

Theoretische Konzepte der Mensch-Roboter-Kollaboration

Gerhard RINKENAUER¹, Jana JOST², Thomas KIRKS², Stuart CHAPMAN²,
André TERHAREN³, Thorsten PLEWAN¹

¹ *Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo)
Ardeystraße 67, D-44193 Dortmund*

² *Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4, D-44227 Dortmund*

³ *Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (FLW) an der TU Dortmund
Joseph-v.-Fraunhofer-Straße 2-4, D-44227 Dortmund*

Kurzfassung: In naher Zukunft werden sich der Arbeitsbereich des Roboters und die individuelle Komfortzone des Menschen (personal space) immer stärker überlappen. Es entsteht eine soziale Interaktion und entsprechend sind psychologische Ansätze der Distanzregulation von hoher Relevanz für die Mensch-Roboter-Kollaboration. Ziel unserer Forschung ist es zu untersuchen, wie sich das Verhalten von Robotern auf das menschliche Verhalten auswirkt und inwieweit Veränderungen im menschlichen Verhalten als implizites Maß für Wohlbefinden und Akzeptanz dienen können. In unserem Beitrag soll ein Überblick über unterschiedliche Studien gegeben werden, die im Kontext des Leistungszentrums für Logistik und IT durchgeführt wurden. Die Ergebnisse der Studien werden im Kontext von zwei theoretischen Konzepten diskutiert.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter Interaktion, Proxemik, Feldtheorie, Annähern-Meiden-Verhalten, affektive Bewertung

1. Einleitung

Die Interaktion zwischen Menschen und Robotern lässt sich im Wesentlichen in drei Kategorien einteilen: Ko-Existenz, Kooperation und Kollaboration (vgl. Onnasch et al., 2016). Bei der Ko-Existenz kommt es nur zu sporadischen Begegnungen mit dem Roboter. Kooperation bedeutet, dass Mensch und Roboter auf ein gemeinsames übergeordnetes Ziel hinarbeiten. Die direkteste Form der Zusammenarbeit ist die Kollaboration, bei der neben den übergeordneten Zielen auch gemeinsamen Unterziele koordiniert werden müssen. Durch die stete Zunahme von Kooperationen und direkter Kollaborationen zwischen Menschen und Roboter sind viele Probleme der Robotik-Forschung nicht nur mit technischen, sondern auch psychologischen und sozialen Fragen verbunden (Moniz, 2015). Zukünftig werden sich der Arbeitsbereich des Roboters und die individuelle Komfortzone des Menschen immer stärker überlappen. Es entsteht also eine soziale Interaktion und entsprechend sind psychosoziale Ansätze der Distanzregulation von hoher Relevanz für die Mensch-Roboter-Kollaboration. Ziel unserer Forschung ist es die Auswirkungen von Robotern auf das menschliche Verhalten zu untersuchen, um zu beurteilen, inwieweit Veränderungen im menschlichen Verhalten als implizites Maß für Wohlbefinden und Akzeptanz dienen können.

Dieser Beitrag soll einen Überblick über unterschiedliche Studien geben, die im Kontext des *Leistungszentrums für Logistik und IT* in Dortmund durchgeführt wurden.

Hierbei wurde die Interaktion mit unterschiedlichen Robotertypen (Industrieroboter, autonomer Transportroboter) in realen und virtuellen Umgebungen untersucht. Es wurden anthropomorphe Bewegungs- und Ausdrucksmuster der Roboter systematisch manipuliert und als abhängige Variable beispielsweise Bewegungstrajektorien, Körperhaltung und Distanzregulation der Probanden bei der Interaktion mit den Robotern gemessen. Die bisherigen Erkenntnisse sollen kurz vorgestellt und im Kontext von zwei theoretischen Konzepten interpretiert werden. Dem Proxemik-Konzept und der Feldtheorie von Lewin. Das Proxemik-Konzept beschäftigte sich ursprünglich mit dem Raumverhalten als einem Teil der nonverbalen Kommunikation zwischen Menschen, wohingegen Lewins Feldtheorie davon ausgeht, dass die Interaktion eines Individuums mit der Umwelt durch Kräfte bestimmt wird, deren Richtung und Ausmaß durch die psychologische Relevanz von Situationen und Objekten definiert sind. Im Folgenden soll auf beide Konzepte und die entsprechenden empirischen Befunde kurz eingegangen werden.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Proxemik

