

Intuitive Interaktionsmuster zur Konfliktlösung zwischen Mensch und Automation am Beispiel der kooperativen Fahrzeugführung

Julia SPIES¹, Marcel USAI¹, Ralph BAIER¹, Constanze SCHRECK¹,
Ronald MEYER¹, Frank FLEMISCH^{1,2}

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

² *FKIE Fraunhofer Institut für Kommunikation
Informationsverarbeitung und Ergonomie
Fraunhoferstr. 20, 53343 Wachtberg*

Kurzfassung: In der kooperativen Automation können Aufgaben zwischen Mensch und Automation in unterschiedlichen Automationsgraden verteilt werden. Dadurch können Konflikte über die aktuelle Kontrollverteilung und Handlungsmöglichkeiten entstehen, die in kurzer Zeit gelöst werden müssen. Dies kann durch eine strukturierte, multimodale Verhandlung zwischen Mensch und Automation auf den verschiedenen Ebenen der Führung erfolgen (Arbitrierung). Um die Arbitrierung zwischen dem Menschen und der Automation am Beispiel der Fahrzeugführung näher zu untersuchen, wurden in einer Vorstudie zunächst mögliche multimodale Interaktionsmuster zur Konfliktlösung im Fahrsimulator explorativ entwickelt. In einer zweiten Phase wurden bereits entwickelte Interaktionsmuster auf ihr Konfliktlösungspotential getestet und bewertet.

Schlüsselwörter: Arbitrierung, Simulator-Studie, Konfliktlösung, kooperative Automatisierung, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Kontrollverteilung

1. Einleitung

In allen Domänen sind seit Anfang des 21. Jahrhunderts Automatisierung und sogenannte autonome Systeme auf dem Vormarsch. Beispiele dafür sind hochautomatisierte Flugzeuge, automatisierte Fertigungsstraßen, sowie Assistenz- und Automationssysteme in Kraftfahrzeugen. Die Frage der richtigen Balance zwischen Mensch und Maschine wird dabei stark diskutiert (z.B. Billings 1996), wobei es einerseits Bestrebungen zur weitestgehenden Herausnahme des Menschen aus dem Führungskreis gibt (z.B. Thrun et al. 2006). Andererseits wird eine kooperative Einbindung der autonomen Fähigkeiten beider Partner und der dynamischen Balance zwischen Mensch und Maschine gefordert (z.B. Hoc 2000, Flemisch et al. 2003, Pacaux & Flemisch 2018, Stiller et al. 2018).

Da ein gleichzeitiges Handeln von Mensch und Automation zu Konfliktsituationen führen kann, werden Konzepte zur Entscheidungsverhandlung und Lösung von Konfliktsituationen benötigt. Als Sonderform der Mensch-Maschine-Verhandlung werden zeitkritische, strukturierte Verhandlungen zur optimalen gemeinsamen Willensbildung auch als Arbitrierung bezeichnet (z.B. Kelsch et al. 2006). Diese können als Mensch-

Maschine-Mediation multimodal (z.B. haptisch, akustisch, visuell) kommuniziert werden (z.B. Baltzer & Flemisch 2018).

Um intuitive Verhandlungsmuster in der Konfliktlösung der Mensch-Mensch-Interaktion zu bestimmen, wurden in einer Feldstudie von Wessel et al. (2018) Paare untersucht, die sich in Fußgängerzonen an den Händen halten. Die Konfliktlösungsstrategien und Interaktionsmuster, die als naturalistische Arbitrierung verstanden werden können, wurden beobachtet und auf die Mensch-Maschine-Interaktion übertragen. Eine Auswertung der beobachteten Arbitrierungssituationen zeigte, dass diese zumeist mit einer Kombination verschiedener Interaktionsressourcen gelöst wurden und longitudinale und laterale Konflikte einander beeinflussen. Die daraus resultierenden Gebrauchsfälle (Use Cases) und Arbitrierungsmuster wurden anschließend auf die kooperative Fahrzeugführung übertragen und im Simulator untersucht.

Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse einer Vorstudie vorgestellt, die die Übertragbarkeit dieser naturalistisch inspirierten Arbitrierungsmuster auf die kooperative Fahrzeugführung untersucht.

2. Konfliktlösung zwischen Mensch und Automation in der kooperativen Fahrzeugführung

In der kooperativen Fahrzeugführung kann die Fahraufgabe zwischen Mensch und Automation dynamisch verteilt werden (z. B. Löper et al. 2008, Flemisch et al. 2014). Seit einigen Jahren werden dazu Konzepte der hochautomatisierten Fahrzeugführung, wie z.B. der H-Mode, entwickelt und erprobt (z.B. Flemisch et al. 2006, Flemisch et al. 2014, Altendorf et al. 2015). Im Wesentlichen basiert der H-Mode auf einer Metapher der Kooperation zwischen Mensch und Pferd (H-(orse) Metapher, Flemisch et al. 2003), die zum Beispiel die fluide Verteilung der Autorität und Kontrolle zwischen Fahrer und Automation in verschiedenen Automationsgraden veranschaulichen kann (Altendorf et al. 2015, Flemisch et al. 2015). Aufbauend auf dieser Metapher werden im H-Mode die drei Automations-Modi „Tight-Rein“ („straffe Zügel“, vergleichbar zu SAE 1), „Loose Rein“ („lockere Zügel“, SAE 2 teilautomatisiert) und Secured Rein (hochautomatisiert, SAE 4) verwendet. Im Folgenden wird ausschließlich der Ausgangszustand Loose Rein mit kurzzeitigen Transitionen nach Tight Rein untersucht.

Um eine effektive und kompatible Interaktion zwischen Mensch und Automation zu gewährleisten, ist im H-Mode ein auf die Interaktion spezialisiertes Software Modul (Interaktionsmediator) entwickelt worden. Ein zentraler Bestandteil der Interaktionsmediation stellt die Arbitrierung von Verhandlungskonflikten zwischen Fahrer und Automation dar (Flemisch et al. 2015). So können während des Fahrvorganges beim Menschen sowie bei der Automation unterschiedliche Handlungsintentionen entstehen, was ebenso zu Konfliktsituationen wie auch zur Unklarheit darüber führen kann, wie Autorität, Kontrolle und Verantwortung zwischen Mensch und System verteilt werden sollen (z.B. Flemisch et al. 2016).

Das Ziel der Arbitrierung ist es, eine gemeinsame, eindeutige Handlungsentscheidung innerhalb eines begrenzten Zeitraums zu fällen. Dabei verlaufen die Verhandlungen der verschiedenen Handlungsintentionen von Mensch und Automation haptisch-multimodal. Der Mensch und die Automation sind dabei durchgehend miteinander gekoppelt. In klar definierten Ausnahmefällen muss jedoch die Möglichkeit einer Entkopplung als Rückfallebene bestehen bleiben. So kann die Automation den Menschen beispielsweise im Falle einer mit hoher Sicherheit erkannten Kollisionsgefahr

aus dem System auskoppeln. Umgekehrt besteht diese Möglichkeit ebenso für den Menschen, wenn dieser ein Fehlverhalten der Automation klar erkennt (Flemisch et al. 2015).

3. Experimentaldesign und Methodik

Um Arbitrierungsmuster näher zu untersuchen, wurde in dem statischen Fahr- simulator im Exploroscope des Instituts für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen eine Studie konzipiert und im Dezember 2018 in einer kleinen Studie mit 4 Partizipantinnen und Partizipanten durchgeführt. Die Altersspanne reicht von 23 bis 28, mit einem mittleren Alter von 24,75 (SD = 2,22) vollendeten Lebensjahren. Sämtliche Partizipanten verfügen über eine in Deutschland gültige Fahrerlaubnis (Führerschein- Klasse B oder gleichwertig). Vor dem Versuch wurden alle Partizipanten über eventuelle Risiken und die Möglichkeit, die freiwillige Teilnahme jederzeit abbrechen zu können, aufgeklärt. Die Gesamtdauer des Versuches liegt bei ca. 180 Minuten.

