

Analyse von Augen- und Blickbewegungen zur Beschreibung von Handlungswissen in der manuellen Demontage

Manuel ZAREMSKI, Barbara DEML

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

Kurzfassung: Grundlegend, für die flexible Einsatzfähigkeit des Menschen in der Produktion, ist ein effizientes Wissensmanagement sowie der Transfer von spezifischen Handlungsstrategien von De- und Montageprozessen. Daher wurde untersucht, ob die Blickbewegung zur Externalisierung von Handlungswissen und zum Wissenstransfer verwendet werden kann. Die Ergebnisse zeigen auf, dass aufgabenrelevante Komponenten länger und häufiger während der Demontage fixiert werden sowie die Blicke sich vermehrt innerhalb dieser Bereiche bewegen. Die Blickbewegung scheint somit ein geeignetes Verfahren zur Beschreibung von Handlungswissen zu sein. Zudem lassen sich erste Erkenntnisse und Anforderungen zur Nutzung der Blickbewegung eines Experten zum Wissenstransfer in der Demontage ableiten.

Schlüsselwörter: Wissenstransfer, Blickbewegungsparameter, Demontage, Handlungswissen, Problemlösestrategien

1. Theoretischer Hintergrund

Eine steigende Produkt- und Variantenvielfalt erfordert eine flexible Einsatzfähigkeit des Menschen innerhalb des Produktionssystems. Aufgrund der global zunehmenden Ressourcenknappheit ist diese Fähigkeit nicht nur in der Produktion, sondern auch in der Refabrikation (Priyono et al., 2016) gefragt. Dabei werden Altprodukte mit ungewissen Produktspezifikationen (z. B. Verschmutzung, defekte Komponenten) zurückgewonnen, demontiert und wiederaufgearbeitet. Für einen wertschöpfenden Prozess und einer konstanten Wettbewerbsfähigkeit ist folglich der Wissenstransfer von unterschiedlichen De- und Montageprozessen, flexiblen Handlungsstrategien und damit verbunden ein effizientes Wissensmanagement erforderlich.

Wenn wir etwas zusammen- oder auseinander bauen, fällt es uns oft schwer, unser Handeln zu verbalisieren, da wir oftmals auf nicht bewusste, implizite Problemlösestrategien zurückgreifen. Gerade, wenn aber auch andere Menschen oder Maschinen unsere Aktionen verstehen und vielleicht sogar selbst erlernen sollen, ist es ganz wesentlich, Expertenwissen zu externalisieren. Diese Wissens Elemente erwerben Menschen oftmals durch die Fähigkeit des Beobachtungs- und Imitationslernens (Bandura & Kober, 1976). Zentral hierbei ist, dass die zu imitierende Handlung nicht gleichzeitig ausgeführt werden muss, sondern der Lernprozess durch die beobachtende Aktion des Experten gesteuert wird. Darüber hinaus wird das Gesehene nicht nur nachgeahmt, sondern eine Strategie entwickelt, um auch neue Tätigkeiten adaptiv auszuführen (Grossman & Salas, 2011).

