

# **Wissensarchivierung und -transfer im Rahmen betrieblicher Rüstvorgänge – Design eines AR-basierten Cyber-Physischen Produktionssystems**

Nils Darwin ABELE<sup>1</sup>, Sven HOFFMANN<sup>2</sup>, Aparecido Fabiano Pinatti  
DE CARVALHO<sup>2</sup>, Marcus SCHWEITZER<sup>3</sup>, Volker WULF<sup>2</sup>, Karsten KLUTH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen  
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57068 Siegen*

<sup>2</sup> *Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, Universität Siegen  
Kohlbettstraße 15, D-57072 Siegen*

<sup>3</sup> *Lehrstuhl für Technologiemanagement, Universität Siegen  
Unteres Schloß 3, D-57072 Siegen*

**Kurzfassung:** Der Beitrag stellt Inhalte eines Augmented Reality (AR)-basierten Cyber-Physischen Produktionssystems (CPPS) für industrielle Rüstprozesse vor. Die Konzeptionsgrundlage bilden im Zuge einer umfangreichen ethnografischen Studie ermittelte Designimplikationen, durch deren Umsetzung ein neuer methodologischer Ansatz zur Erfassung und Weitergabe von (Fach-)Wissen, eingebettet in verkörperte Handlungen, realisiert werden konnte.

**Schlüsselwörter:** Augmented Reality, Cyber-Physische Produktionssysteme, Designfallstudie, Industrielle Rüstprozesse, Wissensarchivierung, Wissenstransfer

## **1. Einleitung**

Innerhalb des industriellen Umfelds führt die wachsende Nachfrage nach kundenspezifischen Produkten zu einem Anstieg von Rüstvorgängen an Maschinen, die häufig manuell ausgeführt werden (Ludwig et al. 2016). In diesem Zusammenhang steigt die Komplexität der einzelnen Rüstschritte und beeinflusst sowohl den Zeitaufwand als auch die Qualität des Prozesses (Janssen & Möller 2011). Um unerfahrenen bzw. anzulernenden Maschineneinrichtern auf der Basis von Theorie, Stand der Technik und vor allem der Expertise das notwendige spezifische Wissen zu vermitteln, werden zunehmend digitale Lösungen eingesetzt. Die Ansätze der Lean Production und des Industrial Internet of Things (IIoT) eröffnen Möglichkeiten der physikalischen Prozessgestaltung. Augmented Reality (AR) ist eine neue Art der Visualisierung, die ortsbezogene Informationen schnell und einfach übertragen kann. Die Forschung zur praktischen Anwendung von AR-basierten Werkzeugen in Form von Datenbrillen oder Head-Mounted Displays (HMD) gilt jedoch bisher als unterrepräsentiert. Gleichzeitig zeigt sie deren Potenzial auf (Bhattacharya & Winer 2019). Aufgrund des relativ frühen Entwicklungsstadiums haben einige von ihnen z.B. ergonomische oder interaktive Einschränkungen, die zwangsläufig die Nutzerakzeptanz beeinflussen. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, wesentliche Designimplikationen für ein solches CPPS zu definieren.

Das Forschungsprojekt „Cyberrüsten 4.0“ (Abele et al. 2016) war auf die Konzipie-

rung eines prototypischen digitalen Unterstützungssystems bei Rüst- bzw. Einrichtvorgängen von Umform- bzw. Biegemaschinen ausgerichtet, um einerseits Rüstzeiteinsparungen generieren und andererseits (Fach-)Wissen archivieren und kontextspezifisch aufbereiten zu können. Eine entsprechende Applikation wurde für die Mixed-Reality-Datenbrille „HoloLens“ von Microsoft durch den sogenannten „Expert to Go“ umgesetzt. Prozessrelevante Informationen können über eine holografische Interaktion im realen Sichtfeld des Nutzers sowohl erstellt als auch konsumiert werden.