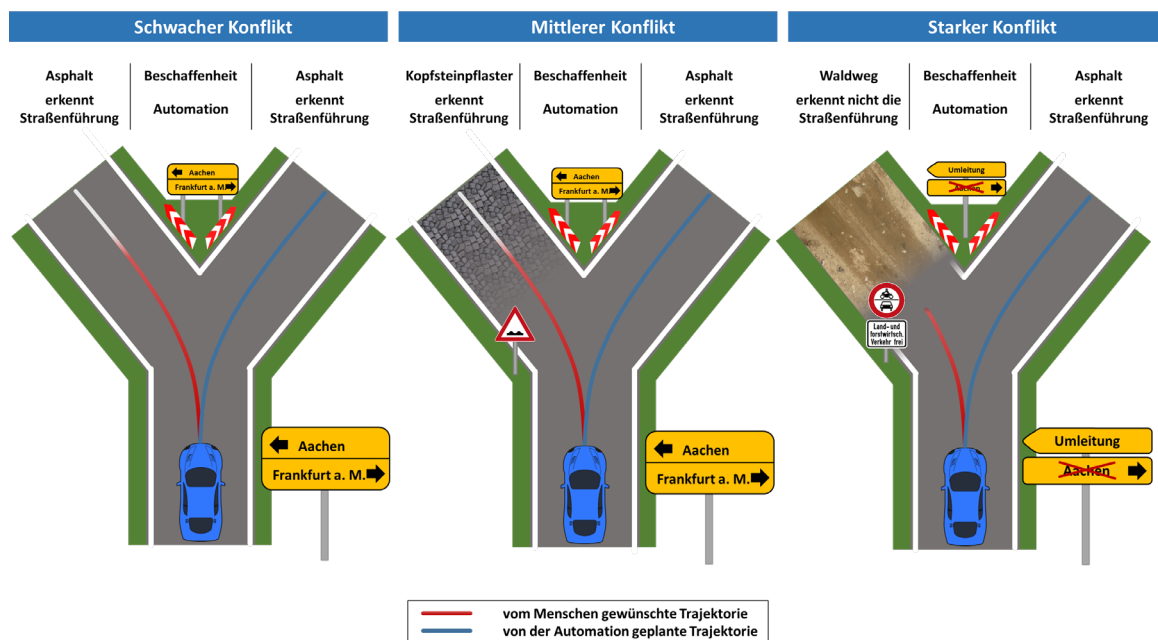


Abbildung 1: Versuchsszenarien „Wegegabelung / Fork“ mit drei Konflikttypen.

Der Versuch besteht aus zwei Fahrblöcken. In der explorativen Phase steht die partizipatorische Entwicklung möglicher, multimodaler Interaktionsmuster zur Konfliktlösung im Fokus. Diese Phase der Studie wird mithilfe zweier, miteinander gekoppelter Sidesticks im Theatersystem durchgeführt. Dabei ist die Theatermethode eine Weiterentwicklung der Wizard of Oz-Technik (WOZ Technik), die mit „offenem Vorhang“ arbeitet (Schieben et al. 2009, Flemisch et al. 2013). Auch bei dieser Gestaltungsmethode wird die Rolle des technischen Systems in der kooperativen Fahrzeugführung durch ein Mitglied des Entwicklungsteams („Confederate“) übernommen. Die Kopplung erlaubt es hierbei, den Sidestick des Partizipanten in der Art zu beeinflussen, wie es dem Szenario oder der entwickelten Interaktion entspricht. Jedoch wird der Partizipant, im Gegensatz zur WOZ Technik, darüber unterrichtet und es findet eine direkte Kommunikation zwischen diesem und dem Confederate statt (Flemisch et al. 2013).