In der Produktion werden bereits videobasierte Montageanleitungen als ein didaktisches Konzept zum Wissenstransfer eingesetzt, um Handlungs- sowie Problemlösestrategien von Experten darzustellen und Novizen anzulernen. Aber allein über die Beobachtung der Handlung, ist es schwer, die impliziten Strategien und Gedanken des Experten eindeutig zu verstehen. Die Augen- und Blickbewegung, als ein valides Verfahren zur Erfassung kognitiver Prozesse (Duchowski, 2018), wird bereits zur Beschreibung von internalen Prozessen der Informationsverarbeitung (Velichkovsky, 2002), von Problemlösestrategien (Grant & Spivey, 2003) und der selektiven Aufmerksamkeit verwendet. Bisherige Untersuchungen von Problemlösestrategien in unterschiedlichen Domänen konnten Unterschiede in dem Blickverhalten zwischen Experten und Novizen aufzeigen (Bednarik, 2012). Dabei fixierten Experten schneller, länger und häufiger aufgabenrelevante Bereiche sowie spezifische Hinweise zur Problemlösung. In weiteren Studien zeigte sich ein Effekt auf den Lernprozess von Novizen, durch eine zuvor betrachtete visualisierte Blickbewegung von Experten (van Gog et al., 2009). Dieses Vorwissen ermöglicht einen effektiveren Aufbau einer Problemlösestrategie und Interpretation der demonstrierten Handlung. Zusätzlich zum videobasierten Blickverhalten kann ein verbales Protokoll des Experten, den Wissenstransfer unterstützen (Gegenfurtner & Seppänen, 2013). Somit kann die Führung der Blickbewegung das Handeln von Novizen fördern und stellt ein geeignetes Verfahren zum Wissenstransfer dar.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die explorative Analyse der Blickbewegung zur Beschreibung von Handlungswissen in der Demontage unter Feldbedingungen. Dabei wird untersucht, ob einzelne Blickbewegungsparameter als Indikatoren für den Wissenstransfer genutzt werden können und ausreichend eine Demontagestrategie in einem üblichen Arbeitsumfeld beschreiben.

2. Methode

2.1 Stichprobe

Das Experiment wurde mit 8 freiwilligen Probanden durchgeführt. Davon waren 5 männlich und 3 weiblich und der Altersdurchschnitt lag bei $M = 25,1$ Jahre ($SD = 2,7$). Aufgrund einer geringfügigen Datenqualität in der Blickregistrierung konnten nur 6 von 8 Probanden in die Datenanalyse mit einbezogen.

2.2 Untersuchungsdesign und Messinstrumente

Das Experiment wurde sitzend an einem Montagearbeitsplatz durchgeführt und die Aufgabe bestand darin, einen elektrischen Fensterhebermotor eines Autos zu demonstrieren. Der Arbeitsplatz (Abb. 1, Links) umfasste eine gekennzeichnete Arbeitsfläche, sieben Boxen zum Einsortieren von Einzelteilen und zwei Werkzeugboxen mit handelsüblichem Werkzeug (Akkuschrauber, Schraubenzieher, usw.). Während der Demontage wurde die Augen- und Blickbewegung mit einem kopfbasierten System zur binokularen Blickregistrierung (Pupil Core, Pupil Labs GmbH, Deutschland) mit 120 Hz und ein Video aus der Ich-Perspektive mit 30 Hz aufgezeichnet. Zur präzisen Interpretation der Blickbewegung erfolgte mittels der Methode des „Lauten Denkens“ die Verbalisierung der einzelnen Arbeitsschritte und retrospektiv wurde ein Fragebogen mit bauteil- und handlungsbezogenen Fragen beantwortet. Der Elektromotor bestand aus

acht Komponenten und musste abhängig von der Versuchsbedingung sowohl schadensfrei als auch mit einem standardisierten Defekt (verklebtes Zahnrad) demontiert werden.

Zu Beginn des Experiments absolvierten alle Probanden zwei Übungsaufgaben, um das Laute Denken zu trainieren. Danach wurde derselbe, zuerst noch unbekannte, Elektromotor in jeweils fünf Durchgängen ohne Zeitlimit demontiert und alle Probanden wurden instruiert, bis zur eigenen Einschätzung das Bauteil auseinander zu bauen. In den ersten vier Durchgängen erfolgte eine schadensfreie und im letzten Durchgang eine defekte Demontage. Nach dem zweiten Durchgang wurden die Probanden über die vollständige Demontage des Elektromotors aufgeklärt, um nachfolgend die Blickbewegung in jedem Arbeitsschritt erfassen zu können. Während der ersten beiden und dem letzten Durchgang wurden die Probanden angewiesen, die ausgeführten Handlungen zu verbalisieren.

