

## **Analyse der wahrgenommenen Arbeitsbelastung bei dem Erlernen einer bimanuellen Kransteuerungsaufgabe**

Felix A. DREGER, Gerhard RINKENAUER

*Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund  
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

**Kurzfassung:** Die komplexe Steuerung eines Holzvollernters erfordert hohe Bedienfertigkeiten. Studien zeigen Produktivitätsunterschiede von bis zu 40 %. Die vorliegende Studie hatte das Ziel, die Arbeitsbelastung während des Erlernens einer motorischen bimanuellen Steuerungsaufgabe zu untersuchen. Zehn Versuchsteilnehmer steuerten einen Kran im Simulator und führten Zielbewegungen aus. Dabei wurde die subjektive Arbeitsbelastung erhoben. Die Ergebnisse zeigen starke individuelle Unterschiede in der Belastungsempfindung bei zunehmender Bearbeitungsgeschwindigkeit über die Zeit. Insgesamt ist die subjektive Belastung, bei hoher Leistungsmotivation als moderat einzuschätzen. Zukünftige Studien sollten Entscheidungen über Arbeitsprozesse als zusätzliche Belastungsfaktor erheben.

**Schlüsselwörter:** Mentale Arbeitsbelastung, Kransteuerung, bimanuelle Steuerung, motorisches Lernen

### **1. Einleitung**

Die Produktivität der mechanisierten Holzernte ist abhängig von den Fertigkeiten der Forstmaschinenführer. Ovaskainen et al. (2004) fanden Produktivitätsunterschiede von bis zu 40 % zwischen Maschinenführern im selben Baumbestand. Die Maschinenführer arbeiteten in Schichten auf derselben Forstmaschine. Die Maschinenführung besteht aus strategischen Entscheidungen über Arbeitsabläufe und deren präzisen motorischen Umsetzung. Die komplexe Steuerung eines Holzvollernters (Harvester) erfordert bis zu 4000 Steuerungsbefehle in der Stunde, die ausschließlich mit den Händen ausgeführt werden (Berger, 2003). Das Erlernen dieser motorischen Aufgabe ist entscheidend für die spätere Performanz des Maschinenführers. Purfürst (2010) untersuchte den Lernfortschritt von Maschinenführern im Baumbestand und fand, dass Maschinenführer im Durchschnitt 9 Monate benötigen, bis die Lernleistung ein Plateau erreicht. Die Streuung des Lernfortschritts war individuell verschieden, sodass kein Zusammenhang zwischen der Länge des Lernens und der maximalen Lernleistung hergestellt werden konnte. Purfürst (2010) fand Produktivitätssteigerungen von bis zu 200%.

Aus der Human Factors Forschung ist bekannt, dass die Performanz in einer Aufgabe mit der Arbeitsbelastung zusammenhängt (Gopher & Donchin, 1986; Yeh & Wickens, 1988). Relevante Lernstudien im Bereich der Forstingenieurwissenschaften fokussieren im Wesentlichen auf die relative Produktivität in  $m^3/h$  des Maschinenführers (Lopes et al., 2018; Purfürst, 2007). Diese Studien ignorieren jedoch die verschiedenen humanzentrierten Teilbereiche, aus denen sich die Gesamtleistung eines Maschinenführers zusammensetzt. Sie betrachten weder die mentale Arbeitsbelastung noch das motorische Lernen, sondern überwiegend wirtschaftliche Aspekte der Arbeit. Für

die gezielte Förderung der Maschinenführerperformanz und zur Reduktion bzw. Optimierung der mentalen Arbeitsbelastung ist eine differenziertere Betrachtungsweise notwendig. Aus diesem Grund war es Ziel der vorliegenden Studie, die Arbeitsbelastung während des Erlernens einer bimanuellen Kransteueraufgabe zu untersuchen. Wir vermuten, dass sich die subjektive Arbeitsbelastung mit der Bearbeitungszeit der Aufgabe reduziert.

