

Bewertung von Mensch-Roboter-Übergaben anhand kinematischer Daten

Marco KÄPPLER, Barbara DEML

*Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
Karlsruher Institut für Technologie
Engler-Bunte-Ring 4, 76131 Karlsruhe*

Kurzfassung: Robotersysteme werden in naher Zukunft in der Lage sein, Menschen Gegenstände in die Hand zu übergeben, wie auch Gegenstände vom Menschen entgegenzunehmen. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ist es notwendig, Robotersysteme sowie deren Interaktionen mit dem Menschen anhand geeigneter Parameter zu beurteilen und zu gestalten. Ziel der Untersuchung ist es, zum einen Phasen in Übergabebewegungen zu identifizieren und zum anderen den Einfluss verschiedener Raumrichtungen, verschieden schwer zu übergebender Objekte und verschiedener Wahrnehmungseinschränkungen auf solche Phasen zu quantifizieren.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion, Objektübergabe, Phaseneinteilung, Wahrnehmungseinschränkung

1. Einleitung

Aufgrund der aktuellen Entwicklungsprogramme im Bereich der Robotik kann in den kommenden Jahren davon ausgegangen werden, dass immer mehr Menschen in direkten Kontakt mit Robotersystemen treten. In der Industrie wurden Roboter bereits erfolgreich implementiert, um die Produktivität zu steigern und um gefährliche Aufgaben auszuführen (Kulic & Croft, 2005). Aus Sicherheitsgründen arbeitet der Großteil der Roboter in der Industrie in abgeschlossenen Räumen ohne direkten Kontakt zum Menschen. Aktuelle Fortschritte in Roboterintelligenz und Robotertechnologie ermöglichen immer sichere und zuverlässigere direkte Interaktionen zwischen Robotern und Menschen (Huber et al., 2008; Glasauer et al., 2010). Roboter-gestützte Rehabilitationsprogramme zeigen, dass Robotersysteme nützliche Hilfsmittel für Patienten, Pflegepersonal und Angehörige sein können. Für eine Vielzahl von Personen mit körperlichen Beeinträchtigungen könnten assistierende Roboter eine erhebliche Verbesserung der Lebensqualität bewirken. Damit Roboter mehr assistierende Funktionen für Menschen zuhause und im Arbeitskontext erfüllen können, ist es essentiell für Roboter, Gegenstände transportieren und diese erfolgreich und flüssig an Menschen übergeben zu können (Glasauer et al., 2010). Bei Übergaben von Mensch zu Mensch wird eine Übergabebewegung durch eine Vielzahl von subtilen Signalen vermittelt. Die Körperposition, Hand- und Armpose, der Blick, die Greifkraft, und die Trajektorien dieser Faktoren über die Zeit werden genutzt, um die Absicht einer Übergabe sowie das Wann und Wo der Übergabe wahrzunehmen (Basili et al., 2009; Chan et al., 2013; Huber et al., 2009; Strabala et al., 2012). Die Details wie Menschen ihre Kooperationen koordinieren, liefern wichtige Informationen für das Forschungsfeld der Robotik (Huber et al., 2009). Die Schwierigkeiten der Entwicklungen in der Robotik liegen somit nicht nur in der technischen Umsetzung, sondern

ebenso in einer detaillierten Betrachtung realitätsnaher Anwendungsszenarien, die die gesamte Kontext-Situation des Menschen und der räumlichen Umgebung beinhalten.

Ziel der Untersuchung ist es, zunächst Phasen von Übergabebewegungen zu identifizieren um anhand geeigneter Bewegungsphasen, den Einfluss verschiedener Raumrichtungen, verschieden schwer zu übergebender Objekte und verschiedener Wahrnehmungseinschränkungen auf die Übergabebewegung zu untersuchen.

2. Methode

2.1 Stichprobe

Für diese Untersuchung wurden 20, nach eigenen Aussagen, gesunde und erwachsene Probanden getestet. Die Versuchspersonen waren zwischen 20 und 32 Jahre alt und Rechtshänder (Alter: $24,2 \pm 3$ Jahre, Größe: 176 ± 8 cm; Gewicht: 74 ± 12 kg). Alle Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil und wurden vorher ausführlich über den Untersuchungsablauf, mögliche Risiken, ihre Rechte und die Anonymität der Daten aufgeklärt. Hierfür unterschrieben alle Probanden eine Einverständniserklärung. Die Probanden wiesen keine Seheinschränkungen auf bzw. trugen ihre entsprechende Sehhilfe für die Untersuchung. Alle Versuchspersonen wiesen eine normale Zeit- und Bewegungsantizipation auf (getestet mit ZBA, Bauer et al., Wiener Testsystem, Schuhfried).

