

Lässt sich ultraschallbasiertes Feedback für die Gestensteuerung für eine Nebenaufgabe während einer Fahraufgabe altersunabhängig nutzen?

Lukas FUCHS, Peter SCHMID, Thomas MAIER

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design,
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart,
Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Durch die Gestensteuerung mit ultraschallbasiertem haptischen Feedback lassen sich blickabwendungsfree Interaktionen für Entertainmentfunktionen in Fahrzeugen erzeugen. Bislang wurde jedoch der Einfluss des Alters auf die Gestensteuerung mit ultraschallbasiertem Feedback nicht im Kontext einer solchen Haupt- und Nebenaufgabe untersucht. In einer Studie mit einem einfachen Fahrsimulator und einem mit dem ultraschallbasierten Feedback implementierten virtuellen Slider werden 30 jüngere und 33 ältere Probanden verglichen. 27 % der älteren Probanden spürten das ultraschallbasierte Feedback gar nicht. Bis zu 48 % der restlichen älteren Probanden spürten bei der niedrigsten Intensität von 64 % nichts. Die älteren Probanden erfüllen die Nebenaufgabe bei fast allen Versuchsparametern signifikant schlechter.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine-Schnittstelle, Mensch-Maschine-Interaktion, taktiler Slider, Ultraschallbasiertes Feedback, Design for All

1. Einleitung

Die Gestensteuerung hat großes Potenzial eine Bedienung der fahrfremden Bedienfunktionen im Pkw mit geringer Blickabwendung durch intuitive Gesten zu ermöglichen. Der Ersatz des bislang eingesetzten audiovisuellen Feedbacks durch ein von einem Ultraschallarray erzeugten taktilen Feedback könnte die Blickabwendungszeit weiter reduzieren (Harrington et al. 2018). Dieses Feedback muss jedoch so gestaltet werden, dass es von jeder Person unabhängig des Alters und der damit einhergehenden Reduktion des taktilen Empfindens genutzt werden kann (García-Piqueras et al. 2019). Bislang wurde der Einfluss des Alters auf die Wahrnehmung und Usability des ultraschallbasierten Feedbacks bei der Gestensteuerung nur singular betrachtet und nicht im Kontext einer Haupt- und Nebenaufgabe (Rutten et al. 2019). Die parallele Bearbeitung von einer Haupt- und Nebenaufgabe führt jedoch aufgrund einer begrenzten mentalen Kapazität zu Leistungseinbußen (Schlick et al. 2018).

Schmid et al. (2019) und Schmid und Maier (2021) haben den Einfluss des Alters bei der Hauptaufgabe Lane Change Task (LCT) in einer Pkw-Simulatorumgebung bereits bei haptisch-kodierten Drehstellern und elektrotaktilen Touchscreens untersucht. Dabei konnte beim elektrotaktilen Feedback im Gegensatz zum haptisch-kodierten Drehsteller kein signifikanter Unterschied zwischen jüngeren und älteren Probanden festgestellt werden (Schmid et al. 2019; Schmid und Maier 2021).

2. Methode

Der als Hauptaufgabe genutzte LCT ist ein einfacher Fahrsimulator, der mit einem üblichen Computermonitor mit Lenkrad und einer Pedalanlage durchgeführt wird (ISO 26022). In regelmäßigen Abständen erscheinen auf der geraden dreispurigen Fahrbahn Spurwechselschilder. Der Proband führt den Spurwechsel durch, sobald das Schild mit einer Richtgeschwindigkeit von 60 km/h erscheint. An einem je nach Versuchsparameter unterschiedlichen Schild erscheint ein Klingelton, der dem Probanden das Signal gibt, die Nebenaufgabe durchzuführen (vgl. Tabelle 1).

Für die Nebenaufgabe wird ein mit der Gestensteuerung zu bedienender virtueller Slider in Form einer taktilen Skala gewählt. Die Implementierung mit dem Development-Kit Stratos Explore von Ultraleap und der Software Unity basiert auf Schmid (2023). Dieser virtuelle Slider ermöglicht ein auf die Sliderlänge verteiltes diskretes Feedback an den Skalenpunkten. Daraus ergeben sich im einfachsten Aufbau zwei Versuchsparameter in Form der Intensität der Skalenpunkte und des Skalenabstands. Dabei werden insgesamt drei verschiedene Intensitäten (64 %, 80 % und 100 %, wobei 100 % einem Schalldruck von 1124 Pa entspricht) und vier verschiedene Skalenabstände (18,75 mm; 23,10 mm; 30,00 mm und 37,50 mm) bei konstanter Sliderlänge von 300 mm gestuft nach der DIN 323-1 untersucht. Dies ergibt in Summe zwölf verschiedene Versuchsparameter (VP), die in randomisierter Reihenfolge abgefragt werden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Versuchsparameter der Haupt- und Nebenaufgabe; die in der Studie untersucht werden.

