

Nutzung von Rückfahrmonitoren für sicheres Arbeiten mit Hydraulikbaggern

Markus KOPPENBORG, Peter NICKEL, Michael HUELKE, Andy LUNGFIEL,
Birgit NABER, Michael HAUKE

*Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin*

Kurzfassung: Für das sichere Rückwärtsfahren mit Hydraulikbaggern stehen Maschinenführern unterschiedliche Rückspiegel und auch Kamera-Monitor-Systeme (KMS) für die Überprüfung des rückwärtigen Gefahrenbereichs zur Verfügung. Unklar ist jedoch, wie diese Sichthilfen im Arbeitsalltag genutzt werden. Im Auftrag der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU) wurden daher Blickbewegungen und Arbeitstätigkeiten von Maschinenführern auf Baustellen im regulären Betriebsablauf erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Rückwärtsfahrten insbesondere der Rückfahrmonitor und der linke Spiegel genutzt wurden, und zwar vor der Anfahrt und auch während der Fahrt. Damit scheinen beide Sichthilfen sowohl zur Kollisionsvermeidung, als auch zur Navigation genutzt zu werden. Bei der Formulierung ergonomischer Gestaltungsanforderungen für KMS sollten daher beide Aspekte berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter: Erdbaumaschinen, Sichthilfen, Kamera-Monitor-Systeme (KMS), Eye Tracking, Unfallprävention

1. Hintergrund

Der Einsatz von Hydraulikbaggern auf Baustellen erfordert häufige Fahrbewegungen mit der Maschine und Schwenkbewegungen mit dem Oberwagen. Dabei sind vom Maschinenführer vorab stets die Gefahrenbereiche im Umkreis der Maschine zu prüfen, um Kollisionen mit Personen oder Gegenständen zu vermeiden (DGUV 2008). In einer Arbeitsumgebung, die aufgrund von häufig wechselnden Personen, Arbeitsmitteln und baulichen Strukturen durch ihre Dynamik gekennzeichnet ist, kann die sichere Ausführung von Fahrbewegungen für Maschinenführer eine große Herausforderung darstellen. Unfallstatistiken zeigen, dass ein erheblicher Anteil der Unfälle mit Hydraulikbaggern auf Kollisionen zwischen Personen und (Teilen) der Maschine beim Rückwärtsfahren zurückzuführen ist (DGUV 2015). Da die direkte Sicht auf die Umgebung der Maschine eingeschränkt ist, stehen Maschinenführern zur Prüfung der Gefahrenbereiche Spiegel zur Verfügung, die rechts und links neben der Kabine positioniert sind und die hinteren Seitenbereiche anzeigen. Zusätzlich werden seit einigen Jahren vermehrt Kamera-Monitor-Systeme (KMS) eingesetzt, welche den Bereich direkt hinter der Maschine auf einem Monitor in der Kabine anzeigen. Somit stehen Maschinenführern unterschiedliche und teils redundante Informationsquellen zur Verfügung, die zur Prüfung der Gefahrenbereiche und zum Navigieren beim Rückwärtsfahren genutzt werden können. Unklar ist bisher, ob und wie Kamera-Monitor-Systeme von Maschinenführern während der Arbeit mit Hydraulikbaggern, und insbesondere bei Rückwärtsfahrten, genutzt werden.

Dies sollte vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) im Auftrag der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU) unter Einsatz von Eye-Tracking und Tätigkeitsbeobachtung in einer Feldstudie untersucht werden. Die Ergebnisse sollen der Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Vermeidung von Kollisionsunfällen auf Baustellen dienen.

