlasten sowie enge Durchgänge (Brell-Cokcan et al. 2017). Ebenso wurde in bisherigen Konzepten die reine Automatisierung einzelner Funktionen angestrebt und keine Aufgabenallokation betrachtet.

In diesem Beitrag wird das Vorgehen zur Aufgabenallokation unter ergonomischen Gesichtspunkten in der Konzeptphase der Entwicklung eines kollaborativen Fliesenlegeroboters präsentiert. Es baut auf die Analyse und Bewertung der Teiltätigkeiten zur Feststellung von ergonomischen Optimierungspotentialen und die Analyse der technischen Realisierbarkeit auf. Die Ergebnisse der Analyse sowie ein Prozess zur Realisierung eines kollaborativen Fliesenlegeprozess werden präsentiert.

2. Methoden zur Aufgabenallokation

Aufgrund der fehlenden Betrachtungen zur Aufgabenallokation im Handwerk und insbesondere im Fliesenlegen, werden verschiedene Vorgehen zur Aufgabenallokation aus dem Bereich der Montageplanung übernommen und ergänzt. Diese hat den Vorteil, dass es sich ebenfalls um einen Fügevorgang handelt.

Der in der Montageplanung am häufigste vertretene Ansatz ist die fähigkeitsorientierten Aufgabenteilung (Schröter 2017; Beumelburg 2005; Michalos et al. 2018). Dabei ist die Zielsetzung eine optimale Ausnutzung der verfügbaren Ressourcen von Mensch und Roboter, die ergonomische Verbesserung der Arbeit des Menschen, die Effizienz, die Wirtschaftlichkeit, die Flexibilität und Arbeitssicherheit (Schröter 2017).

Dabei werden die Stärken und Schwächen der Akteure in einer multiattributiven Wertfunktion zusammengefasst. Diese Bewertung bildet dann die Grundlage für die Optimierung des Gesamtprozesses hinsichtlich der Zielsetzung.

2.1 Kriterien für die Beurteilung der Teilprozessschritte hinsichtlich der Fähigkeiten von Mensch und Roboter

Auf Basis der Literatur wurden die in Tabelle 1 dargestellten Kriterien abgeleitet. Dabei wurde in die Bereiche Ergonomie, Prozess, Umgebung, in Anlehnung an Beumelburg (2005) gewählt.

Tabelle 1: Kriterien zur Beurteilung der Teilprozessschritte hinsichtlich der Fähigkeiten von Mensch und Roboter

Ergonomie		Prozess-Anforderungen		Umgebung	
physische Belastung	(Schröter 2017; Beumelburg 2005)	Sensorische Unterstützung	(Grah und Langbeck 2014)	Zugänglichkeit der Arbeitsfläche	(Brell-Cokcan et al. 2017)
Mentale Belastung	(Grah und Langbeck 2014; Hu und Chen 2017)	Notwendigkeit von Anpassungen	(Beumelburg 2005; Bradshaw et al. 2011; Fechter et al. 2016; Müller et al. 2017)	Arbeitsgegenstand	
Gefährdung	((Weidner et al. 2013; Thrun 2004)	Flexibilität	(Bradshaw et al. 2011; Beumelburg 2005; Müller et al. 2017; Weidner et al. 2013)	Eigenschaften des Arbeitsgegenstands	(Beumelburg 2005; Grah und Langbeck 2014; Michalos et al. 2018)
		Prozesskontrolle	(Beumelburg 2005; Bradshaw et al. 2011; Fechter et al. 2016; Müller et al. 2017)	Material Handhabung	(Beumelburg 2005; Fechter et al. 2016; Michalos et al. 2018; Ranz et al. 2017; Weber und Stowasser 2018)

Aufgrund der speziellen Herausforderungen hinsichtlich der baulichen Veränderung der Umgebung wurde diese Explizit hervorgehoben. Die Kriterien wurden in einem Workshop mit Stakeholdern aus dem Fliesenlegehandwerk Automationsingenieuren und Ergonomie-Experten hinsichtlich der Zielsetzung der ergonomischen Verbesserung des Fliesenlegeprozesses bewertet und gewichtet.