## 2. Stand der Technik

Studien über den Wissens- und Erfahrungsaustausch erkennen weitgehend die Bedeutung des Wissensmanagements als strategische Ressource zugunsten potentieller Wettbewerbsvorteile für Unternehmen an (u.a. Watson und Hewett 2006). Keine dieser Studien untersucht jedoch die Rolle der gemeinsamen Nutzung von wissensintensiven Praktiken, Fachwissen und des Wissenstransfers in industriellen Rüstprozessen. Vielmehr liegt der Schwerpunkt oftmals auf der Ausarbeitung von Modellen, die sich auf eine organisatorische Wissensschöpfung (Nonaka et al. 2000) oder auf Motivationsaspekte zur Realisierung eines erfolgreichen Wissenstransfers beziehen. Ackerman & Halverson (2004) weisen in diesem Zusammenhang auf die Bedeutsamkeit der Aneignung eines detaillierten empirisch fundierten Verständnisses der mit dem Wissenstransfer verbundenen Praktiken hin.

Praktiken werden als „Wege des Handelns“ betrachtet und setzen zumeist kontextabhängiges Wissen voraus (Schmidt 2014). Darüber hinaus spielt jedoch auch nicht-propositionales Wissen, bspw. in Form verkörperter bzw. nicht verbalisierbarer Handlungen, eine bedeutende Rolle (Gallagher 2010).

AR-Technologien können in diesem Zusammenhang helfen, das in verkörperten Handlungen eingebettete Wissen aufzuzeichnen und zu visualisieren. In wissensintensiven Umgebungen ist der schnelle, uneingeschränkte und kontextspezifische Zugang zu Informationen ein vielversprechendes Mittel zur Unterstützung von Lernprozessen (Klopfer et al. 2005). Erkenntnisse aus der Literatur deuten auch darauf hin, dass AR-Tools die Fähigkeiten und die Wahrnehmung der Nutzer durch eine potentiell nachhaltige Verbesserung der Arbeitsvorgänge, wie bspw. von Montageprozessen (Ong et al. 2008), Wartungsarbeiten (Lee und Akin 2011) oder Schweißarbeiten (Park et al. 2007), verbessern können.

Trotz der Arbeit von Tang et al. (2007), welche die Rolle der Verkörperung in Bezug auf Gruppeneffekte unter Berücksichtigung gemischter Präsenz untersuchten, bestehen in der Literatur keine Anhaltspunkte für eine wissensbasierte Nutzung von AR-Systemen in Bezug auf erfasste verkörperte Handlungen. Darüber hinaus wurde der asynchronen Zusammenarbeit wenig Beachtung geschenkt (Irlitti et al. 2017).

AR- und Sensortechnologien können unter Berücksichtigung eines Einsatzes im sozio-technischen Kontext potenziell zahlreiche verschiedene Prozesse unterstützen und erleichtern. Cyber-physische Systeme (CPS) bzw. das Internet of Things (IoT), die in der industriellen Umgebung auch als CPPS bzw. IIoT bezeichnet werden, sind in diesem Zusammenhang Ansätze zum innovativen Handling wissensintensiver Prozesse zugunsten effizienter Arbeitspraktiken (Paelke & Röcker 2015). Sie stellen Systeme aus eng gekoppelten physischen und virtuellen bzw. digitalen Komponenten dar, die Software, Hardware, Sensoren und Aktoren integrieren (Lee et al. 2015). Die Interaktion mit solchen Systemen erfolgt über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die durch konventionelle PC-Schnittstellen, Touchscreens oder AR-basierte Technologien

implementiert werden kann. Eine Untersuchung, inwieweit solche Systeme den Austausch von Wissen und Expertise unterstützen könnten, indem sie das in verkörperten Handlungen eingebettete Wissen sammeln, ist bis dato nicht bekannt.