2. Literatur

2.1 Anforderungen an Hersteller und Betreiber

Anforderungen an die Sicherheit von Hydraulikbaggern werden in DIN EN 474-1 (2009) beschrieben, die in Bezug auf Sichtbedingungen auf ISO 5006 (2006) verweist. Letztere legt die Anzahl und Größe zulässiger Verdeckungen in unterschiedlichen Bereichen um die Maschine herum fest. Wo die hier genannten Anforderungen per Direktsicht nicht erfüllt werden, sollen Spiegel gemäß ISO 14401-2 (2009) oder Kamera-Monitor-Systeme gemäß ISO 16001 (2008) verwendet werden. Anlässlich eines Durchführungsbeschlusses der EU-Kommission (2015) befindet sich ISO 5006 (2006) derzeit in Überarbeitung (KAN 2014). Es ist zu erwarten, dass die überarbeitete Version der Norm die Verwendung von Kamera-Monitor-Systemen zur Anzeige des rückwärtigen Bereichs nahelegen wird (ISO/DIS 5006 2016).

Betreiber von Baggern müssen abhängig von der jeweiligen Gefährdungsbeurteilung alle notwendigen Schutzmaßnahmen umsetzen, die zur Verhütung von Gesundheitsgefahren (z.B. durch Kollisionen) geeignet erscheinen. Dabei sind auch solche Gefährdungen zu berücksichtigen, die aus dem Zusammenwirken von Arbeitsaufgabe, Arbeitsmittel, Umgebung und Organisation entstehen (BetrSichV 2015). Technische, organisatorische und personenbezogene Maßnahmen finden sich u.a. im Regelwerk der Unfallversicherungsträger (z.B. DGUV 1997), sowie den Technischen Regeln zur Betriebssicherheit (z.B. TRBS 1151 2015), wobei technische Schutzmaßnahmen stets vorzuziehen sind. Da diese Maßnahmen dem Stand der Technik entsprechend sicher sein müssen (BekBS 1114 2015), kann die Notwendigkeit entstehen, auch ältere Bagger mit Kamera-Monitor-Systemen nachzurüsten.

2.2 Untersuchungen der visuellen Informationsaufnahme bei mobilen Maschinen

Neben der Analyse von Sichtfeldern und Sichtverdeckungen bei Baumaschinen (Eger et al. 2004; Hoske et al. 2010) haben unterschiedliche Studien die visuelle Informationsaufnahmen von Maschinenführern untersucht. Eger et al. (2010) konnten zeigen, dass sich Blickzuwendungen beim Rückwärtsfahren mit Untertage-Radladern auf einige wenige Bereiche im Umkreis der Maschine konzentrierten, die nicht verdeckt waren, während andere (wichtige) Bereiche vernachlässigt wurden. Ein ähnlicher Befund stammt von Hella et al. (2014), die eine Konzentration von Blickzuwendungen auf das Anbaugerät bei der Arbeit mit Gradern und anderen Baumaschinen nachweisen konnten. Eine ähnliche Konzentration fanden Fukaya et al. (2002) und Nakamura et al. (2012) bei Baggerführern. Diese Autoren berichten außerdem mehr horizontale Blickbewegungen bei Schwenkbewegungen, welche der Informationsaufnahme zur Kollisionsvermeidung dienen könnten. Angaben zur Nutzung von Sichthilfen bei Rückwärtsfahrten werden jedoch nicht gemacht.

Zur weiteren Entwicklung von Sichthilfen sind empirische Befunde zu Blickzuwendungen beim Führen von Hydraulikbaggern hilfreich. Die vorliegende Studie untersuchte daher die Nutzung von Sichthilfen durch erfahrene Baggerführer im regulären Betriebsablauf mit Hilfe von Blickbewegungsmessung und Beobachtung. Ausgewertet wurden Blickzuwendungen auf Sichthilfen bei Rückwärtsfahrten in Bezug auf ihre Häufigkeit, Dauer und den zeitlichen Verlauf.