## 2. Methode

### 2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen  $N = 10$  Versuchsteilnehmer (6w, 4m,  $M_{Alter} = 28$  ( $SD_{Alter} = 9,29$ )). Alle Versuchsteilnehmer waren Rechtshänder mit normaler oder korrigiert zu normaler Sehfähigkeit. Die Teilnehmer hatten keine motorischen Einschränkungen.

### 2.2 Simulator

Das Experiment wurde in einem eigens dafür gestalteten Roboterkransimulator durchgeführt. Die Simulation wurde mithilfe von ROS und der Simulationsumgebung GAZEBO realisiert. Als Kranbasis diente der simulierte Roboterarm „Robotis open manipulator“ (ROBOTIS Inc., Korea). Die Spezifikation des Roboterkrans wurden an die Dimensionen eines CF8 Auslegers für Forstmaschinen angepasst. Der Greifraum des Krans betrug 10 m in einem Umkreis von  $342^\circ$  um den Ursprung des Krans. Der Simulator bestand aus einem Fiat Ducato Chicago Fahrersitz (Luftfederung) an den zwei Joysticks (Thrustmaster T.16000M FCS) montiert wurden. Die Augenposition der Versuchsteilnehmer war auf einer Höhe von 1,25 m und in einer Distanz von ca. 1,10 m zum Bildschirm (Samsung LE40C750R2Z).

Der Roboterkran wurde auf einer flachen Ebene positioniert, die durch Gitternetzlinien dargestellt wurde. Die Versuchsteilnehmer steuerten den Kran aus einer nahen Vogelperspektive.

### 2.3 Stimuli

Bewegungsziele, die durch die Kranbewegungen angesteuert werden sollten, waren acht flächig ausgefüllte Kreise auf der Bodenebene. Diese Kreise waren symmetrisch innerhalb der  $180^\circ$  Vorderansicht jeweils paarweise positioniert (rechts und links der  $90^\circ$  voraus Linie). Die Positionen wurden nach typischen Bewegungsmustern eines Harvesters ausgewählt. Es waren während der Aufgabe immer zwei Kreise sichtbar, entweder in Blau oder in Violett. Die Farbe deutete an, auf welcher Seite die Zielbewegung startete (Blau = links; Violett = rechts).

### 2.4 Subjektive Maße

Zur Erhebung der mentalen Belastung wurde die Rating Scale Mental Effort (RSME; Zijlstra, 1993) und der NASA TLX in der Rohversion angewendet (Hart & Staveland, 1988). Die Erfassung der Leistungsmotivation erfolgte mit zehn Items des Leistungsmotivationsinventar in der Kurzfassung (LMI-K) (Prohaska & Schuler, 2001). Die RSME Skala reicht von 0 („absolut keine Anstrengung“) -150. Die letzte schriftliche Skalenbeschreibung liegt bei ca.113 und weist „extreme Anstrengung“ aus. Der NASA

TLX besitzt sechs Skalen (mental demand, physical demand, temporal demand, performance, effort, frustration). Die Bewertung wird auf einer 21 teiligen Skala vorgenommen. Die Rohversion verzichtet auf die anschließende Gewichtung der Skalen. Die einzelnen Skalenwerte wurden skaliert, sodass ein Zielbereich zwischen 0-100 realisiert wurde.