Trotz des in der Literatur identifizierten Potenzials der beschriebenen Aspekte wurden nur wenige Erkenntnisse hinsichtlich der Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer publiziert. Die Forschungsarbeiten im Rahmen von „Cyberrüsten 4.0“ setzten daran an, um ein erfolgsversprechendes Tool für den Wissens- und Erfahrungsaustausch im Rahmen industrieller Rüstprozesse zu konzipieren und gleichzeitig die Frage zu beantworten, wie sich in diesem besonderen Kontext der Verkörperung Wissen in Aktionen manifestiert.

### **3. Methode**

Das Forschungsbestreben war auf die Gestaltung eines AR-basierten CPPS ausgerichtet, das Maschineneinrichtern dazu verhelfen kann, Wissen und Fachkenntnisse über kontextspezifische Einrichtungsprozesse effektiv, leistungssteigernd und beanspruchungsminimal zu teilen und gleichermaßen zu konsumieren.

Dazu wurde eine Designfallstudie (Wulf et al. 2011) durchgeführt, um einen nutzerzentrierten Designansatz eines IIoT-Tools folgen zu können. Basierend auf einer empirischen Analyse des Handlungsfeldes, die sich aus Experteninterviews, Eye-Tracking-Aufnahmen, Prozessbeobachtungen sowie Dokumenten- und CNC-Codeanalysen zusammensetzte, erfolgte ein Designprozess auf Grundlage der ausgewerteten Daten. Dabei wurde ein ethnographischer Ansatz gewählt, um die Praktiken und den sozialen Kontext von Maschineneinrichtern zu verstehen.

Um die gewonnenen qualitativen Erkenntnisse verifizieren bzw. falsifizieren und schließlich erweitern zu können, wurden Teilstudien durchgeführt, die auch quantitative Komponenten einbeziehen (u.a. Abele & Kluth 2020). Das „Sequential Exploratory Design“ (Creswell et al. 2007) ist ein Mixed-Methods-Ansatz, der auf der Analyse von hauptsächlich qualitativen, aber auch quantitativen Daten basiert, die sequentiell gesammelt, priorisiert und in eine oder mehrere Phasen des Forschungsprozesses integriert wurden.

Das Ergebnis stellt die Entwicklung eines sozio-technischen Artefakts dar, das den Nutzer in seiner täglichen Arbeit adäquat unterstützt.

### **4. Ergebnisse**

In Kombination mit geeigneten sensorischen Eingangswerten und prozessrelevanten und kodifizierten Informationen über eine Maschine sowie über Werkzeug- und Materialeigenschaften kann die AR-Technologie helfen, die in einer Produktionsumgebung vorherrschenden Barrieren zu überwinden. Designimplikationen für die Konzipierung eines entsprechenden Unterstützungssystems sollten mindestens drei wesentliche Aspekte abdecken. Erstens sollte jede Lösung aufgrund des Mangels an „Expertenwissen“ und der fehlerintoleranten Produktionsumgebung relevante Informationen zeitnah und mit minimalen Fehlern bereitstellen, um letztlich die Produktionskosten niedrig zu halten. Zweitens muss das prozessrelevante Datenmaterial angemessen visualisiert werden. Sowohl die schrittweise Erfassung als auch die Wiedergabe der Instruktionen bzw. des Lehrmaterials in Form von Text, auditiven Kommentaren sowie bild- und videobasierten Inhalten sollte aus der Ich-Perspektive, z.B. mit Hilfe von

HMDs, realisiert werden, um den Einsatz beider Hände für die arbeitenden Personen zu gewährleisten. Darüber hinaus trägt eine geeignete Sensorik durch die Überwachung des Arbeitsbereichs dazu bei, die Unsicherheit der Benutzer zu verringern. Damit erhöht sich die Effizienz der Instruktion durch Fehlervermeidung und Stressreduzierung.