3. Methode

3.1 Stichprobe

Für die Untersuchung wurden Messungen auf neun unterschiedlichen Baustellen im regulären Betriebsablauf durchgeführt, jeweils mit einem anderen Maschinenführer und Hydraulikbagger. Nach Abzug von Pausen und Unterbrechungen dauerte eine Messung zwischen 3 und 5,5 Stunden ($M = 4,2$, $SD = 0,8$). Bei den Baggern handelte es sich um Mobil- oder Kettenbagger mit einem Gesamtgewicht zwischen 17 und 32 t, die mit linken und rechten Seitenspiegeln, sowie mit einem Rückfahr-KMS ausgestattet waren, dessen Videobild auf einem Monitor in der Kabine angezeigt wurde. Vier Bagger verfügten zusätzlich über eine Seitenkamera zur Darstellung des rechten Seitenbereichs der Maschine auf dem Monitor (per „Split Screen“). Die Baggerarbeiten wurden mit Tieflöffeln, Grabenräumschaufeln oder Greifern durchgeführt. Hinsichtlich der Umgebungsbedingungen (Anzahl von Maschinen, Personen oder Passanten) gab es teilweise Unterschiede zwischen den untersuchten Baustellen. Die teilnehmenden Maschinenführer (mittleres Alter 41,5 Jahre, $SD = 13,1$) verfügten über langjährige Berufserfahrung mit Baggern und mindestens ein Jahr Arbeitserfahrung mit der jeweiligen Maschine und den angebrachten Sichthilfen.

3.2 Instrumente

Zur Messung der Blickbewegungen wurde ein mobiler, kopfgetragener Eye-Tracker (Dikablis, Ergoneers GmbH, Manching) eingesetzt, der Bewegungen des Kopfes und Oberkörpers nicht einschränkte. Parallel zur Blickbewegungsmessung wurden Baggertätigkeiten beobachtet und mit einem Tablet-PC anhand vorab definierter Kategorien kodiert (Koppenborg et al. 2015). Zusätzlich wurden die Baggertätigkeiten auf Video aufgezeichnet, um Beobachtungsdaten nachträglich korrigieren zu können. Angaben zur Baustelle, Maschine und demographische Daten wurden in leitfadengestützten Interviews mit den Maschinenführern erhoben.

3.3 Vorgehen

Jede Baustelle wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen besucht. Eine Probemessung am ersten Tag sollte Maschinenführern ermöglichen, sich an das Messgerät zu gewöhnen. Das genaue Untersuchungsziel wurde nicht erklärt, um Verhaltensanpassungen zu minimieren. Die Datenerfassung begann am Morgen des zweiten Tags und dauerte bis zum frühen Nachmittag oder bis zum Schichtende. Akkuwechsel und Kalibrierungen wurden so durchgeführt, dass der Arbeitsablauf nicht unterbrochen werden musste. Nach der Messung wurden Interviewdaten mit Maschinenführern erhoben. Als Dank für die Teilnahme erhielten alle Beteiligten ein Geschenk.

3.4 Datenverarbeitung

Die Korrektur der Beobachtungsdaten erfolgte mit Hilfe der Videoaufnahmen und der Software Noldus Observer® XT 12 (Wageningen, Niederlande). Da der Oberwagen eines Baggers um 360° rotieren kann, sind Rückwärtsfahrten nicht immer eindeutig feststellbar. Von allen beobachteten Fahrbewegungen wurden daher solche als Rückwärtsfahrt ausgewählt, bei denen die Fahrtrichtung entgegen der Richtung der Kabine ausfiel, wobei eine Abweichung von $\pm 45^\circ$ zugelassen wurde. Für die Auswertung der Blickbewegungen wurden Rückfahrintervalle definiert, welche aus je einer Rückwärtsfahrt und einer Zeitspanne von 4 Sekunden vor der Anfahrt bestanden.

Blickdaten wurden mit D-Lab 3 (Ergoneers GmbH, Manching) vorverarbeitet. Inkorrekt identifizierte Pupillenpositionen innerhalb der Rückfahrintervalle wurden manuell korrigiert. Die Identifizierung von Blickzuwendungen auf vier Areas Of Interest (AOI) erfolgte manuell per Kodierung und orientierte sich an ISO 15007-1 (2002). Bei den untersuchten AOI handelte es sich um die verwendeten Sichthilfen, also um den Monitor, der den rückwärtigen (und seitlichen) Bereich darstellte, den linken Seitenspiegel, die rechten Seitenspiegel, sowie zusätzlich den hinteren Seitenbereich, der durch eine Kopfdrehung („Schulterblick“) direkt einsehbar war.