Versuchsparameter		VP 01	VP 02	VP 03	VP 04	VP 05	VP 06	VP 07	VP 08	VP 09	VP 10	VP 11	VP 12
Nebenaufgabe	Intensität in %	64				80				100			
	Skalenabstände in mm	37,50	30,00	23,10	18,75	37,50	30,00	23,10	18,75	37,50	30,00	23,10	18,75
Hauptaufgabe	Streckenabschnitt	1	10	4	8	4	1	1	4	8	8	10	1
	Schildposition	4	3	3	4	1	1	3	2	3	1	2	2

2.1 Probanden

Die Zulassungskriterien für die Probanden sind keine Einschränkungen in der Gefühlswahrnehmung im rechten Hand-, Arm- und Fingerbereich und Besitz der Führerscheinklasse B. An der Studie haben 63 Probanden (33 männlich, 30 weiblich) mit einer Altersspanne von 22 bis 79 Jahren teilgenommen. Die Probanden werden in eine Gruppe von jüngeren und älteren Probanden aufgeteilt. Die Gruppe der jüngeren 30 Probanden (13 männlich, 17 weiblich) hat ein Durchschnittsalter von 29 Jahren (SD = 7,17 Jahre, Range = 22–48 Jahre). Die Gruppe der älteren 33 Probanden reduziert sich um zehn ältere Probanden, die nachträglich von der Studie ausgeschlossen werden. Acht dieser älteren Probanden spüren das ultraschallbasierte Feedback ohne Fahraufgabe und ein Proband mit Fahraufgabe nicht. Eine weitere Probandin hat die Studie aufgrund der mentalen Belastung durch die parallele Bearbeitung der Haupt- und Nebenaufgabe abgebrochen.

Damit besteht die Gruppe der älteren Probanden aus 23 Personen (14 männlich, 9 weiblich) mit einem Durchschnittsalter von 64,7 Jahren ($SD = 4,92$ Jahre, Range = 56–75 Jahre). 7,5 % der jüngeren und älteren Probanden, die vollständig an der Studie teilgenommen haben, sind linkshändig und 92,5 % rechtshändig. Die Testdurchführung dauert im Durchschnitt 1h 30 min und die Probanden erhalten eine Aufwandsentschädigung von 50 € für die Teilnahme.

2.2 Studiendurchführung

Zu Beginn werden die Probanden über den Versuchsablauf aufgeklärt und gebeten, die Datenschutz- und Einwilligungserklärung zur anonymisierten Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten zu unterschreiben. Mit der Erfassung von demografischen Daten und Vortests zur sensorischen Leistungsfähigkeit (Zwei-Punkt-Diskrimination, Semmes-Weinstein Monofilament Test) werden mögliche Einflussmöglichkeiten auf die Wahrnehmung des ultraschallbasierten Feedbacks vorab erfasst.

Nachfolgend werden die Probanden schrittweise in den Hauptversuch eingeführt. Dies beginnt mit der separaten Einführung der Probanden in die Hauptaufgabe LCT und die Bedienung der Gestensteuerung mit ultraschallbasiertem Feedback als Nebenaufgabe. Nach erfolgreicher Einführung in die Teilaufgaben werden diese im Anschluss testweise bei 100 % Intensität und einem Abstand von 30 mm gemeinsam durchgeführt. Während des Hauptversuchs tragen die Probanden einen Gehörschutz zum Ausschluss der auditiven Wahrnehmung des ultraschallbasierten Feedbacks (vgl. Abbildung 1). Im Hauptversuch führen die Probanden die Spurwechsel des LCT auf ausgewählten Strecken bis zum ertönen eines Klingeltons aus. Dann wird der Spurwechsel, bei dessen Schild der Klingelton ertönt ist, durchgeführt und nachfolgend mit der rechten Hand der virtuelle Slider immer auf den sechsten Skalenwert vom linken Skalenrand eingestellt. Während der Versuchsdurchführung werden die objektiven Kenngrößen LCT-Abweichung, Einstellzeit und eingestellter Skalenwert automatisch erfasst. Die LCT-Abweichung misst die Performanz der Probanden bei der Hauptaufgabe durch die durchschnittliche Abweichung von der Idealspur. Darüber hinaus wird die Einstellzeit zusätzlich auch mit einer Stoppuhr gemessen. Zum Abschluss eines jeden Versuchsablaufs beantworten die Probanden einen subjektiven Fragebogen zur Usability mit sieben Fragen zur Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit bezüglich der Ausführung der Nebenaufgabe.