Dabei setzt sich das abgeleitete Optimierungspotential vor allem aus einem guten Maß an physischer und mentaler Belastung sowie der Abwesenheit von Gefährdungen zusammen.

Dem Optimierungspotential gegenüber stehen die sehr umfangreichen und vielschichtigen Anforderungen an das Robotersystem und dessen Realisierung. Diese sind in ihrer technischen Umsetzbarkeit bzw. ihrem Umsetzungsaufwand zu bewerten und ins Verhältnis zu dessen Mehrnutzen zu stellen. Dieses Verhältnis ist als Realisierungspotential (1) darzustellen.

$$\text{Realisierungspotential} = \frac{\text{Mehrnutzen}}{\text{Umsetzungsaufwand}} \quad (1)$$

Dabei spielt insbesondere die Anforderung aus den Operationen hinsichtlich des Arbeitsprozesses in Bezug auf sensorischer Unterstützung, die Notwendigkeit von Anpassungen und Prozesskontrolle eine Rolle. Ebenso ist der Umsetzungsaufwand für den Zugang der Arbeitsfläche und die Handhabung des Materials zu berücksichtigen.

2.2 Datenerhebung

Grundlage für die Bewertung bildet eine Arbeitsanalyse und Beobachtungen vor Ort durch Analytiker vor Ort bei mittelständischen Unternehmen und Kleinbetrieben. Dabei wurde insgesamt 40 h Fliesenlegetätigkeit auf 4 verschiedenen Baustellen beobachtet. Die Projekte variierten zwischen einem Einfamilienhaus als auch Mehrfamilienhaus mit mehreren Baugleichen Bädern. Die Bewertung der physischen Belastungen bei der Ausführung der Teiltätigkeiten erfolgte auf Basis des Experten-screensings IAD-BkB (Ghezel-Ahmadi 2008) bei den Begehungen.

Zusätzlich wurde eine Onlineumfrage ausgeführt. Der Fragebogen beinhaltete Fragen zu der Häufigkeit der einzelnen Tätigkeiten, der körperlichen Beschwerden in Körperregionen (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (Kreuzfeld et al. 2016)) und eine offene Frage zu gewünschten Hilfsmitteln. Die Umfrage wurde per Email an Unternehmen des Bundesverbands Keramik/Fliese BKV verteilt. Die Antworten von 39 Teilnehmern werden ausgewertet.

3. Bewertung der Teilprozesse im Fliesenlegen

Der Fliesenlegeprozess teilt sich in die Arbeitsvorbereitung, das Herstellen der gefliesten Fläche (Wand- oder Bodenbelags) und die Nachbereitung. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse des Herstellens des gefliesten Belags präsentiert. Die Teilschritte des Prozesses sind in Abbildung 1 dargestellt.

3.1 Beurteilung der Teilprozesse hinsichtlich des Optimierungspotentials aus Sicht der Ergonomie

Der zu fliesende Belagsbereich für die ergonomischen Analysen ist in vier Bereiche aufgeteilt: Bodenbereich; Wandbereich bis 100cm; Wandbereich ab 100cm bis 145 cm und Wandbereich oberhalb von 145 cm. Hohe physische Belastung zeichnet sich durch statische Haltung und die ergonomisch belastende Körperhaltung beim Umsetzen und Positionieren der Fliesen in Bereichen von Höhen bis ca. 1m aus. Dort nehmen die Fliesenleger vornehmlich die ergonomisch stark belastenden knienden und hockenden Haltungen ein, um die Fliesen an die Fläche anzubringen. Auch bei der Teiltätigkeit „Fliesenschneiden“ wird sehr oft auf dem Boden in kniende Haltungen gearbeitet. Dieses kann zu einer Dauerkontraktion einzelner Muskeln im Bein und unteren Rückenbereich und zu einer Störung des Stoffwechsels in den Muskeln und Gelenken führen (Schildge 1995). Hier ergibt sich das eindeutige Optimierungspotential durch die physische Entlastung des Fliesenlegers im Rahmen einer Reduzierung der knienden und hockenden Körperhaltungen.