Der Begriff Proxemik wurde erstmals von Hall (1966) vorgeschlagen, um zu beschreiben, wie der Mensch den Raum um sich herum organisiert. Hall beobachtete die Existenz bestimmter ungeschriebener Regeln, die Individuen dazu bringen, Abstände zu anderen zu wahren, und andere dazu zu bringen, diese Distanz zu respektieren. Hall (1966) konnte beobachten, dass die soziale und räumliche Distanz zwischen den Menschen je nach dem Grad der Vertrautheit zwischen den interagierenden Menschen variiert. Später stellte Hall (1968) einen theoretischen Rahmen zur Verfügung, der die wichtigsten (sozialen) Zonen nach Interaktion und Situation kategorisierte. Diese Zonen beeinflussen die Navigation des Menschen, nicht zuletzt auch durch die Erwartungen an das Raumverhalten anderer Personen (Krueger, 2011).

Die aktuelle Forschung der Mensch-Roboter-Interaktion legt nahe, dass sich Menschen bei der Interaktion mit Robotern ähnlich verhalten wie bei der Interaktion mit Menschen (z.B. Takayama & Pantofaru, 2009). Bei der Interaktion mit Robotern scheinen vor allem Geschwindigkeit, Aussehen und Annäherungsrichtung eine Auswirkung auf die Distanzregulation des Menschen zu haben. Menschen fühlen sich bei großen Robotern sowie bei einer schnellen Annäherung (ab ca. 1m/s) von Robotern unwohl (Butler & Agah, 2001). Roboter, die sich in einer direkten frontalen Richtung annähern, werden eher bedrohlich und aggressiv wahrgenommen als Roboter, die sich seitlich nähern (Dautenhahn et al., 2006). Auch die Blickrichtung des Roboters hat eine Auswirkung auf den selbstgewählten Mindestabstand der Menschen, wobei männliche Probanden den Roboter näher an sich heranlassen als weibliche (Takayama & Pantofaru, 2009). Darüber hinaus erlauben Menschen, die eine persönliche Erfahrung mit Haustieren oder Robotern haben, insgesamt nähere Distanzen zu Robotern, als wenn sie nicht über diese Erfahrungen verfügen (Takayama & Pantofaru, 2009).

In unseren eigenen Studien konnten wir die meisten in der Literatur beschriebenen Effekte replizieren (z.B. Jost et al., 2019). Bei diesen Untersuchungen wurde die Distanzregulation mit einem sozialen autonomen Transportroboter aus dem Bereich der Logistik untersucht. Der Transportroboter bewegte sich entweder auf die Probanden oder die Probanden bewegten sich auf den passiven Roboter zu. Der Roboter bewegte

sich mit niedriger oder hoher Geschwindigkeit und konnte von den Probanden jederzeit gestoppt werden. Darüber hinaus wurden die Höhe und der Gesichtsausdruck des Roboters (fröhlich vs. traurig) variiert. Die Aufgabe der Probanden war es die Distanz so zu regulieren, dass sie sich dabei noch wohlfühlten. Die abhängige Variable war dementsprechend die Enddistanz zwischen Probanden und Roboter. Bewegte sich der Roboter auf die Probanden zu, so war in Übereinstimmung mit anderen Studien die Distanz geringer, wenn der Roboter niedrig war. Die Distanz war auch geringer, wenn der Roboter ein fröhliches Gesicht zeigte, jedoch nur bei Personen, die keine Erfahrung mit Robotern hatten. Bei erfahrenen Personen zeigten sich keine Effekte des Gesichtsausdrucks. Bewegten sich die Probanden auf den Roboter zu, so nahmen vor allem die unerfahrenen Probanden eine nähere Distanz ein als sie in der vorherigen Bedingung dem aktiven Roboter erlaubten.