2.2 Versuchsaufbau

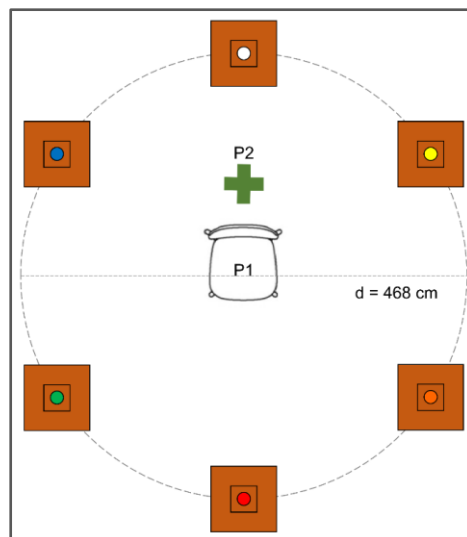


Abbildung 1: Aufbau des Aufnahmebereichs

Zur Erforschung des Einflusses der Raumrichtung auf die Übergabebewegung hatte der Aufnahmebereich, wie in Abbildung 1 zu sehen, die Form eines Kreises, in dessen Mitte ein Stuhl stand. Auf dem Kreis befanden sich an sechs Positionen Holzträger auf denen Plastikbecher mit reflektierenden Markern standen. Zur Erforschung der Auswirkungen unterschiedlich schwer zu übergebender Objekte kamen Becher mit unterschiedlichem Füllstand zum Einsatz. Sechs Becher waren ohne Füllung. Sechs Becher waren zu 50% mit Wasser gefüllt und weitere sechs Becher waren zu

90% mit Wasser gefüllt. Zur Erforschung des Einflusses von Wahrnehmungseinschränkungen wurde die Wahrnehmung der Nehmerperson durch eine schwarz lackierte Skibrille und einen Gehörschutz (3M Peltor X5A, SNR=37dB) eingeschränkt.

2.3 Versuchsablauf

Zu Beginn jeder Aufnahme saß Versuchsperson 1 (P1) auf dem Stuhl. Versuchsperson 2 (P2) stand auf der grünen Markierung hinter P1. Die Reihenfolge, in der die Becher geholt und übergeben wurden, war pseudorandomisiert. In jedem Durchlauf kam jede Farbe und entsprechend jede Raumrichtung einmal vor. Alle Versuchspersonen hatten dieselbe Reihenfolge. Alle 20 Probanden führten insgesamt 42 Übergeben, aufgeteilt auf 6 Szenarien, durch (Abbildung 2).

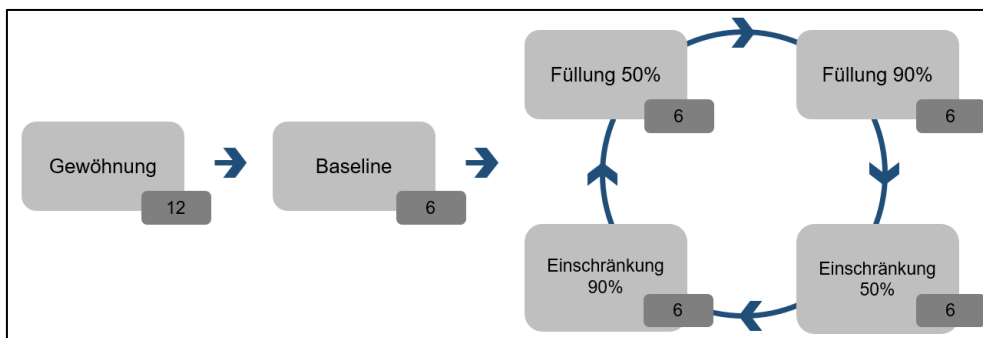


Abbildung 2: Versuchsdesign

Die Probanden führten eine Gewöhnung mit 12 Wiederholungen durch. Die Becher waren leer und es wurden keine Vorgaben zur Bewegungsgeschwindigkeit und zu den Übergeben gemacht, um möglichst realitätsnahe Geschwindigkeiten und Bewegungstrajektorien der Versuchspersonen aufzeichnen zu können. Direkt im Anschluss wurde die Baselinemessung mit sechs Wiederholungen mit leeren Bechern durchgeführt. Danach folgten vier Bedingungen, die in ihrer Reihenfolge pseudorandomisiert über alle Probanden durchgeführt wurden, um Reihenfolgeneffekte auszuschließen. Bei den beiden „Füllung“-Bedingungen wurden die Becher mit 50% Wasserfüllung und mit 90% Wasserfüllung übergeben. Bei den beiden „Einschränkung“-Bedingungen wurde die Wahrnehmung der Nehmerperson durch die zuvor erwähnte Skibrille und den Gehörschutz eingeschränkt. Zusätzlich wurde die Becherfüllung zwischen 50% und 90% variiert.