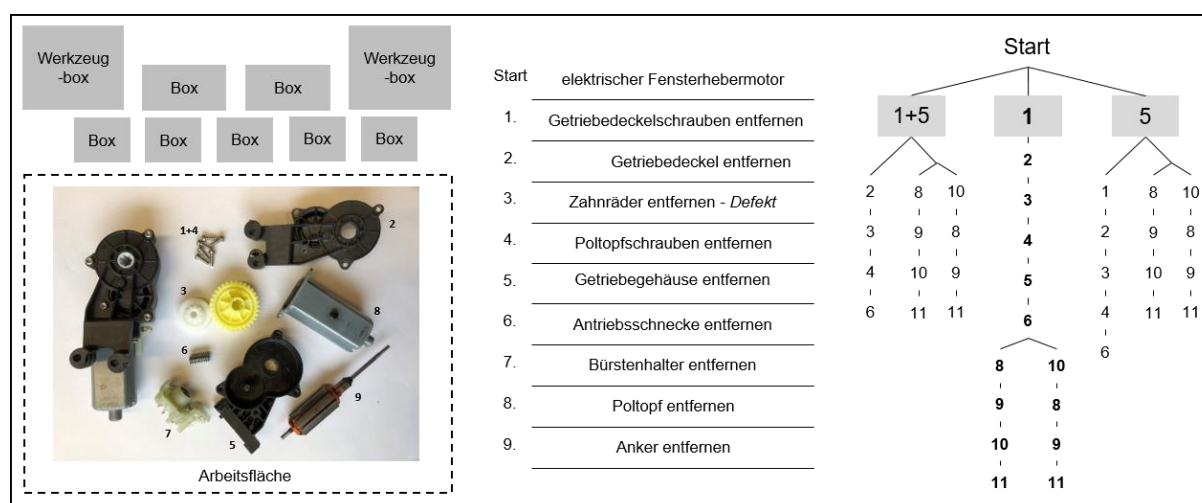


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Untersuchungsaufbaus (Links), gezeigte Demontagestrategie (Mitte), Darstellung der erfassten Demontagestrategien (Rechts)

2.3 Datenanalyse

Zur Auswertung der Blickbewegung wurde der gesamte Demontageprozess in zehn Arbeitsschritte eingeteilt (Abb. 1, Mitte), welche die Demontage einer spezifischen Komponente beschreiben. Durch die Erkenntnis, dass die Blickbewegung der motorischen Handlung vorausgeht (Fooken et al., 2018), konnte diese Aufmerksamkeitsverschiebung zur Einteilung genutzt werden. Der Start der Demontage erfolgte mit der Platzierung des Elektromotors auf der Arbeitsfläche und endete mit der Verschiebung der Blickbewegung auf ein Werkzeug, mit nachfolgendem Einsatz. Somit konnte zuerst die Planungs- und Suchstrategie des ersten Arbeitsschritts vor der auszuführenden Handlung untersucht werden. Die nachfolgenden Schritte grenzten an die vorherigen an und endeten mit der Ablage der jeweils demontierten Komponente in einer Box sowie der gleichzeitigen Verschiebung der Blickbewegung zurück auf das Bauteil. Die eingeteilten Arbeitsschritte bestanden demnach aus der Planung, der Handlung und der Überprüfung des Demontagezustands der einzelnen Komponente. Die gesamte Durchführungszeit umfasst folglich alle durchgeführten Arbeitsschritte. Zur Untersuchung von eingesetzten Problemlösestrategien während der defekten Demontage wurde ein weiterer Arbeitsschritt eingeteilt. Dieser begann mit der Registrierung

des Problems (Zahnrad konnte nicht entfernen werden) und endete mit der Demontage der defektauslösenden Komponente (Zahnrad).

Zur Berechnung der Blickbewegungsparameter (Fixationsdauer und -anzahl pro Komponente) und der verwendeten Blickstrategie (Übergangsmatrix mit Wahrscheinlichkeiten der Wechsel zwischen den Komponenten) wurden die erfassten Fixationen den jeweiligen Komponenten, der Box und Werkzeugbox, dem Akkuschauber und dem sonstigen Werkzeug zugeordnet. Zur Überprüfung, ob spezifische Komponenten während den einzelnen Arbeitsschritten signifikant häufiger und länger fixiert wurden, erfolgte die Berechnung des Kruskal-Wallis-Tests als nichtparametrisches Verfahren.