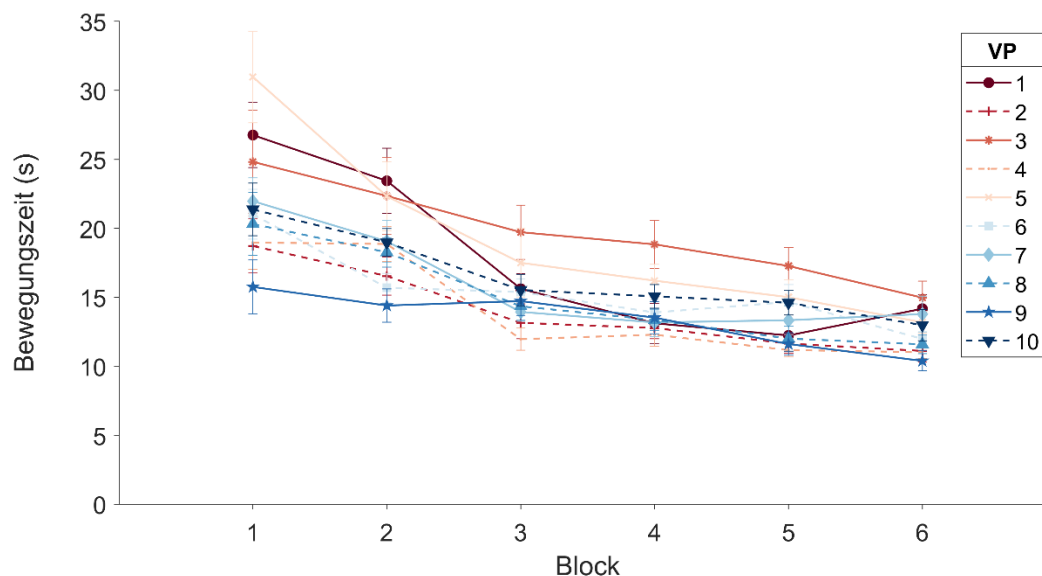
## 2.5 Versuchsablauf und Design

Die Versuchsdauer belief sich je nach Bearbeitungsgeschwindigkeit des Teilnehmers auf 3.5 Std. - 4 Std. Nachdem die Versuchsteilnehmer der Teilnahme zugestimmt und die Instruktion gelesen hatten, wurde der Simulator an die jeweilige Versuchsperson angepasst und ein kurzes Training von vier Zielbewegungen durchgeführt (ca. 5 min). Im Anschluss startete der Versuch, innerhalb dessen die Versuchsteilnehmer 6 Blöcke mit jeweils 80 Zielbewegungen ausführten. Während des dritten und sechsten Blocks wurde die RSME Skala, nach jedem Zielkreispaar ausgefüllt. Nachdem die Simuladoraufgabe abgeschlossen war, bearbeiteten die Versuchsteilnehmer den NASA TLX und die zehn Items aus dem LMI-K.

Das Experiment wurde in einem 2 (Startseite) x 4 (Zielpaare) x 6 (Versuchsblöcke) within-subject design durchgeführt. Die Zielpaarvorgabe wurde innerhalb jedes Versuchsblocks randomisiert, wobei die sechs Blöcke im Wechsel mit links oder rechts starteten.

## 3. Ergebnisse

Zunächst wurde die Bewegungszeit des Krans über alle Ziele hinweg pro Versuchsblock für jeden Versuchsteilnehmer betrachtet (vgl. Abbildung 1).