Um die Nutzung der Sichthilfen einzuschätzen, wurde der Anteil der Rückfahrintervalle berechnet, bei dem die jeweilige Sichthilfe genutzt wurde. Zusätzlich wurden die Dauer und der zeitliche Verlauf der Blickzuwendungen ausgewertet.

4. Ergebnisse

Insgesamt wurden 415 Rückwärtsfahrten erfasst ($M = 46,1$ pro Messung, $SD = 24,5$) mit einer mittleren Dauer von 5,4 s ($SD = 6,2$). Die Gesamtdauer aller Rückwärtsfahrten betrug somit rund 37 min. Während dieser Zeit wurden insgesamt 1006 Blickzuwendungen auf AOI registriert.

4.1 Häufigkeit und Dauer der Nutzung

Für jedes Rückfahrintervall wurden Blickzuwendungen auf die vier AOI ausgewertet. Bei 57 % aller Rückfahrintervalle wurde der Rückfahrmonitor mindestens einmal genutzt. Bei 64 % wurde der linke Spiegel genutzt, während der Anteil der Rückfahrintervalle, bei denen die rechten Spiegel genutzt wurden bei rund 7 % lag. Bei 19 % aller Rückfahrintervalle wurde per „Schulterblick“ auf die Seitenbereiche hinter der Kabine geschaut. Die mittlere Dauer einer Blickzuwendung auf den Monitor betrug 1,01 s ($SD = 0,77$), auf den linken Spiegel 0,92 s ($SD = 0,86$), auf die rechten Spiegel 0,64 s ($SD = 0,49$) und auf die hinteren Seitenbereiche („Schulterblick“) 0,9 s ($SD = 0,77$).

4.2 Verlauf der Nutzung

Schließlich wurden Blickzuwendungen auf AOI getrennt für die Zeitspanne vor der Anfahrt und jene während der Fahrt ausgewertet. Abbildung 1 zeigt, dass von allen Blicken auf den Monitor rund 39 % auf die Zeit vor der Anfahrt entfallen und 61 % auf die Zeit während der Fahrt. Ähnlich fanden rund 41 % der Blicke auf den linken Spiegel vor der Anfahrt statt und 59 % während der Fahrt. Der Unterschied zwischen bei-

den Zeiträumen ist geringer bei den rechten Spiegeln mit 47 % vor der Anfahrt und 53 % während der Fahrt. Blicke nach hinten („Schulterblicke“) fanden zu 55 % vor der Anfahrt statt und zu 45 % während der Fahrt.