Bei der Übergabeuntersuchung diente P2 als standardisierte Übergabeperson für die Interaktion mit allen Versuchspersonen. Die standardisierte Übergabeperson wurde instruiert, die Übergeben natürlich nach ihren Präferenzen durchzuführen, jedoch darauf zu achten, ihr Verhalten bei allen Übergeben möglichst konstant zu halten. Die Versuchspersonen hatten sowohl die Rolle als Geberperson als auch als Nehmerperson. Bei zehn Versuchspersonen begann P2 als Geberperson, bei den anderen zehn Versuchspersonen begann P2 als Nehmerperson. Dadurch sollte ausgeschlossen werden, dass sich die Versuchspersonen bestimmte Strategien und Verhaltensmuster von der standardisierten Übergabeperson abschauen.

2.4 Datenverarbeitung und Statistik

Die kinematischen Daten wurden mit einem optoelektronischen System (Vicon Motion Systems; Oxford Metrics Group, Oxford, UK) aufgenommen. Dieses nutzt Inf-

rarotkamas, die passive reflektierende Marker, die auf der Haut der Versuchspersonen angebracht werden, aufzeichnen. Die 3D-Position jedes Markers wird mit einer Genauigkeit unter 1.0 mm berechnet. In der vorliegenden Untersuchung, wurden die Markerkoordinaten durch 11 Infrarotkamas aufgezeichnet.

Die Bewegungsdaten wurden mit der Software Vicon Nexus 1.8.5 aufgezeichnet und weiterverarbeitet. Die weitere Aufbereitung der Daten fand mit der Software MATLAB (R2019b) statt. Die statistischen Berechnungen wurden mit der Software JASP (Version 0.11.1) durchgeführt.

Zur Quantifizierung der Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Raumrichtungen, unterschiedlichen Füllungsgraden der Becher und der uneingeschränkten und der eingeschränkten Wahrnehmung wird die benötigte Zeitdauer in der Interaktionsphase miteinander verglichen. Durch die geringe Stichprobengröße von 20 Probanden kommt es zu Verletzungen der Normalverteilung. Da es sich um ein messwiederholtes Design handelt, wurde trotz der Verletzung der Normalverteilung zunächst mit einer Einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung und einer Zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. Zur Absicherung wurden als nicht parametrische Verfahren der Friedman-Test sowie der Durbin-Watson-Test berechnet. Bei signifikanten Ergebnissen beider Tests wurde das Ergebnis des parametrischen Verfahrens als signifikant angenommen. Post hoc wurden die Ergebnisse der Varianzanalysen durch einen Bonferroni-Test geprüft.

3. Ergebnisse

Zum besseren Verständnis des Übergabeprozesses wurden zunächst ereignisbasiert verschiedene Phasen identifiziert. Zur Identifikation der Phasen wurden die Marker der Geberhand, der Nehmerhand und des Bechers genutzt. Anhand der Geschwindigkeitsprofile (Abbildung 3) können die folgenden Phasen ausdifferenziert werden.

Die Beschaffungsphase beginnt mit dem Start der Bewegung der Geberperson und endet mit dem festen Griff des Objekts. Die Transportphase beginnt mit dem festen Griff des Objekts und endet mit dem festen Griff der Nehmerperson am Objekt. Ab dem festen Griff der Nehmerperson befindet sich der gesamte Übergabeprozess in der Interaktionsphase. Die Interaktionsphase endet, sobald die Geberperson den Griff vom Objekt löst. Somit lässt sich die Interaktionsphase beschreiben als Zeitraum zwischen Interaktionsstart und Interaktionsende.