In dieser Phase werden die in der *Abbildung 1* dargestellten Szenarien durchfahren. Mensch und Automation verfolgen dabei unterschiedliche Fahrziele. Aufgabe des Menschen ist es, an einer Kreuzung Richtung Aachen zu fahren; Fahrziel der Automation ist Frankfurt am Main. Dabei sind die Erwartungen des Partizipanten hinsichtlich der gemeinsamen Kooperation zwischen Mensch und Automation in den verschiedenen Konfliktsituationen Gegenstand der Untersuchung. Diese Explorationsphase wird mithilfe von Ton- und Filmaufnahmen sowie eines Explorationsprotokolls festgehalten.

In der zweiten Phase wird die Evaluierung der vorher im Design-Team erarbeiteten Arbitrierungsmuster vorgenommen. Die Fahrzeugsteuerung wird durch Lenkrad und Pedalerie realisiert. Diese Phase ist in einem 3x3-in-subject-Design umgesetzt und besteht aus den drei Bedingungen „Lenken“ (haptisches Interaktionsmuster), „Lenken und Blinken“ (gestisch-haptisches Interaktionsmuster) sowie einer Baseline (kein Interaktionsmuster). Weiterhin werden drei Konfliktstufen (schwacher, mittlerer und starker Konflikt) untersucht. Die Bedingungen und Konfliktstufen sind als unabhängige Variablen definiert. Die einzelnen Fahrblöcke werden mithilfe eines validierten Fragebogens evaluiert, der auf einschlägiger Literatur basiert (Altendorf et al. 2017). Für die Auswertung wurde die Dimension „Utility“ (13 Items) betrachtet und mittels deskriptiver Statistik verglichen.

4. Ergebnisse

Die Auswertung des Protokolls sowie der Ton- und Filmaufnahmen der explorativen Phase ergab, dass Partizipanten teilweise unterschiedliche, aber auch ähnliche Erwartungen an die Kommunikation zwischen Mensch und Automation haben.

Beispielsweise wurde der Wunsch geäußert, dass die Automation über Sprachausgabe mit dem Menschen kommuniziert. Andere Äußerungen dagegen ergaben, dass keine Sprachausgabe gewünscht war oder sogar als störend (Zitat: „Das ist nervig“) empfunden wurde. Weiterhin wurde der Wunsch geäußert, dass die Automation per Knopfdruck einen Richtungswechsel vornimmt. Das Head-Up-Display solle die Fahrroute und Alternativrouten anzeigen, die beispielsweise als Pfeile dargestellt werden können.

Hinsichtlich der Analyse der einzelnen Versuchsszenarien konnte festgestellt werden, dass die Partizipanten beim „schwachen“ sowie beim „mittleren Konflikt“ sehr ähnliche Erwartungen haben. So wurde beispielsweise der Wunsch geäußert, dass der Automation sowohl in beiden Kreuzungsszenarien per Touch am Head-Up-Display mitgeteilt wird, dass ein Richtungswechsel vorgenommen werden soll. Im „mittleren Konflikt“ wurde weiterhin gewünscht, dass die Automation die Straßenverhältnisse erkennt und das Fahrzeug abbremst. Im „starken Konflikt“ wurde von allen Partizipanten der Wunsch geäußert, die volle Kontrolle über die Steuerung des Fahrzeugs zu haben. Dies solle beispielsweise mithilfe eines Knopfdrucks am Sidestick umgesetzt werden. Weiterhin wurde explizit betont, dass die Kontrolle erst wieder abgegeben werden solle, wenn dies vom Menschen nochmal mit einem Knopfdruck bestätigt wird.

Eine erste statistische Auswertung der Dimension „Utility“ in *Abbildung 2* dargestellt. Die Dimension weist eine hohe Reliabilität auf (Cronbachs Alpha im Durchschnitt der drei Treatments $\alpha = .820$) (z.B. Bortz 2006).