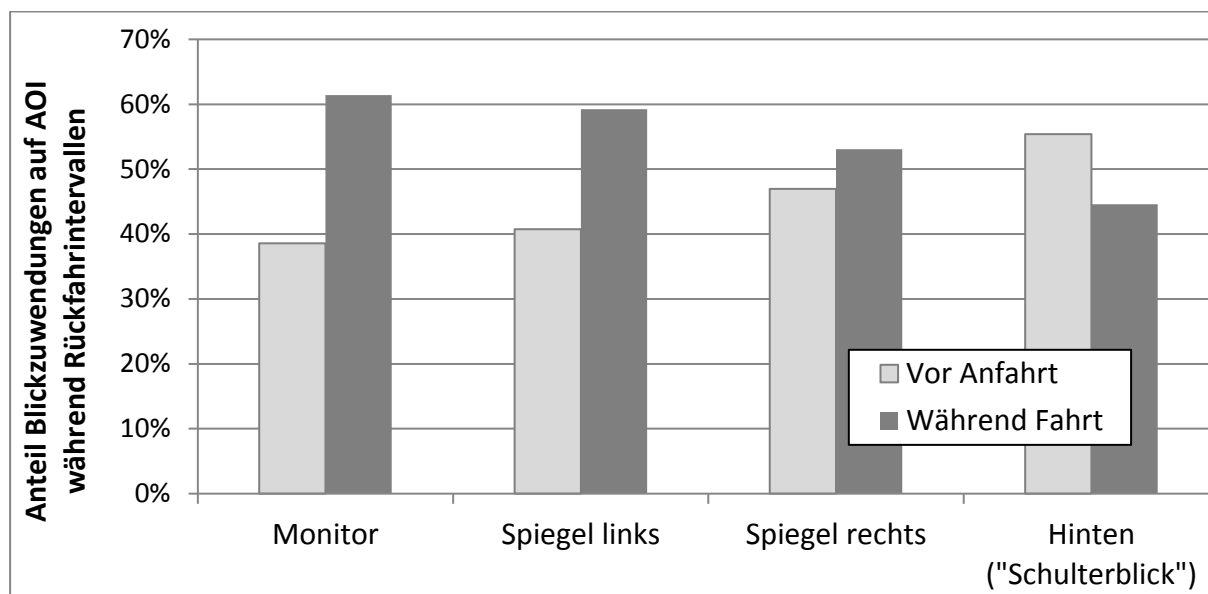


Abbildung 1: Prozentualer Anteil der Blickzuwendungen auf AOI während Rückfahrintervallen für die Zeiträume vor der Anfahrt und während der Fahrt.

5. Diskussion

Zur Prüfung der Gefahrenbereiche beim Rückwärtsfahren stehen Maschinenführern unterschiedliche und teils redundante Informationsquellen zur Verfügung. Unklar ist bisher, ob und wie Kamera-Monitor-Systeme von Maschinenführern während der Arbeit mit Hydraulikbaggern, insbesondere bei Rückwärtsfahrten, genutzt werden. Die Ergebnisse von Blickbewegungsmessungen und Tätigkeitsbeobachtungen mit Maschinenführern im regulären Betriebsablauf auf Baustellen zeigen, dass bei Rückwärtsfahrten vorwiegend der linke Spiegel und der Monitor genutzt werden. Die mittlere Blickdauer auf alle Sichthilfen lag zwischen 0,64 und 1,01 s. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Monitor und der linke Spiegel für Maschinenführer eine hilfreiche Unterstützung für sicheres Rückwärtsfahren sind. Zu begrüßen sind daher die Bestrebungen von Herstellern, Baumaschinen vermehrt mit Kamera-Monitor-Systemen auszustatten und diese Systeme weiterzuentwickeln. Dabei ist die ergonomische Gestaltung der Systeme ein wesentlicher Aspekt zur Vermeidung von Kollisionsunfällen. Wenngleich erste Gestaltungsanforderungen für KMS an Baumaschinen bereits formuliert wurden (ISO 16001 2008) steht eine umfassende Liste von Anforderungen noch aus.

Die vorliegende Studie konnte weiterhin zeigen, dass der Monitor und der linke Spiegel kurz vor der Rückwärtsfahrt, und besonders auch während der Fahrt genutzt wurden. Dieser Befund weist möglicherweise auf zwei unterschiedliche Zwecke der Nutzung dieser Sichthilfen hin, nämlich einerseits Kollisionsvermeidung und andererseits Navigieren, bzw. Spurhalten mit der Maschine. Bei der Formulierung von Gestaltungsanforderungen für KMS sollten daher beide Aspekte berücksichtigt werden. Die Erfüllung der Anforderungen soll bewirken, dass dem Maschinenführer die benötigten Informationen wahrnehmbar und verständlich angezeigt werden, womit Kollisi-

onsvermeidung und effizientes Navigieren unterstützt werden. Langfristig soll damit eine Verringerung von Kollisionsunfällen mit Baumaschinen erreicht werden.