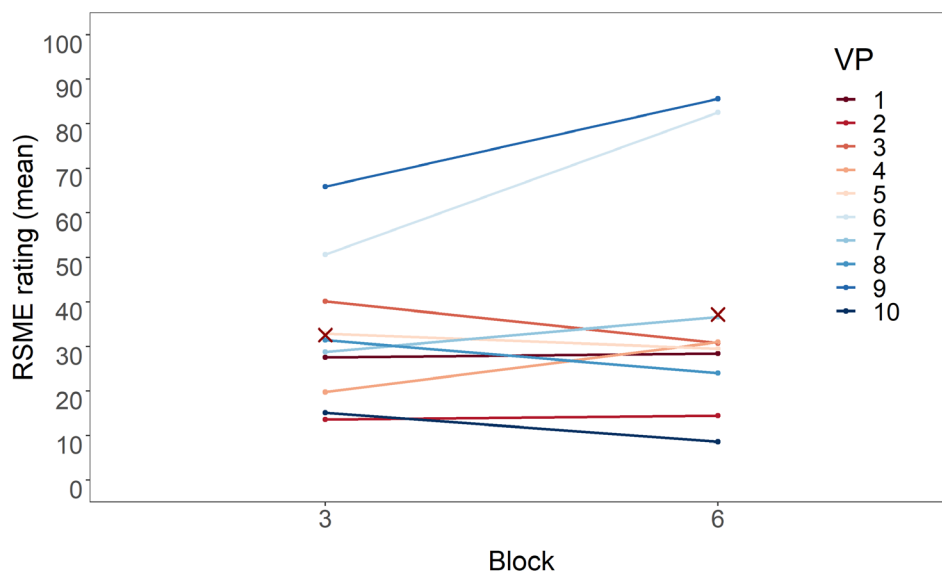


**Abbildung 1:** Bewegungszeit der mit dem Kran ausgeführten Zielbewegungen (in Sekunden) über die Zeit des Versuches für jeden Versuchsblock. Jede Kurve entspricht einem Versuchsteilnehmer.

Zu sehen ist, dass sich die Bewegungszeit signifikant von Block 1 ( $M_1 = 22,01$ ;  $SD_1 = 4,42$ ) zu ( $M_2 = 18,9$ ;  $M_3 = 15,19$ ;  $M_4 = 14,22$ ;  $M_5 = 13,35$ ) Block 6 ( $M_6 = 12,52$ ;  $SD_6$

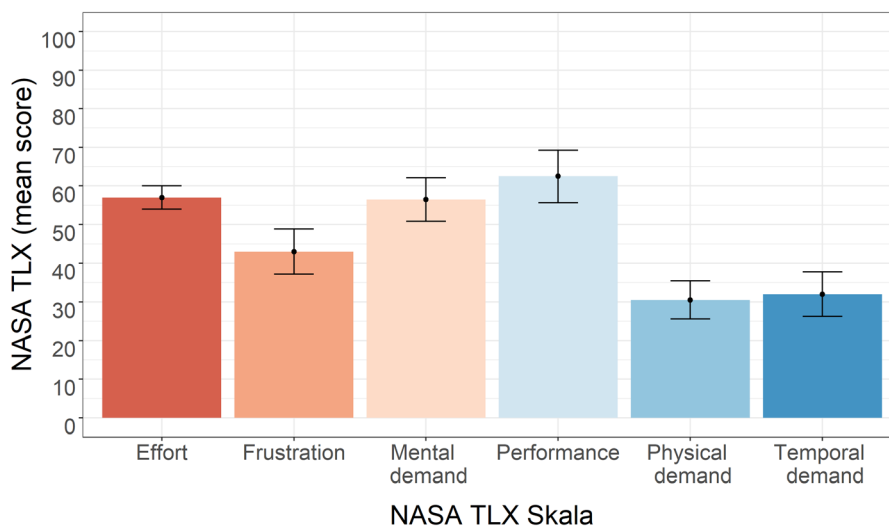
= 1,53) reduziert ( $F(5,45) = 45.23, p < .001$ ). Zusätzlich wird die Bewegungszeit mit der Zeit homogener, wie an der Verminderung der Standardabweichung zu sehen ist ( $F(5,45) = 24.45, p < .001$ ).

Die RSME zur Messung der mentalen Anstrengung zeigt für zwei Versuchsteilnehmer eine deutliche (VP 9 & 6) und weitere drei Versuchsteilnehmer (VP 7, 4, 2) eine geringere Zunahme der mentalen Anstrengung von Block 3 zu Block 6 (Abbildung 2). Für fünf Teilnehmer reduziert sich wie erwartet die Belastung. Insgesamt ist die Belastung zwischen dem dritten ( $M_3 = 32,56, SD_3 = 16,19$ ) und dem sechsten ( $M_6 = 37,15, SD_6 = 26,09$ ) Block nicht signifikant voneinander verschieden ( $t(9) = -1.09, p = 0.302$ ). Zum Ende der ersten Hälfte des Experiments wird die Belastung als „ein wenig“ und „einige“ angegeben. Lediglich VP 9 gibt bereits während des dritten Blocks die Anstrengung als „ziemlich viel“ an. Während des sechsten Blocks reduziert sich die Belastung von einige Anstrengung zu ein wenig, von (VP 8, 5, 3).