In den Fragebögen wurden die Beschwerden insgesamt mittel bis hoch bewertet, die Beschwerden in den Füßen und Knien wurden als hoch bewertet. In Bezug auf

das Schneiden und Anbringen der Fliesen wurde Staubschutz und -reduktion, eine mobile Schneidverfahren und ein maschinelles Aufbringen gewünscht. In Bezug auf die Planung wurde eine Vereinfachung der Ermittlung der Maße gewünscht.

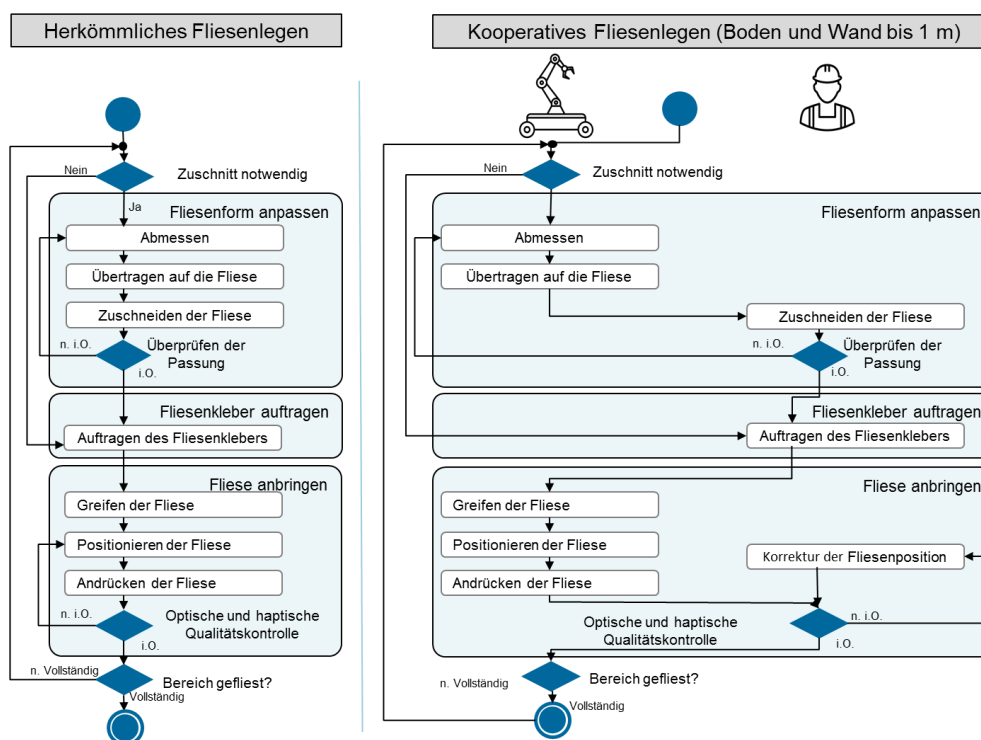


Abbildung 1: *Herkömmlicher Arbeitsprozess und potentieller kooperativer Fliesenlegeprozess für den Wandbereich unterhalb von 1m Höhe*

3.2 Beurteilung der Teilprozesse hinsichtlich des Realisierungspotentials

Der Arbeitsraum, in welchem das System agieren kann steht in Abhängigkeit zu dessen Größe und gleichermaßen dessen Gewicht und Mobilität. Hierdurch entsteht für die Arbeiten an Boden und Wand bis 100cm ein sehr hohes technisches Realisierungspotential, welches mit zunehmender Arbeitshöhe abnimmt.

Ein Multisensorsystem verleiht dem System die Möglichkeit sein Umfeld zu erfassen und eine Fliese beim Positionieren dieser in seiner Position und Ausrichtung zu erfassen, bzw. das Positionieren zu steuern. Auch wenn der Realisierungsaufwand des Sensorsystems als groß zu bewerten ist, so ist der hierdurch entstehende Mehrwert durch die Möglichkeit einer digitalen Qualitätskontrolle durch Auswertung und Deutung der Sensorwerte sehr hoch.

Das Auftragen des Fliesenklebers auf die Fliese bedarf einer Realisierung eines Handhabungs- und Fliesenkleberverarbeitungssystems. Die Umsetzung eines solchen Systems birgt einen hohen Aufwand in Form von Spezialdüsen und geregelter Dosierung des Klebers.