Das Ergebnis der Umsetzung der Designimplikationen stellt die prototypische Rüst-Applikation „Expert to Go“ für die AR-Datenbrille „Microsoft HoloLens“ dar. Die Grundfunktionen des IIoT-Tools lassen sich zugunsten eines effektiven Wissens- und Erfahrungsaustausches in einen Aufnahme- („Writing Mode“) und einen Wiedergabemodus („Reading Mode“) unterteilen. Die AR-Aspekte der Technologie können genutzt werden, um eine angemessene Kontextualisierung der Informationen zu gewährleisten. Das „Schreiben“ ermöglicht dem Experten die Aufzeichnung prozessrelevanter Inhalte. Mithilfe des „Lesen“-Modus werden die Rüstanweisungen kontextspezifisch und schrittweise visualisiert sowie mit internen und externen Sensordaten und Simulationen angereichert. Eine über dem Montageraum angebrachte 3D-Kamera verhilft beispielsweise dazu, die Positionierung von Werkzeugen und Maschinenkomponenten unabhängig von Licht- und Schmutzverhältnissen zu überprüfen.

Abbildung 1 ist das auf Grundlage der beschriebenen Aspekte entstandene Modell zum Wissens- und Erfahrungsaustausch zu entnehmen. Das Modell selbst wurde konstruiert, um den Entwurf und die Implementierung neuer und innovativer Technologien zu unterstützen, welche auf die identifizierte Problematik reagieren. Es stellt die realisierten Designimplikationen bzw. durchgeführten Designaktivitäten in dem situativen und organisatorischen Kontext dar.

Spezifische Inhalte, die aus Gründen der Darstellbarkeit in dem vorliegenden Papier nicht vollumfänglich präsentiert werden, können der Ausarbeitung von De Carvalho et al. (2018) und Abele & Kluth (2020) entnommen werden.