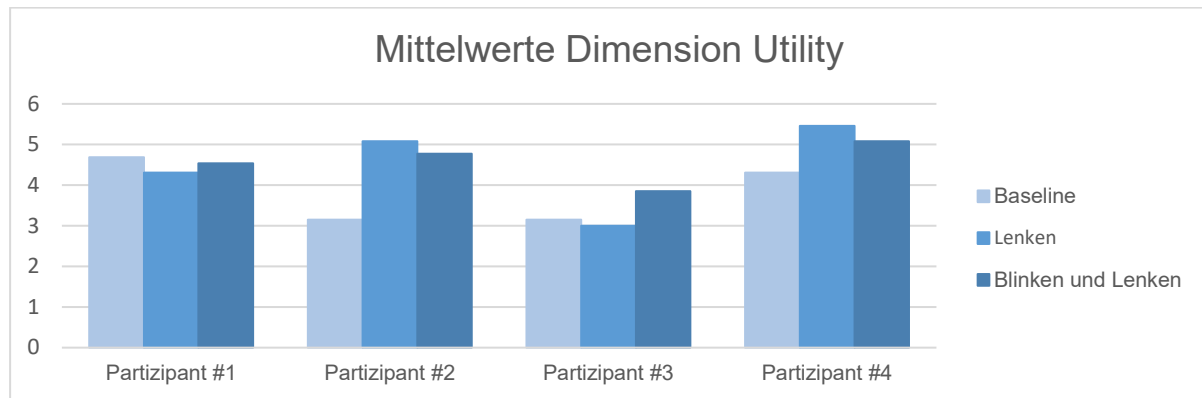


Abbildung 2: Mittelwerte der Dimension „Utility“. Auf der x-Achse werden die vier Partizipanten als Kategorien aufgeführt, auf der y-Achse werden die einzelnen Werte der Bewertungsskalen aufgezeigt.

Die Werte sind nach den drei verschiedenen Treatments (Baseline, Blinken und Lenken) gruppiert. Der Mittelwert der Baseline liegt bei 3,83 (SD=0,79), des Treatments „Lenken“ bei 4,46 (SD=1,09) und des Treatments „Blinken und Lenken“ bei 4,56 (SD=0,53). Die Ergebnisse zeigen, dass zwei Teilnehmer (#2 und #4) die „Baseline“ (kein Interaktionsmuster) jeweils am schlechtesten hinsichtlich der Dimension Utility bewertet haben, und „Lenken“ (haptisches Interaktionsmuster) am besten bewertet haben.

5. Diskussion und Ausblick

Durch die geringe Fallzahl der Vorstudie (n=4) können noch keine Aussagen über die statistischen Verteilungen der Bewertungen der Interaktionsmuster und der Arbitrierungssituationen getroffen werden. Die Ergebnisse der explorativen Phase zeigen, dass Partizipanten abhängig vom Interaktionskanal unterschiedliche, aber auch ähnliche Erwartungen an die Kommunikation zwischen Mensch und Automation haben. Weiterhin differieren die Erwartungen von Partizipanten hinsichtlich einzelner Szenarien. In der Hauptstudie werden die Erwartungen der Partizipanten näher untersucht. Erste Ergebnisse wurden in der Dimension „Utility“ exemplarisch ausgewertet. Die bisher vorliegenden Ergebnisse sind lediglich als eine Tendenz zu betrachten und dienen zur Validierung des Experimentaldesigns. Die Ergebnisse sind somit als Vorstudienresultate zu bewerten. Die Studie wird mit einer größeren Stichprobe als Hauptstudie fortgeführt.

6. Literatur

- Altendorf, E., Baltzer, M., Kienle, M., Meier, S., Weißgerber, T., Heesen, M., & Flemisch, F. (2015). H-Mode 2D. In Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S.1123-1138). Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Altendorf, E., Schreck, C., & Flemisch, F. (2017). A new method and results for analyzing decision-making processes in automated driving on highways. In Advances in Human Aspects of Transportation (S. 571-583) Springer, Cham.
- Baltzer, M., Flemisch, F. (2018): Arbitration: When Time for Interaction Mediation in a Human Machine System is running out. Ed. Flemisch, F.; Abbink, D. Cognition, Technology & Work, Special Issue "Shared and cooperative control of safety critical systems", in Vorbereitung.