2.2 *Feldtheoretischer Ansatz von Lewin*

Lewin (1938) charakterisierte den Menschen als sich in einem Raum voller psychischer und physischer Objekte bewegend, die anziehende oder abstoßende Eigenschaften haben (Townsend & Busemeyer, 1989). Objekte können auch gleichzeitig positive und negative Eigenschaften haben, was zu einer Ambivalenz auf Seiten der Person führt. Miller (1959) postulierte einige Kriterien zur Annäherungsvermeidung, die auf Lewins Ideen basierten. So wurde beispielsweise angenommen, dass die Tendenz, sich einem Ziel zu nähern, sowie die Tendenz, einen gefürchteten Reiz zu vermeiden, umso stärker ist, je näher das Subjekt an diesem Ziel ist. Die Stärke des Vermeidens nimmt mit der Nähe schneller zu als die der Annäherung. Mit anderen Worten, der Gradient des Vermeidens ist steiler als der des Annäherns.

Basierend auf Millers Annahmen werden Trends der Annäherung oder Vermeidung im Bewegungsverhalten in Abhängigkeit von der affektiven Bewertung von Objekten und Situationen durch den Menschen erwartet (Eerland et al., 2012; van Dantzig et al., 2008; Puca et al., 2006). Grundsätzlich sind wir in unseren Arbeiten zur Mensch-Roboter-Interaktion (Böckenkamp et al., 2016; Rinkenauer et al., 2017) davon ausgegangen, dass Bewegungen, die stärker (z.B. mit höherer Beschleunigung) auf ein Objekt oder eine Situation gerichtet sind oder dazu dienen die Entfernung zu verringern (z. B. durch Vorbeugen), als Annäherungsverhalten gewertet werden können. Dies weist auf ein Überwiegen der Annäherungskräfte hin. Dagegen können Bewegungen, deren Krafrichtung von einem Objekt oder einer Situation wegweist oder die den Abstand vergrößern, als Vermeidungsverhalten gewertet werden, d.h. die Vermeidungskräfte dominieren. In unseren Untersuchungen verwendeten wir einen Industrieroboter (KUKA KR-125/3), der Zielbewegungen mit zwei unterschiedlichen Bewegungsamplituden sowie zwei verschiedenen Bewegungsmustern (mechanisch und biologisch) auf den Probanden zu oder von dem Probanden weg ausführen konnte. Die Probanden wurden instruiert, die Zielbewegungen des Roboters spiegelbildlich zu reproduzieren oder als Kontrollbedingung Zielbewegungen nach den Sprachanweisungen durchzuführen. Schulterposition sowie die Hand- und Armbewegungen der Probanden wurden kontinuierlich aufgezeichnet.

Es zeigte sich, dass die Probanden in Abhängigkeit der Robotereigenschaften systematisch ihre Distanz zum Roboter statisch über die Neigung des Oberkörpers veränderten und sich zudem, je nach Roboterverhalten, die dynamischen Eigenschaften der Bewegungstrajektorien veränderten (vgl. Böckenkamp et al., 2016; Rinkenauer et al., 2017).