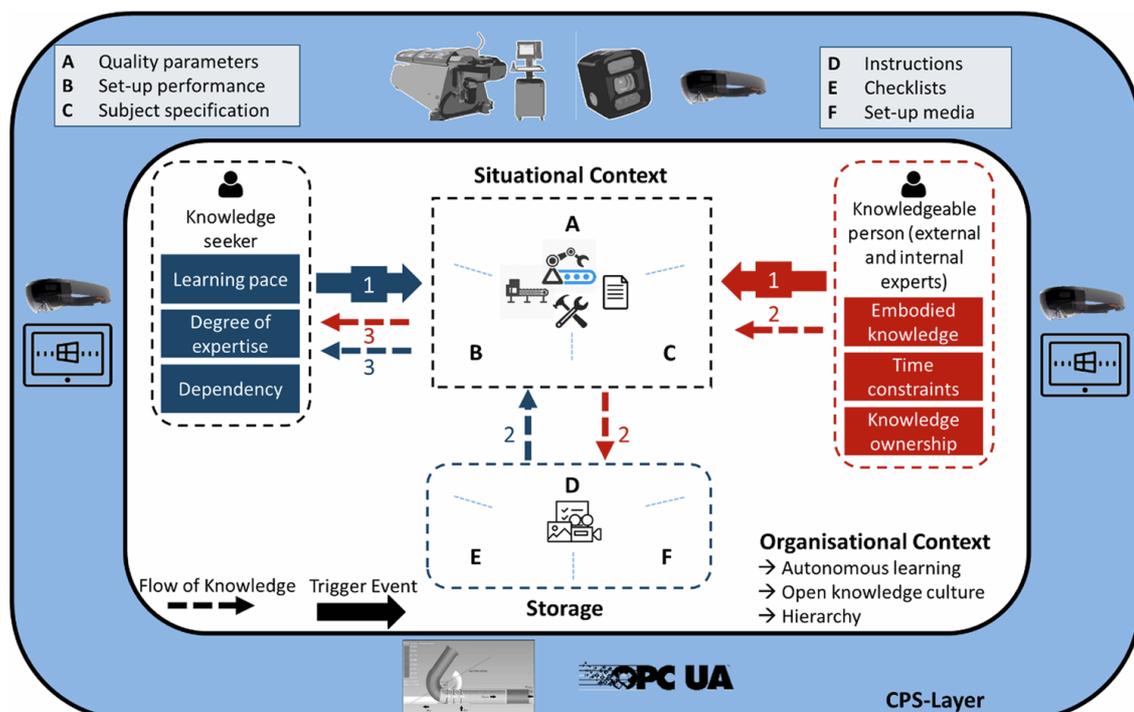


Abbildung 1: Wissenstransfermodell im Rahmen des Forschungsprojekts „Cyberrüsten 4.0“

## 5. Diskussion und Ausblick

Die Ausarbeitungen zeigen die Komplexität von Wissen auf. Es reicht nicht aus, nur zwischen implizitem und explizitem Wissen respektive „Know How“ und „Know Why“ zu unterscheiden. Der Forschungsansatz bestand darin, vermeintlich irrelevantes, selbstverständliches und banales Wissen mit anderen oder unerfahrenen Mitarbeitern zu teilen, da sich hier das in die Expertenarbeit eingebettete Wissen verbirgt. Damit geht außerdem die Schwierigkeit einher, (Fach-)Wissen verfügbar zu machen, das absichtlich zurückgehalten wurde.

Daher sollten die Vorteile der Technologie als Teil eines Systems für den Wissensaustausch genutzt und angewendet werden. Darüber hinaus kann der „Expert to Go“ als Lean- bzw. Rüstoptimierungs-Tool angesehen werden, das u.a. den weit verbreiteten Ansatz des „Single Minute Exchange of Die“ (SMED) unterstützt (Shingo 1985).

Die Ergebnisse liefern eine detaillierte Darstellung der Praktiken der Maschineneinrichter für Rüstvorgänge an Biege- bzw. Umformmaschinen. Der Ansatz und die Konzeption wurden so gewählt, dass das CPPS spezifisch an den jeweiligen Arbeitsprozess angepasst werden muss, aber auch auf andere Wissensgebiete übertragen und eingesetzt werden kann.

Auch in Zukunft wird der Austausch von Wissen und Expertise ein relevantes und stets aktuelles Thema bleiben. Die Forschung wird sich sowohl mit den Potentialen als auch mit den Herausforderungen befassen müssen, die mit dem Einsatz von CPPS im Hinblick auf die Nutzerakzeptanz und die ergonomischen Einschränkungen von Software und Hardware verbunden sind.

## 6. Literatur

- Abele ND, Hoffmann S, Kuhnhen C, Ludwig T, Schäfer W, Schweitzer M, Wulf V (2016) Supporting the Set-up Processes by Cyber Elements based on the Example of Tube Bending. In: Mayr HC, Pinzger M (2016), Informatik 2016 – Informatik von Menschen für Menschen, GI-Edition-Lecture Notes in Informatics (LNI), 1627-1637.
- Abele ND, Kluth K (2020) Beanspruchungsbezogene Evaluierung AR-basierter versus papierunterstützter Rüstinstruktionen zur Einrichtung von Industriemaschinen. In: Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch? Proceedings des 66. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Beitrag B.2.1, GfA-Press, Dortmund.
- Ackerman, MS, Halverson C (2004) Sharing Expertise: The Next Step for Knowledge Management. In: Huysman M, Wulf V (2004) Social Capital and Information Technology. London: MIT Press, 273–299.
- Bhattacharya B, Winer EH (2019) Augmented reality via expert demonstration authoring (AREDA). Computers in Industry 105: 61-79. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.021>.
- Creswell JW, Clark VLP, Gutmann M, Hanson WE (2007) An Expanded Typology for Classifying Mixed Methods Research Into Designs Editors' Introduction. Handbook of mixed methods in social and behavioral research: 209–240.
- De Carvalho AFP, Hoffmann S, Abele ND, Schweitzer M, Tolmie P, Randall D, Wulf V (2018) Of Embodied Action and Sensors. Knowledge and Expertise Sharing in Industrial Set-Up. Computer Supported Cooperative Work 27 (3-6): 875-916.
- Gallagher S (2010) Merleau-Ponty's Phenomenology of Perception. Topoi, Vol. 29, No. 2, 183–185.
- Irlitti A, Smith RT, Von Itzstein S, Billingham M, Thomas BH (2017) Challenges for Asynchronous Collaboration in Augmented Reality. In: ISMAR-Adjunct. Adjunct Proceedings of the 2016 I.E. International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Merida, Mexico, 19–23 September 2016. New York: IEEE, 31–35.
- Janssen S, Möller K (2011) Erfolgreiche Steuerung von Innovationsprozessen und -projekten – Ergebnisse einer empirischen Studie. Zeitschrift für Controlling & Management 55, 2: 97–104.
- Klopfer E, Perry J, Squire K, Jan M (2005) Collaborative Learning through Augmented Reality Role Playing. In: CSCL'05 Proceedings of the 2005 Conference on Computer Support for Collaborative