3. Ergebnisse

In der Auswertung die schadensfreien Demontagedurchgänge (n=24) lassen sich drei hauptsächliche Handlungsstrategien beobachten (Abb. 1, Rechts). Dabei wird die Strategie, mit Beginn bei Arbeitsschritt 1 (79,2%, n=19), im Vergleich zu den beiden anderen Strategien, mit Beginn bei Arbeitsschritt 5 (12,5%, n=3) und Arbeitsschritt 1+5 (8,3%, n=2) stärker bevorzugt. In allen Durchgängen haben die Probanden den Elektromotor vollständig demontiert und es konnten insgesamt nur vier Wechsel zwischen den erfassten Strategien festgestellt werden. In der gemessenen Durchführungszeit zeigt sich eine stetige Abnahme $M= 3,14$ ($SD = 0,77$) zwischen den ersten vier Durchgängen und lässt auf einen raschen Lernfortschritt im Umgang mit einem unbekanntem Bauteil sowie auf eine schnelle Anpassungsfähigkeit schließen. Aufgrund des standardisierten Defekts steigt die Zeit in Durchgang 5 wieder an und den größten Teil nimmt dabei die Lösung des Problems $M= 60,1\%$ ($SD = 10,3$) in Anspruch. Die erfassten Durchführungszeiten der einzelnen Arbeitsschritte zeigen eine vergleichbare Verteilung und unterstützen die Annahme des schnellen Aufbaus von Handlungswissen und somit einer gesteigerten Expertise.

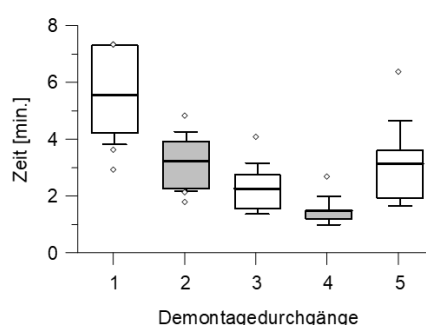


Abbildung 2: Box-Plots mit M und SD für die Durchführungszeit der einzelnen Demontagedurchgänge

Die Auswertung der zugeordneten Fixationsdauer und -anzahl pro einzelne Komponente (Abb. 3) zeigt, dass in Durchgang 1 die meisten Komponenten innerhalb der einzelnen Arbeitsschritte länger fixiert werden als in Durchgang 4. In der Planungsphase von Durchgang 1 kann für die Demontage des noch unbekanntem Bauteils eine deutlich verlängerte Fixationsdauer, aber keine signifikant längere und häufigere Fixation ($p > .05$) auf der aufgabenrelevanten Komponente (Schraube), im Vergleich zu Durchgang 4 ($p < .05$) festgestellt werden. Hierbei zeigt sich bereits die Tendenz, dass

mit dem Lernfortschritt und dem Aufbau von Handlungswissen, aufgabenrelevante Bereiche innerhalb des Arbeitsschrittes vergleichsweise länger und häufiger fixiert werden. Diese Erkenntnis lässt sich ebenfalls in den anderen Arbeitsschritten feststellen. Dabei wird zumeist die relevante Komponente oder eine benachbarte Komponente signifikant länger und häufiger fixiert ($p < .05$). Die Ergebnisse der Übergangsmatrix zur Analyse der Blickstrategie unterstützen die vorherige Annahme und es kann insgesamt eine höhere Wahrscheinlichkeit ($M > 27,1\%$) festgestellt werden, dass sich der Blick zumeist innerhalb der aufgabenrelevanten Komponenten bewegt.