- Billings C. (1996): Human-Centered Aviation Automation: Principles and Guidelines, NASA Technical Memorandum 110381.
- Bortz, J. (2006). Statistik: Für Human-und Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag.
- Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T., & Schutte, P. C. (2003). The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction.
- Flemisch, F., Kelsch, J., Schieben, A., & Schindler, J. (2006). Stücke des Puzzles hochautomatisiertes Fahren: H-Metapher und H-Mode Zwischenbericht 2006. In Workshop Fahrerassistenz.
- Flemisch, F., Semling, C., Heesen, M., Meier, S., Baltzer, M., Krasni, A., & Schieben, A. (2013). Towards a balanced human systems integration beyond time and space: exploroscopes for a structured exploration of human-machine design spaces. In NATO STO meetings proceedings of the STO human factors and medicine panel symposium: beyond time and space. NATO STO, Orlando.
- Flemisch, F. O., Bengler, K., Bubb, H., Winner, H., & Bruder, R. (2014). Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. *Ergonomics*, 57(3), 343-360.
- Flemisch, F., Winner, H., Bruder, R., & Bengler, K. (2015). Kooperative Fahrzeugführung. In Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S. 1103-1110). Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Flemisch, F., Baltzer, M., Altendorf, E., López, D., & Rudolph, C. (2016). Kooperativität und Arbitrierung versus Autonomie: Grundsätzliche Überlegungen zur kooperativen Automation mit anschaulichen Beispielen. 57. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der DGLR: Kooperation und kooperative Systeme in der Fahrzeug- und Prozessführung.
- Hoc, J. M. (2000). From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics*, 43(7), 833-843.
- Hoeger, R., Amditis, A., Kunert, M., Hoess, A., Flemisch, F., Krueger, H. P., & Pagle, K. (2008, Oktober). Highly automated vehicles for intelligent transport: HAVEit approach. In ITS World Congress, NY, USA.
- Kelsch, J., Flemisch, F. O., Löper, C., Schieben, A., & Schindler, J. (2006). Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung. *DGLR BERICHT*, 2, 227.
- Löper, C., Kelsch, J., & Flemisch, F. O. (2008). Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren. *Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*, 215-237.
- Pacaux-Lemoine, M.; Flemisch, F. (2018). Layers of Shared and Cooperative Control, Assistance and Automation. *Cognition, Technology & Work*, in Vorbereitung.
- Schieben, A., Heesen, M., Schindler, J., Kelsch, J., & Flemisch, F. (2009, September). The theater-system technique: Agile designing and testing of system behavior and interaction, applied to highly automated vehicles. In Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (S. 43-46). ACM.
- Stiller, C., Burgard, W., Deml, B., Eckstein, L., & Flemisch, F. (2018). Kooperativ interagierende Automobile. *at-Automatisierungstechnik*, 66(2), 81-99.
- Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, Fong, P., Gale, J., Halpenny, M., Hoffmann G., Lau, K., Oakley, C., Palatucci M., Pratt V., Stang, P., Strohband, S., Dupont, C., Jendrossek, L.E., Koelen, C., Markey C., Rummel, C., van Niekerc, J., Jensen, E., Alessandrini, P., Bradski, G., Davies, B., Ettinger, S., Kaehler, A., Nefian, A., Mahoney, P. (2006). Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. *Journal of field Robotics*, 23(9), 661-692.
- Wessel, G., Altendorf, E., Schreck, C., Canpolat, Y., & Flemisch, F. (2018). Cooperation and the Role of Autonomy in Automated Driving. In Control Strategies for Advanced Driver Assistance Systems and Autonomous Driving Functions (S. 1-27). Springer, Cham, in Vorbereitung.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband 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

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de