**Abbildung 2:** Bewertung der mentalen Belastung auf der RSME Skala zur Hälfte des Experiments im dritten Block und am Ende des Experiments während des sechsten Blocks. Jede Kurve beschreibt den Verlauf eines Versuchsteilnehmers.

Der Arbeitsaufwand (Effort), erhoben mit dem NASA TLX in der Rohversion zeigt, dass die diesbezügliche mentale und physische Beanspruchung durchschnittlich bewertet wurde. In Abbildung 3 ist zu sehen, dass die Versuchsteilnehmer tendenziell wenig frustriert waren. Die mentale Beanspruchung (Demand) wurde als leicht überdurchschnittlich angegeben. Insgesamt waren die Teilnehmer eher zufrieden mit Ihrer Leistung. Die physische und zeitliche Beanspruchung wurde als gering eingeschätzt.



**Abbildung 3:** Durchschnittliche Bewertung der Arbeitsbelastung auf den Skalen des NASA Task Load Index über alle Versuchspersonen hinweg.

Die erbrachte Leistung in der Aufgabe ist ebenfalls von der Motivation der Versuchsteilnehmer abhängig, ein positives Ergebnis zu erzielen. Die Leistungsmotivation, erhoben mit zehn Items des LMI-Ks, war nicht signifikant verschieden zwischen den Teilnehmern ( $F(1,8) = 3.11, p = 0.116$ ).

#### 4. Diskussion

Ziel dieser Untersuchung war es, die mentale Arbeitsbelastung während einer bimanuellen Kransteueraufgabe zu bestimmen. Hierbei wurde gezeigt, dass ein signifikanter Lerneffekt in der Aufgabe über die Zeit auftrat. Einige Versuchsteilnehmer konnten ihre Bewegungszeit für die Zielbewegung halbieren. Trotz des motorischen Anspruchs an die Versuchsteilnehmer wurde die physische Belastung als gering eingeschätzt. Dies scheint erklärbar durch den ergonomischen Sitz, die Joystick-einstellung und die geringen Kräfte, die zur Bewegung der Joysticks notwendig waren. Die mentale Belastung wurde von den Versuchspersonen als durchschnittlich eingeschätzt. Vermutlich ist das Ausmaß der mentalen Belastung entscheidend für die Gesamtbeanspruchung. Aufgrund der selbstbestimmten Geschwindigkeit, mit der die Aufgabe gelernt wurde, ist der zeitliche Anspruch als nachrangig anzusehen. Die motorischen Ansprüche der Aufgabe erscheinen für die erhobene Belastung verantwortlich zu sein. Entgegen unserer Erwartung gab es keine Reduktion der mentalen Belastung während des Experiments. Dies könnte einerseits an der generell hohen Leistungsmotivation der Teilnehmer und andererseits an der als gering wahrgenommenen Gesamtbelastung liegen. Erstaunlicherweise gaben zwei Teilnehmer eine erhebliche Belastungszunahme über die Zeit hinweg an. Diese beiden Teilnehmer hatten bereits im ersten Versuchsblock eine niedrige Bewegungszeit und konnten diese kurze Bewegungszeit bis zum sechsten Versuchsblock weiter reduzieren. Die hohe Geschwindigkeit der Zielbewegungen könnte ein Hinweis für eine höhere Anstrengung und somit eine mögliche Erklärung für die empfundene Belastungssteigerung sein. Die Leistungsmotivationserfassung scheint allerdings für diese zwei Teilnehmer keine ausreichend sensitive Erklärung zu bieten. Wir vermuten, dass die RSME-Skala zwei Phänomene vereint,

die von den Versuchsteilnehmern unterschiedlich gewichtet werden. Zum einen könnte der Anstieg der wahrgenommen mentalen Belastung ein Ausdruck der Ermüdung über die Bearbeitungszeit sein. Eine andere Erklärung ist, dass die gesteigerten Bedienfertigkeiten zu einer erleichterten Bedienung und somit zur mentalen Entlastung führen. Je nachdem welches dieser zuvor genannten Perzepte überwiegt, wäre dann eine Abnahme, Stagnation oder Zunahme der mentalen Belastung zu beobachten.