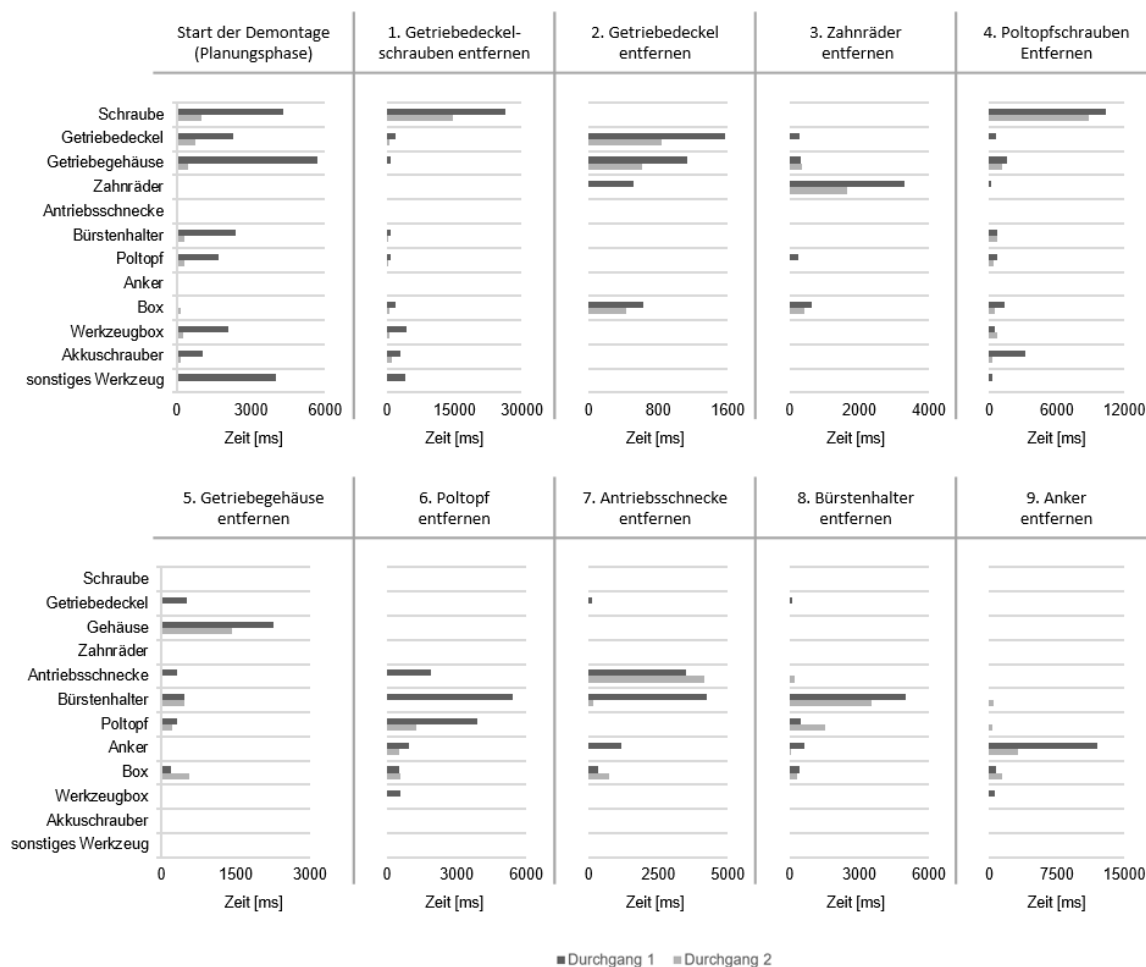


Abbildung 3: Verteilung der mittleren Fixationsdauer pro Komponente von allen Probanden für Durchgang 1 und Durchgang 4

Während der Problemlösung des Defektes in Durchgang 5 kann eine größere Verteilung der Fixationen auf die einzelnen Komponenten festgestellt werden. Dabei erfolgt insgesamt keine signifikant längere und häufigere Fixation auf den aufgabenrelevanten Komponenten ($p = .182$). Dagegen kann in der Übergangsmatrix eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Verschiebung der Blickbewegung innerhalb der relevanten bzw. benachbarten Komponenten (Getriebegehäuse = 20,5%, Zahnrad = 33,3%) im Vergleich zu den anderen Komponenten ($M < 5,3\%$) beobachtet werden. Die Auswertung der eingesetzten Problemlösestrategien zeigte, dass durchgehend der zunächst nicht lösbare Arbeitsschritt übersprungen und die Demontage auf der bekannten Weise fortgeführt wird, bis die defektauslösenden Komponente entfernt ist.