3. Prototypische Befunde von aktuellen Untersuchungen und Analysen

Im Kontext des Proxemik-Konzepts interessierten wir uns in aktuellen Erweiterungen der Studie von Jost und Kollegen (2019) vor allem für Geschlechtsunterschiede. Wie oben bereits erwähnt, finden sich in der aktuellen Literatur Hinweise, dass männliche Probanden nähere Distanzen zum Roboter erlauben als weibliche. Dieser Befund kann in unseren aktuellen Untersuchungen auch für den autonomen Transportroboter repliziert werden. In Abbildung 1A ist exemplarisch das Ergebnis von 9 weiblichen und 9 männlichen Probanden dargestellt (Versuchsbedingungen vgl. Jost et al., 2019). Hier zeigt sich zum einen, dass wie erwartet männliche Probanden nähere Distanzen zum Roboter erlauben als weibliche. Interessanterweise zeigen sich in unseren aktuellen Untersuchungen keine Geschlechtsunterschiede, wenn die Probanden auf den passiven Roboter zugehen. Darüber hinaus finden wir, dass beim aktiven Roboter für die weiblichen, aber nicht die männlichen Probanden die erlaubte Distanz auch durch die Geschwindigkeit des Roboters beeinflusst wird. Bewegt sich der Roboter mit der höheren Geschwindigkeit ist die erlaubte Distanz bei den weiblichen Probanden entsprechend größer (siehe Abbildung 1A).

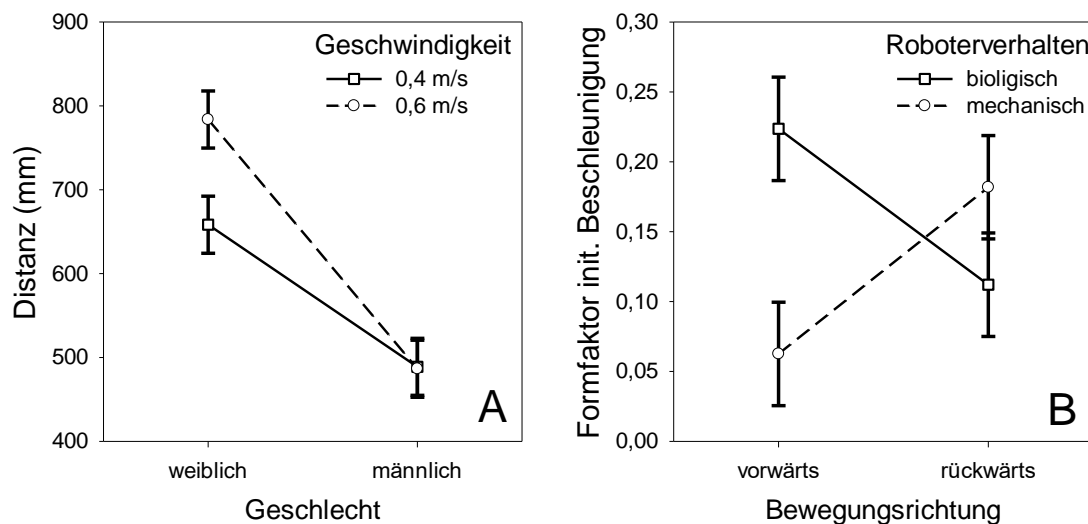


Abbildung 1: **A:** Distanz als Funktion des Geschlechts der Probanden und der Geschwindigkeit eines autonomen Transportroboters, der sich auf die Probanden zubewegt. **B:** Veränderung der Form der initialen Beschleunigungsfunktion in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung von Handbewegungen und des Roboterhaltens. Als Fehlermaß wird Fisher's Least Significant Difference verwendet.

In Bezug auf die Konzepte aus Lewins Feldtheorie wurden vorhandene Daten aus früheren Studien weiter ausgewertet, um zusätzliche Erkenntnisse zum dynamischen Bewegungsverhalten bei der Mensch-Roboter-Kollaboration zu erlangen. Tiefergehende Analysen der Experimentaldaten von Böckenkamp und Kollegen (2016) machen deutlich, dass vor allem die Beschleunigungsmuster der initialen Bewegung sehr sensibel auf Eigenschaften des Roboters ansprechen. Dies wird exemplarisch in Abbildung 1 B verdeutlicht, in der die Form der initialen Beschleunigungskurve der Zielbewegungen in Abhängigkeit des Roboterhaltens dargestellt wird. Der Formfaktor wurde analog zu der aus der Statistik bekannten Schiefe von Verteilungsfunktionen

berechnet (Beschreibung des Experiments siehe Böckenkamp et al., 2016). Die neueren Analysen legen nahe, dass vor allem kurze Zielbewegungen und somit eher feinmotorische Bewegungsmuster von den Robotereigenschaften beeinflusst werden. Diese Einflüsse zeigen sich allerdings nur in der initialen Beschleunigungsphase, nicht jedoch in der Abbrems- und Landephase der Zielbewegung.