- Learning: Learning 2005: the Next 10 years!, Taipei, Taiwan, 30 May-4 June 2005. International Society of the Learning Sciences, 311–315.
- Lee S, Akin Ö (2011) Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. *Automation in Construction*, Vol. 20, No. 4, 338–352.
- Lee J, Bagheri B, Kao HA (2015) A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, vol. 3, January 2015, 18–23.
- Ludwig T, Kotthaus C, Stein M, Durt H, Kurz C, Wenz J, Doublet T, Becker M, Pipek V, Wulf V (2016) Arbeiten im Mittelstand 4.0 – KMU im Spannungsfeld des digitalen Wandels. *HMD Praxis Der Wirtschaftsinformatik*, 53(1), 1–16. <http://doi.org/10.1365/s40702-015-0200-y>.
- Nonaka I, Toyama R, Konno N (2000) SECI, Ba and Leadership: A Unified Model of Dynamic Knowledge Creation. *Long Range Planning*, Vol. 33, No. 1, 5–34.
- Ong SK, Yuan ML, Nee AYC (2008) Augmented reality applications in manufacturing: A survey. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 10, 2707–2742.
- Park M, Schmidt L, Schlick C, Luczak H (2007) Design and Evaluation of an Augmented Reality Welding Helmet. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 17, No. 4, 317–330.
- Paelke V, Röcker C (2015) *User Interfaces for Cyber-Physical System: Challenges and Possible Approaches*. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20886-2>.
- Schmidt K (2014) The concept of 'practice': What 's the point? In: Rossitto C, Ciolfi L, Martin D, Conein B (2014) COOP 2014. Proceedings of the 11th International Conference on the Design of Cooperative Systems, Nice (France), 27-30 May 2014. Cham: Springer, 427–444.
- Shingo S (1985) *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. CRC Press.
- Tang A, Neustaedter C, Greenberg S (2007) Videoarms: Embodiments for Mixed Presence Groupware. In: Bryan-Kinns N, Blanford A, Curzon P, Nigay L (2007) *People and Computers XX — Engage*. London: Springer, 85–102.
- Watson S, Hewett K (2006) A multi-theoretical model of knowledge transfer in organizations: Determinants of knowledge contribution and knowledge reuse. *Journal of Management Studies*, Vol. 43, No. 2, 141–173.
- Wulf V, Rohde M, Pipek V, Stevens G (2011) Engaging with practices: Design case studies as a research framework in CSCW. *Proceedings of CSCW '11*, 505-512.

**Danksagung:** Forschungsprojekt „Cyberrüsten 4.0“, gefördert durch EFRE-0800263





Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)  
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)  
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021**

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum  
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2021  
ISBN 978-3-936804-29-4

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**

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)