6. Literatur

- BekBS 1114, Bekanntmachung zur Betriebssicherheit (2015) Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. GMBI, Nr. 17/18: 331.
- BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung (2015) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. BGBl. I: 49.
- DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (1997) Vorschrift 38: Bauarbeiten. DGUV: Berlin.
- DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2008) DGUV Regel 100-500, Betreiben von Arbeitsmitteln. Sankt Augustin: DGUV.
- DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2015) Unfallstatistik mit Hydraulikbaggern in den Jahren 2013 und 2014 (unveröffentlichte Daten).
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2006) Erdbaumaschinen – Sicherheit – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. EN 474-1. Berlin: Beuth.
- Eger TR, Godwin AG, Henry DJ, Grenier SG, Callaghan J, Demerchant A (2010) Why vehicle design matters: exploring the link between line-of-sight, driving posture and risk factors for injury. *Work* 35(1): 27-37.
- Eger TR, Salmoni A, Whissell R. (2004) Factors influencing load-haul-dump operator line of sight in underground mining. *Applied Ergonomics* 35: 93-103.
- EU-Kommission (2015) Durchführungsbeschluss 2015/27 „Erdbaumaschinen“. Official Journal of the EU L, 4/24.
- Fukaya K, Nakamura T, Umezaki S, Lu J, Egawa Y (2002) Development of excavator simulator and characteristics of operator. In: IEEE (Hrsg) Proceedings of 41st Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference, Vol. 5. New York: IEEE Press, 2815-2819.
- Hella F, Zoré F, Payet R: Les Bonnes Pratiques pour Prévenir les Collisions Engins-Piétons. Ce Que Révèlent les Observations de Terrain. *Hygiène et Sécurité du Travail* 236: 26-28. [Bewährte Verfahren zur Kollisionsvermeidung zwischen Maschinen und Fußgängern. Erkenntnisse aus Feldbeobachtungen]
- Hoske P, Gubsch I, Kunze G, Bürkle K, Kamusella C, Schmauder M (2010) Prognose und Bewertung der Sicht für mobile Arbeitsmaschinen. Teil 4: Konzepte zur Visualisierung und Bewertung virtueller Sichtprozesse. Wissensportal baumaschine.de 2: 1-5.
- ISO, International Organization for Standardization (2002) Road Vehicles – Measurement of Driver Visual Behavior with Respect to Transport Information and Control Systems – Part 1: Definitions and Parameters. ISO 15007.
- ISO, International Organization for Standardization (2006) Erdbaumaschinen – Sichtfeld – Testverfahren und Anforderungskriterien. ISO 5006.
- ISO, International Organization for Standardization (2016) Norm-Entwurf Erdbaumaschinen – Sichtfeld – Testverfahren und Anforderungskriterien. ISO/DIS 5006.
- ISO, International Organization for Standardization (2008) Erdbaumaschinen – Gefahrenerkennungssysteme und Sichthilfen – Anforderungen und Prüfungen. ISO 16001.
- ISO, International Organization for Standardization (2009) Erdbaumaschinen – Sichtfeld zur Überwachung und Rückspiegel – Teil 2: Kriterien. ISO 14401-2.
- KAN, Kommission Arbeitsschutz und Normung (2014) Erdbaumaschinen: Bessere Sicht in Sicht. KAN-Brief 4: 3.
- Koppenborg M, Lungfiel A, Naber B, Nickel P, Huelke M (2015) Ein flexibles Gerät zur Tätigkeitskodierung per Beobachtung – Anforderungen und Ergebnisse einer Erprobung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft, Dortmund: GfA-Press, B.1.12.
- Nakamura T, Fukaya K, Mannen S (2012) Eye movement and useful field of view in the operations of an excavator. In: Gale AG (Hrsg) Vision in Vehicles, Vol. 10. Leicestershire, UK: Loughborough University, 159-167
- TRBS 1151, Technische Regeln zur Betriebssicherheit (2015) Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch - Arbeitsmittel – Ergonomische und menschliche Faktoren, Arbeitssystem –. GMBI 2015, 17/18: 340.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de