Diese Studie gibt einen ersten Einblick zur mentalen Belastung bei der bimanuellen Steuerung eines Krans. Die Ergebnisse der subjektiven Maße zeigen deutliche individuelle Unterschiede, was die Interpretation aufgrund der niedrigen Probandenzahl erschwert. Aus diesem Grund wird diese Studie fortgeführt.

Generell scheint die mentale Beanspruchung durch das motorische Lernen in der Maschinenführerausbildung bisher eine untergeordnete Rolle zu spielen. In unserem Experiment lässt sich erkennen, dass während des Erlernens der Aufgabe, schnell Fortschritte erzielt werden, die mentale Beanspruchung jedoch individuell sehr unterschiedlich empfunden wird. Um eine Übertragung der Ergebnisse in die Arbeitswelt zu ermöglichen, sind weitere Untersuchungen mit höherer Aufgabenkomplexität erforderlich. Allgemein wird eine mittlere Beanspruchung als optimal angesehen, da keine Überforderung, aber auch keine Unterforderung der Maschinenführer erfolgt. Die Aufgabe eines Maschinenführers besteht neben der motorischen Komponente zum Großteil aus Entscheidungen über die Arbeitsabläufe. Wir vermuten, dass sich mit dieser zusätzlichen Anforderung, insbesondere unter Zeitdruck, die mentale Beanspruchung erhöht, was einen negativen Einfluss auf die motorische Lernleistung haben könnte. Dies sollten zukünftige Studien klären, damit für die Ausbildung von Novizen ein für die Lernleistung optimales Beanspruchungsniveau ermittelt werden kann.

## 5. Literatur

- Berger, C. (2003). Mental stress on harvester operators. *High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, October 5-9*, 1–10.
- Gopher, D., & Donchin, E. (1986). *Workload: An examination of the concept*. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance, Vol. 2. Cognitive processes and performance* (p. 1–49). John Wiley & Sons.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press.
- Lopes, E. da S., Pagnussat, M. B., & Cabral, O. M. de J. V. (2018). Effect of age and education level on operator's performance with harvester virtual reality simulator. *Floresta*, 48(4), 463–470. <https://doi.org/10.5380/rf.v48i4.50437>
- Malinen, J., Taskinen, J., & Tolppa, T. (2018). Productivity of cut-to-length harvesting by operators' age and experience. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(1), 15–22.
- Ovaskainen, H., Uusitalo, J., & Väättäinen, K. (2004). Characteristics and significance of a harvester operators' working technique in thinnings. *International Journal of Forest Engineering* 15(2), 67–77.
- Purfürst, F. T. (2007). Human Influences on harvest Operations. *Austro2007/FORMEC '07: Meeting the Needs of Tomorrows' Forests - New Developments in Forest Engineering, October 7 – 11, 2007, Vienna and Heiligenkreuz - Austria*, (1999), 1–9.
- Purfürst, F. T. (2010). Learning curves of harvester operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2), 89–97.
- Schuler, H., & Prochaska, M. (2001). *Leistungsmotivationsinventar (Imi)*. Göttingen: Hogrefe.
- Yeh, Y., & Wickens, C. D. (1988). Dissociation of performance and subjective measurement of workload. *Human Factors*. 30, 11 1-12
- Zijlstra, F.R.H. (1993). *Efficiency in work behaviour: A design approach for modern tools*. Doctoral Thesis. (c) 1993 Delft University Press.





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)