4. Diskussion

Unsere Befunde legen nahe, dass die Regulation der Körperdistanz zum Roboter sowohl von den individuellen Merkmalen der menschlichen Kooperationspartner als auch von den Eigenschaften des Roboters abhängt. Generell eignet sich das Proxemik-Konzept unsers Erachtens sehr gut, um analog zum sozialen Distanzverhalten zwischen Menschen auch das soziale Verhalten von Menschen mit Robotern untersuchen und vorhersagen zu können. Solche Erkenntnisse helfen die Mensch-Roboter-Kollaboration auf die individuellen sozialen Bedürfnisse und Präferenzen des menschlichen Nutzers abstimmen zu können. So kann beispielsweise die Annäherung eines Transport- oder Serviceroboters so gestaltet werden, dass bei der Bahnplanung von Robotern die generellen und individuellen Komfortzonen des Menschen respektiert werden. Eine Einschränkung des Proxemik-Konzepts scheint jedoch, dass nur die Regulation der statischen Distanz als Indikator für die Beurteilung der sozialen Adäquatheit der Interaktion verwendet wird, somit also im Wesentlichen die räumliche nicht jedoch die zeitliche Dimension der Interaktion berücksichtigt wird.

Eine mögliche Erweiterung bieten hier Konzepte, die auch die Dynamik im Verhalten des menschlichen Kooperationspartners berücksichtigen. Ein potenzieller theoretischer Ausgangspunkt hierfür scheint die Feldtheorie von Lewin zu sein (s.o.). Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass sehr frühe Prozesse in der Bewegungsplanung und -ausführung, die eng mit den vorbereitenden Prozessen zusammenhängen (Müller-Gethmann et al., 2000), für die Eigenschaften des kollaborierenden Roboters sensibel zu sein scheinen. Darüber hinaus könnten sich in der initialen Bewegungsphase Schreckreaktionen (Startle) oder defensive Reaktion widerspiegeln (Carlson et al., 2004; Coombes et al., 2005). Wichtig, sowohl aus theoretischer als auch praktischer Sicht ist, dass die Veränderungen in den Bewegungsmustern und somit die zugrundeliegenden Verschiebungen in den Annäherungs- und Meidentendenzen prinzipiell kontinuierlich erhoben werden und somit als kontinuierliches Signal für die affektive Bewertung der Mensch-Roboter-Kollaboration dienen können (vgl. Rinkenauer et al., 2018). Darüber hinaus scheint die Verbindung der beiden historisch eng verwandten Konzepte (vgl. Townsend & Busemeyer, 1989) generell sinnvoll für das bessere Verständnis der Mensch-Roboter-Kollaboration zu sein. Während das Proxemik-Konzept eher die adäquaten Distanzen des Menschen vorhersagt, liefert die Feldtheorie vor allem für die direkte Interaktion mit Robotern interessante Untersuchungs- und Vorhersagemöglichkeiten, die bisher kaum ausgeschöpft werden.

5. Literatur

- Butler JT, Agah A (2001) Psychological effects of behavior patterns of a mobile personal robot. *Auton. Robot* 10(2):185– 202
- Böckenkamp A, Weichert F, Rinkenauer G (2016) Investigating the effects of robotic motion on worker's behavior in cooperative working environments. In: 25th IEEE International Symposium on Robot and