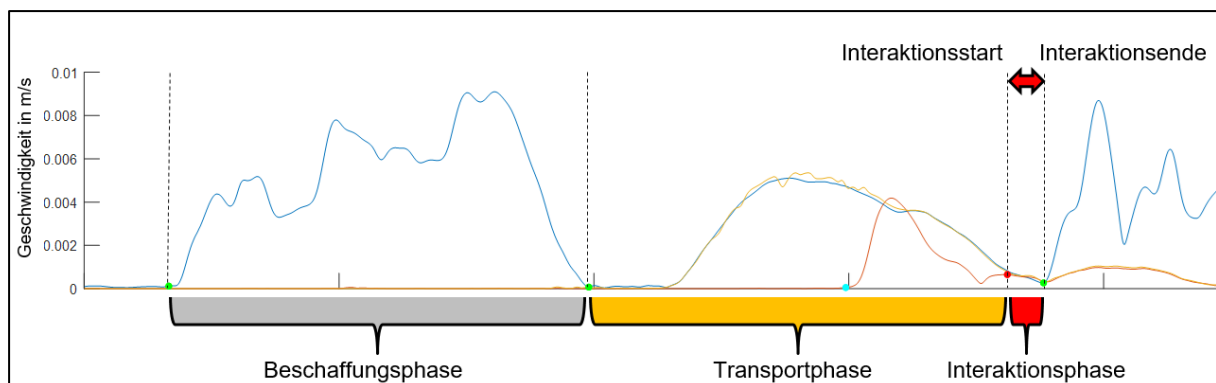


Abbildung 3: Phaseneinteilung anhand der Geschwindigkeitsprofile von Geberhand (blau), Nehmerhand (orange) und Becher (gelb).

Im Folgenden wird der Einfluss der unabhängigen Variablen, Raumrichtung, Füllungsgrad der Becher sowie Einschränkungen der Wahrnehmung auf die Interaktionsphase betrachtet.

Der statistische Vergleich der Zeitdauer in der Interaktionsphase zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Raumrichtungen ($F(5) = 1.148$, $p = 0.344$, $\eta^2 = 0.004$).

Der statistische Vergleich der Zeitdauer in der Interaktionsphase zeigt signifikante Interaktionseffekte zwischen der Füllmenge des Bechers und der Einschränkung der Wahrnehmung des Nehmers ($F(2) = 62.600$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.100$) (Abbildung 4). Der statistische Vergleich der Zeitdauer in der Interaktionsphase zeigt signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Füllmengen des Bechers ($F(2) = 129.877$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.416$) sowie signifikante Unterschiede durch die Einschränkung der Wahrnehmung des Nehmers ($F(1) = 77.504$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.196$).

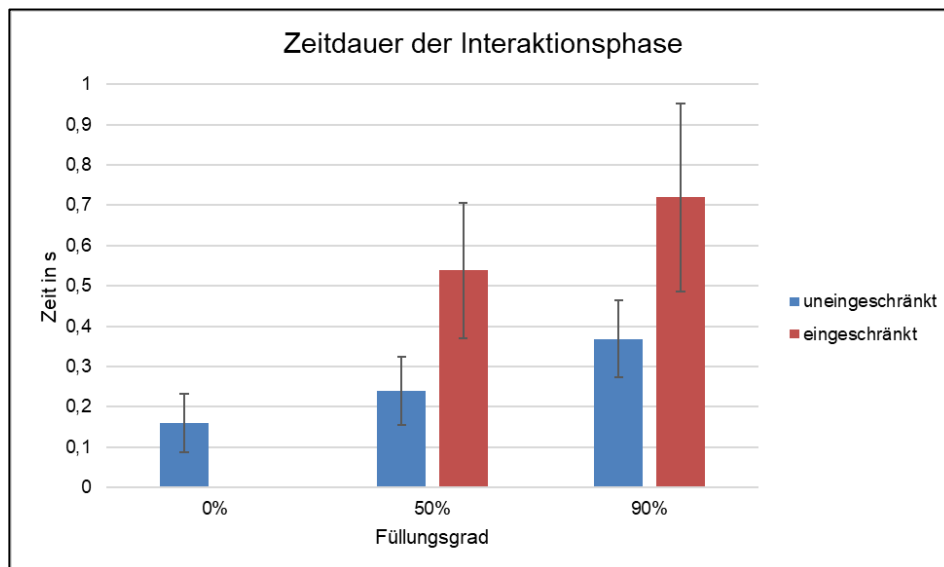


Abbildung 4: Unterschiede der Zeitdauer in der Interaktionsphase nach Füllungsgrad und Wahrnehmungseinschränkung.

Die mittlere Zeitdauer der Interaktionsphase zwischen 0% Füllung uneingeschränkt und 50% Füllung uneingeschränkt zeigt keine signifikanten Unterschiede. Die mittlere Zeitdauer der Interaktionsphase zwischen 50% Füllung uneingeschränkt und 90% Füllung uneingeschränkt zeigt signifikante Unterschiede. Die mittlere Zeitdauer der Interaktionsphase zwischen 0% Füllung uneingeschränkt und 50% Füllung eingeschränkt zeigt signifikante Unterschiede. Die mittlere Zeitdauer der Interaktionsphase zwischen 50% Füllung eingeschränkt und 90% Füllung eingeschränkt zeigt signifikante Unterschiede. Die mittlere Zeitdauer der Interaktionsphase zwischen 50% Füllung uneingeschränkt und 50% Füllung eingeschränkt zeigt signifikante Unterschiede. Die mittlere Zeitdauer der Interaktionsphase zwischen 90% Füllung uneingeschränkt und 90% Füllung eingeschränkt zeigt signifikante.