4. Diskussion

Vergleichbar zu den bisherigen Forschungsbefunden zeigt sich auch in den Ergebnissen der vorliegenden Studie, dass während der Durchführung, aufgabenrelevante Bereiche länger und häufiger fixiert werden. Dabei kann eine wahrscheinlichere Bewegung innerhalb der informativen sowie der benachbarten Bereiche beobachtet werden. Somit wird angenommen, dass die Blickbewegung ausreichend die Demontage und das damit verbundene Handlungswissen unter Feldbedingungen beschreiben sowie auf einzelnen Arbeitsschritte hindeuten kann. Des Weiteren verdeutlicht das verbale Protokoll einen Zusammenhang zwischen implizitem Wissen und der erfassten Handlungsstrategien mittels der analysierten Blickbewegungsparametern. Eine nicht eindeutige Beschreibung findet sich in der Analyse der Problemlösestrategien und deutet auf eine Unsicherheit im Blickverhalten bei einer unbekanntem Situation hin.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass die Blickbewegung als Hinweis auf eine auszuführende Handlung genutzt werden kann und impliziert einen praktikablen Einsatz als videobasierten Transfer von Handlungswissen sowie von spezifischen Demontageprozessen in einem üblichen Arbeitsumfeld. Anhand dieser Erkenntnisse können nun weitere Forschungsfragen aufgestellt werden. Zum einen ist zu klären, welche Darstellungsform für die visualisierte Blickbewegung des Experten einen erkennbaren Effekt auf den Wissenstransfer und auf den Lernprozess von spezifischen Handlungsstrategien hat. Zum anderen, ob diese Art der videobasierten Wissensvermittlung auf eine neue Handlung übertragen und somit flexibel auf unbekanntem Situationen reagiert werden kann. Eine weitere interessante Fragestellung besteht darin, ob sich eine Unsicherheit des Menschen in unbekanntem Situationen im Blickverhalten zeigt.

5. Literatur

- Bandura A., Kober H. (1976) Lernen am Modell: Ansätze zu einer sozial-kognitiven Lerntheorie. Stuttgart: Klett
- Bednarik R. (2012) Expertise-dependent visual attention strategies develop over time during debugging with multiple code representations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70, 143-155
- Duchowski A.T. (2018) Gaze-based Interaction: A 30 Year Retrospective. *Computers & Graphics*
- Fooker J., Lalonde K.M., Mann G.K., Spering M. (2018) Eye movement training is most effective when it involves a task-relevant sensorimotor decision. *Journal of Vision*, 18(4):18, 1-18
- Gegenfurtner A., Seppänen M. (2013) Transfer of expertise: An eye tracking and think aloud study using dynamic medical visualizations. *Computer & Education*, 63, 393-403
- Grant E.R., Spivey M.J. (2003) Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science*, 14(5), 462-466
- Grossman R., Salas E. (2011) The transfer of training: what really matters. *International Journal of Training and Development*, 15(2), 103-120
- Priyono, A., Ijomah, W., Bititci, U. (2016) Disassembly for Remanufacturing: A Systematic Literature Review, New Model Development and Future Research Need. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(4): 899-932.
- van Gog T., Jarodzka H., Scheiter K., Gerjets P., Paas F. (2009) Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behaviour*, 25, 785-791
- Velichkovsky B.M. (2002) Hierarchy of cognition: The depths and the highs of a framework for memory research. *Memory*, 10(5-6), 405-419

Danksagung: Diese Arbeit wurde im Rahmen des durch die Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projekts AgiProbot durchgeführt.



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