- Human Interactive Communication (RO-MAN), August 26-31, Columbia University, NY/USA, pp- 670 – 675, Piscataway, NJ: IEEE
- Carlsen A, Chua R, Inglis J, Sanderson D, Franks I (2004) Prepared Movements Are Elicited Early by Startle, *Journal of Motor Behavior*, 36: 253–264.
- Coombes S, Janelle C, and Duley A (2005) Emotion and Motor Control: Movement Attributes Following Affective Picture Processing, *Journal of Motor Behavior*, 37: 425–436
- Eerland A, Guadalupe T M, Franken I H A, Zwaan R A (2012) Posture as Index for Approach-Avoidance Behavior. *PLoS ONE* 7(2): e31291. doi:10.1371/journal.pone.0031291
- Dautenhahn K, Walters M, Woods S, Koay KL, Nehaniv CL, Sisbot A, Alami R, Siméon T (2006) How may I serve you?: a robot companion approaching a seated person in a helping context. In: 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on human-robot interaction, pp 172–179
- Hall ET (1966) *The hidden dimension: man's use of space in public and private*. The Bodley Head Ltd, London
- Hall ET (1968) Proxemics, *Current Anthropology*, 9: 83-108.
- Jost J, Kirks T, Chapman S, Rinkenauer G (2019) Examining the effects of height, velocity and emotional representation of a social transport robot and human factors in human-robot collaboration. In: Proceedings of the Human-Computer Interaction – INTERACT 2019 17th IFIP TC 13 International Conference, Paphos, Cyprus, 2–6 September 2019, Part II, 517-526
- Krueger J (2011). Extended cognition and the space of social interaction. *Conscious Cognition* 20: 643–657
- Lewin K (1938) *The conceptual representation and measurement of psychological forces*. Duke University: Contributions to Psychological Theory
- Miller N E (1959) Liberalization of basic S-R concepts: Extensions to conflict behavior, motivation and social learning. In: Koch S (ed), *Psychology: A study of a science, Study 1, Vol. 2*. McGraw-Hill, New York, pp 196-292
- Moniz A (2015) Intuitive Interaction Between Humans and Robots in Work Functions at Industrial Environments: The Role of Social Robotics. In Vincent J, Taipale S, Sapio B, Lugano G, Fortunati L (eds.) *Social Robots from a Human Perspective*. Springer, Heidelberg, pp 67-76
- Müller-Gethmann H, Rinkenauer G, Stahl J, and Ulrich R (2000) Preparation of response force and movement direction: Onset effects on the lateralized readiness potential, *Psychophysiology*, 37: 507– 514.
- Onnasch L, Maier X, Jürgensohn T (2016) *Mensch-Roboter-Interaktion-Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
- Puca R, Rinkenauer G, Breidenstein C (2006) Individual Differences in Approach and Avoidance Movements: How the Avoidance Motive Influences Response Force. *Journal of Personality* 74: 979–1014
- Rinkenauer G, Böckenkamp A, Weichert F (2017) Man-Robot Collaboration in the Context of Industry 4.0: Approach-Avoidance Tendencies as an Indicator for the Affective Quality of Interaction? In Schlick et al. (eds). *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes* (pp. 335 – 348). Springer, Berlin.
- Takayama L, Pantofaru C (2009) Influences on proxemic behaviors in human-robot interaction. In Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (St. Louis, MO, October 10 - 15, 2009). IROS '09. IEEE, 5495-5502. DOI= 10.1109/IROS.2009.5354145
- Townsend J T, Bussemeyer, J R (1989) Approach-Avoidance: Return to dynamic decision behavior. In: Izawa C (Ed.), *Current Issues in Cognitive Processes: The Tulane Flowerree Symposium on Cognition*. Erlbaum Associate, Hillsdale, NJ, pp 107-133
- Van Dantzig S, Pecher D, Zwaan R A (2008) Approach and avoidance as action effects. *Quarterly J. of Exp. Psychology*, 61: 1298–1306

Danksagung: Wir danken Martin Behrendt und Hanno Mussmann für die Unterstützung bei der Datenerhebung und -analyse. Darüber hinaus danken wir dem Land Nordrhein-Westfalen und der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung der Forschung im Rahmen des Leistungszentrums für Logistik und IT.



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