Tabelle 1: Post-Hoc-Vergleich des Einflusses von Füllungsgrad und Wahrnehmung

		t	p bonf
Füllung 0%, uneingeschränkt	Füllung 50%, uneingeschränkt	-2.733	0.120
Füllung 50%, uneingeschränkt	Füllung 90%, uneingeschränkt	-4.380	< .001
Füllung 50%, eingeschränkt	Füllung 50%, uneingeschränkt	9.520	< .001
	Füllung 90%, eingeschränkt	-6.137	< .001
Füllung 90%, eingeschränkt	Füllung 90%, uneingeschränkt	11.162	< .001

4. Zusammenfassung und Diskussion

Durch die vorliegende Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich Übergabeprozesse in eine Beschaffungsphase, eine Transportphase und eine Interaktionsphase unterteilen lassen. Es konnte gezeigt werden, dass Becher mit einem höheren Füllungsgrad zu einer signifikant höheren Zeitdauer in der Interaktionsphase führen als Becher mit einem geringeren Füllungsgrad. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass Einschränkungen der Wahrnehmung der Nehmerperson zu einer signifikant höheren Zeitdauer der Interaktionsphase führen als ohne Einschränkungen der Wahrnehmung. Die Raumrichtung, aus der eine Übergabe durchgeführt wird, zeigt dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Zeitdauer der Interaktionsphase.

Ziel der Untersuchung war es, Daten zu erheben mit deren Hilfe Mensch-Roboter-Übergaben anhand kinematischer Daten bewertet werden können. Die Daten der vorliegenden Untersuchung sollen als Maßstab dienen, um die aktuelle technische Entwicklung zu beurteilen und die zukünftige technische Entwicklung bei Mensch-Roboter-Übergaben weiter voranzutreiben, um flüssigere und schnellere und damit auch erwartungskonformere Übergaben zu realisieren.

Bei der Nutzung von Daten aus Mensch-Mensch-Übergaben als Maßstab, ist es unbedingt notwendig die Wahrnehmungseinschränkungen der Nehmerperson sowie die Beschaffenheit der zu übergebenden Objekte zu beachten und in die Bewertung miteinzubeziehen.

5. Literatur

- Basili P, Huber M, Brandt T, Hirche S & Glasauer S (2009) Investigating Human-Human Approach and Hand-Over. In R Dillmann, D Vernon, Y Nakamura, S Schaal, H Ritter, G Sagerer et al. (Hrsg.), *Human Centered Robot Systems (Cognitive Systems Monographs, Bd. 6, S. 151–160)*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10403-9_16
- Bauer H, Guttman G, Trimmel M, Leodolter M. & Leodolter U (o. J.). ZBA – Zeit- und Bewegungsanzipation. Wiener Testsystem. SCHUHFRIED GmbH.
- Chan WP, Parker CAC, van der Loos HM & Croft EA (2013) A human-inspired object handover controller. *The International Journal of Robotics Research*, 32(8), 971–983. <https://doi.org/10.1177/0278364913488806>
- Glasauer S, Huber M, Basili P, Knoll A & Brandt T (2010) Interacting in time and space. Investigating human-human and human-robot joint action. In *IEEE RO-MAN, 2010. 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication ; 13 - 15 Sept. 2010, Viareggio, Italy (S. 252–257)*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Huber M, Knoll A, Brandt T & Glasauer S (2009) Handing over a cube. Spatial features of physical joint-action. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1164, 380–382. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2008.03743.x>
- Huber M, Rickert M, Knoll A, Brandt T & Glasauer S (2008) Human-robot interaction in handing-over tasks. In *RO-MAN 2008 - The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (S. 107–112)*. IEEE.
- Kulić D & Croft EA (2005) Safe planning for human-robot interaction. *Journal of Robotic Systems*, 22(7), 383–396. <https://doi.org/10.1002/rob.20073>
- Strabala K, Lee MK, Dragan A, Forlizzi J & Srinivasa SS (2012) Learning the communication of intent prior to physical collaboration. In *2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (S. 968–973)*. IEEE.

Danksagung: Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des Projekts „SINA - Sichere Wahrnehmung zur flexiblen Assistenz in dynamischen und unstrukturierten Umgebungen“ 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