Im Falle von notwendigen Fliesenzuschnitten fällt ein großer Anteil der Arbeit auf das Abmessen der Maße des Zuschnitts und dessen Übertragung auf die Fliese. Durch ein sensorisches und optisches Ausmessen und anschließendes Anzeichnen bzw. Andeuten (projizierter Laser auf Fliese) wird der Fliesenleger unterstützt.

Das Roboter gestützte Zuschneiden von Fliesen weist ein geringes Realisierungspotential auf, da die Integration eines robotergeführten Schneid- bzw. Fräswerkzeugs einen sehr großen Umsetzungsaufwand birgt. Die entstehenden hohen Kräfte, wel-

che im Schneidprozess durch ein robotergeführtes Schneidwerkzeug entstehen, sind durch einen Leichtbauroboter nur schwer zu bewerkstelligen. Ein höheres Realisierungspotential würde durch Einsatz eines Linearachsen-Schneidtisches gegeben sein.

4. Aufgabenallokation für das kooperative Fliesenlegen

Der in Abbildung 1 dargestellte kooperative Prozess von Mensch und Roboter zum Herstellen eines gefliesten Belags, ermöglicht es dem Menschen im unteren Bereich der Wand und am Boden, vornehmlich im Stehen statt im Knien bzw. Hocken zu arbeiten. Dabei werden vom Roboter die Arbeiten des Abmessens und Übertragens auf die Fliese übernommen. Das Aufbringen von Ganzkörperkräften beim Positionieren und Andrücken der einzelnen Fliese entfällt.

Die sensorische Kontrolle der Qualität und Maßhaltigkeit der Fliesen verbleibt beim Menschen, sodass dieser kontinuierlich in den Prozess eingebunden bleibt.

5. Schlussfolgerung

Aus den durchgeführten Feldanalysen und Befragungen der Fliesenleger wurde deutlich, dass ein Optimierungspotential für das Anbringen der Fliesen im Wandbereich (bis 1m Höhe) und die Erstellung des Bodenbelags besteht. Die Ergebnisse dieser Analyse bestätigen die vorangegangenen Studien (Adelmann et al. 1994; Wakula & Landau, 2000; Schildge, 1995; Ditchen 2011).

Dieses wurde Realisierungspotentialen und Hemmnissen einer Realisierung der Tätigkeiten gegenübergestellt. Somit wurde ein Konzept für einen kooperativen Arbeitsprozess von Mensch und Roboter entwickelt. Dabei wurden ebenfalls aus der Arbeitssystemanalyse Anforderungen an das geplante robotische System abgeleitet. Eine Evaluation des gemeinsamen Arbeitsprozesses insbesondere in Bezug auf Sicherheit, sowie der Funktionalität des robotischen Systems stehen noch aus.

6. Literatur

- Adelmann, M.; Bunk, W.; Linke-Kaier, G.; Wakula, J.; Schildge, B.; Rohmert, W. (1994): Fliesen-, Platten- und Mosaikleger. Arbeitsmedizinische und arbeitswissenschaftliche Studie der Belastungen und Beanspruchungen bei der Fliesenlegerarbeit. Frankfurt am Main (Abschlussbericht der Arge-Bau; Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin in der Bauwirtschaft, Band 5).
- Beumelburg, K. (2005): Fähigkeitsorientierte Montageablaufplanung in der direkten Mensch-Roboter-Kooperation. Doktorarbeit. Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Bradshaw, M. J.; Feltoich, P.; Johnson, M. (2011): Human-Agent Interaction. In: Guy A. Boy (Hg.): The Handbook of Human-Machine Interaction. A human-centered design approach. Surrey, U.K, Burlington, Vt: Ashgate, S. 283–302.
- Brell-Cokcan, S.; Lublasser, E.; Haarhoff, D.; Kuhnhenne, M.; Feldmann, M.; Pyschny, D. (2017): Zukunft Robotik - Automatisierungspotentiale im Stahl- und Metalleichtbau. In: *Stahlbau* 86 (3), S. 225–233. DOI: 10.1002/stab.201710469.
- Chen, Qian; García de Soto, Borja; Adey, Bryan T. (2018): Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement. In: *Automation in Construction* 94, S. 22–38. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.05.028.
- Ditchen, D. (2011): Erfassung arbeitsbedingter Kniebelastungen an ausgewählten Arbeitsplätzen. Universität Witten/herdicke, Berlin. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. Online verfügbar unter <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/rep0212.pdf>.

- Fechter, M.; Foith-Förster, P.; Pfeiffer, M. S.; Bauernhansl, T. (2016): Axiomatic Design Approach for Human-robot Collaboration in Flexibly Linked Assembly Layouts. In: Proceedings of the 26th CIRP Design Conference, Bd. 50, S. 629–634.
- Ghezal-Ahmedi, Kazem (2008): Evaluation der Anwendbarkeit eines neuen Verfahrens zur Belastungsbewertung manueller Arbeitsprozesse in der Fertigung: (Beitrag zur Belastungsermittlung im Rahmen der ERA-Entgeltfindung).
- Grahn, S.; Langbeck, B. (2014): Benefits of collaborative robots in assembly - an evaluation scheme. In: Swedish Production Symposium SPS 2014. Göteborg, Sweden, 16. September.
- Hu, Bin; Chen, Jing (2017): Optimal Task Allocation for Human–Machine Collaborative Manufacturing Systems. In: *IEEE Robot. Autom. Lett.* 2 (4), S. 1933–1940. DOI: 10.1109/LRA.2017.2714981.
- Jongeneel, J.P.R. (2010): Robotic tiling of rough floors: A design study.
- Kreuzfeld, Steffi; Seibt, Reingard; Kumar, Mohit; Rieger, Annika; Stoll, Regina (2016): German version of the Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ): translation and validation. In: *Journal of occupational medicine and toxicology (London, England)* 11, S. 13. DOI: 10.1186/s12995-016-0100-2.
- Michalos, G.; Spiliotopoulos, J.; Makris, S.; Chryssolouris, G. (2018): A method for planning human robot shared tasks. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 22, S. 76–90. DOI: 10.1016/j.cirpj.2018.05.003.
- Müller, Rainer; Vette, Matthias; Geenen, Aaron (2017): Skill-based Dynamic Task Allocation in Human-Robot-Cooperation with the Example of Welding Application. In: *Procedia Manufacturing* 11, S. 13–21. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.113.
- Nornes, S. (2013): Optimal trajectory planning for robotized tiling of floors. Masterthesis. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Ranz, F.; Hummel, V.; Sihm, W. (2017): Capability-based Task Allocation in Human-robot Collaboration. In: Proceedings of the 7th Conference on Learning Factories CLF 2017, Bd. 9, S. 182–189.
- Schildge, Bernd (1995): Ergonomische Beurteilung des Arbeitens in kniender Körperstellung.
- Schröter, Daniel (2017): Entwicklung einer Methodik zur Planung von Arbeitssystemen in Mensch-Roboter-Kooperation. Dissertation. Universität Stuttgart, Stuttgart. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen.
- Thrun, S. (2004): Towards a framework for human-robot interaction. In: *Human-Computer Interaction* (19), S. 9–24.
- Weber, Marc-André; Stowasser, Sascha (2018): Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung unter Einsatz kollaborierender Robotersysteme: Eine praxisorientierte Einführung. In: *Z. Arb. Wiss.* 134 (1–2), S. 299. DOI: 10.1007/s41449-018-0129-4.
- Weidner, R.; Kong, N.; Wulfsberg, J. P. (2013): Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: *Prod. Eng. Res. Devel.* 7 (6), S. 675–684. DOI: 10.1007/s11740-013-0487-x.
- Wakula, J und Landau, K (2000): Ergonomische Entwicklung und Gestaltung von ausgewählten Arbeitsmitteln für Fliesenlegertätigkeiten. Abschlussbericht. Arbeitsgemeinschaft der Bau-BG, Frankfurt am Main, Band 5.1.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt der Herrn Christopher Jörg (Firma Brömer & Sohn GmbH) für die Ermöglichung der Beobachtungsstudie, sowie dem Maroon-Projektteam für die Workshop-Teilnahme. Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes Maroon vom BmBF gefördert



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