Abbildung 1: Versuchsaufbau (links) bestehend aus dem Bereich des Vortests, dem Sitz des Versuchsleiters und dem Aufbau des Hauptversuchs (rechts)

3. Ergebnisse

Bei den älteren Probanden treten bei der niedrigsten Intensität von 64 % hohe Nichterkennungsquoten der Skalenpunkte des ultraschallbasierten Feedbacks auf, bspw. erkennen 48 % VP02 gar nicht (vgl. Abbildung 2). Bei der Erfüllung der Nebenaufgabe zeigen sich große Unterschiede zwischen den jüngeren und älteren Probanden (vgl. Abbildung 2). Im Allgemeinen nimmt die Nebenaufgabenerfüllung mit sinkendem Skalenabstand ab und mit steigender Intensität zu. Die höchste Nebenaufgabenerfüllung erzielen die jüngeren Probanden mit 82 % bei VP01 dicht gefolgt mit 80 % bei VP09 und die älteren Probanden mit 52 % bei VP09. Der Median der Einstellzeit der Älteren liegt über alle VP höher als bei den Jüngeren (vgl. Abbildung 2). Die Streuung der Einstellzeiten nimmt bei den älteren Probanden mit höherer Intensität ab und ist bei den jüngeren Probanden nahezu konstant. Der Mittelwert der LCT-Abweichung ist bei allen Versuchsparametern mit Ausnahme von VP05 bei den Älteren höher als bei den Jüngeren (vgl. Abbildung 2). Die Präzision der taktilen Skala wird von den jüngeren Probanden bei der geringsten Intensität von 64 % neutral und bei den höheren Intensitäten als gut bewertet. Im Gegensatz bewerten die älteren Probanden diese negativ bei der geringsten Intensität und geben auch bei den höheren Intensitäten eine schlechtere Bewertung für die Präzision ab (vgl. Abbildung 2). VP10 wird von den jüngeren und VP12 von den älteren Probanden als am präzisesten bewertet. Beide Gruppen bewerten die Basisintensität von 64 % als schlecht, wobei die Bewertung der Älteren noch schlechter ausfällt (vgl. Abbildung 2). Die Intensität von 80 % wird von den älteren Probanden im Allgemeinen neutral und von den jüngeren Probanden als gut bewertet. Die Intensität von 100 % wird von beiden Gruppen durchgehend am besten bewertet, wobei die Jüngeren VP10 und die Älteren VP12 am besten bewerten.

4. Diskussion

Wenn die Probanden das ultraschallbasierte Feedback bei einzelnen VP nicht erkannt haben, wurde dies notiert und keine weiteren Messgrößen für diese VP erfasst. Dadurch reduziert sich die Größe der Stichprobe der Älteren und damit die Aussagekraft der Ergebnisse im Speziellen bei der niedrigsten Intensität von 64 % für alle restlichen Messgrößen (vgl. Abbildung 2). Für die Untersuchung der Signifikanzen zwischen den beiden Probandengruppen wird IBM SPSS Statistics Version 28.0.0.0 verwendet. Die Erfüllung der Nebenaufgabe wird mit dem exakten Test nach Fisher, da Häufigkeiten der älteren Probanden bei VP03 und VP04 kleiner als 5 vorliegen, nach signifikanten Unterschieden zwischen den Jüngeren und Älteren untersucht (vgl. Tabelle 2). Bei den Versuchsparametern VP01, VP05, VP06, VP07 und VP11 liegen hoch signifikante (**: $p < 0.01$) und bei VP02, VP03, VP08, VP09 und VP12 signifikante (*: $p < 0.05$) Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen vor. Die Einstellzeit, LCT-Abweichung, Präzision und Intensität werden mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen untersucht (vgl. Tabelle 2). Für die Einstellzeit liegen bei den Versuchsparametern VP01, VP02, VP06 bis VP08 hoch signifikante und bei VP04, VP05 und VP10 bis VP12 signifikante Unterschiede vor. Die Signifikanz der Einstellzeit zwischen den beiden Probandengruppen ist bei der höchsten Intensität von 100 % am geringsten. Bei der LCT-Abweichung liegen hoch signifikante Unterschiede für VP08 und

VP09 und signifikante Unterschiede für VP03, VP06, VP07, VP10 und VP11 vor. Bei der Bewertung der Präzision der taktilen Skala liegen zwischen den beiden Probandengruppen für VP01, VP02 und VP05 hoch signifikante und für VP03 und VP10 signifikante Unterschiede vor. Die Intensität bewerten die Jüngeren und Älteren bei VP01 hoch signifikant und bei VP02, VP05 und VP08 bis VP10 signifikant unterschiedlich. Bei VP09 und VP10 ist die Nebenaufgabenerfüllung der Älteren maximal 40 % geringer als bei den Jüngeren und über alle VP am höchsten. Zudem erkennen alle Probanden diese VP und geben eine der höchsten Bewertungen für die Präzision sowie Intensität über alle VP ab.

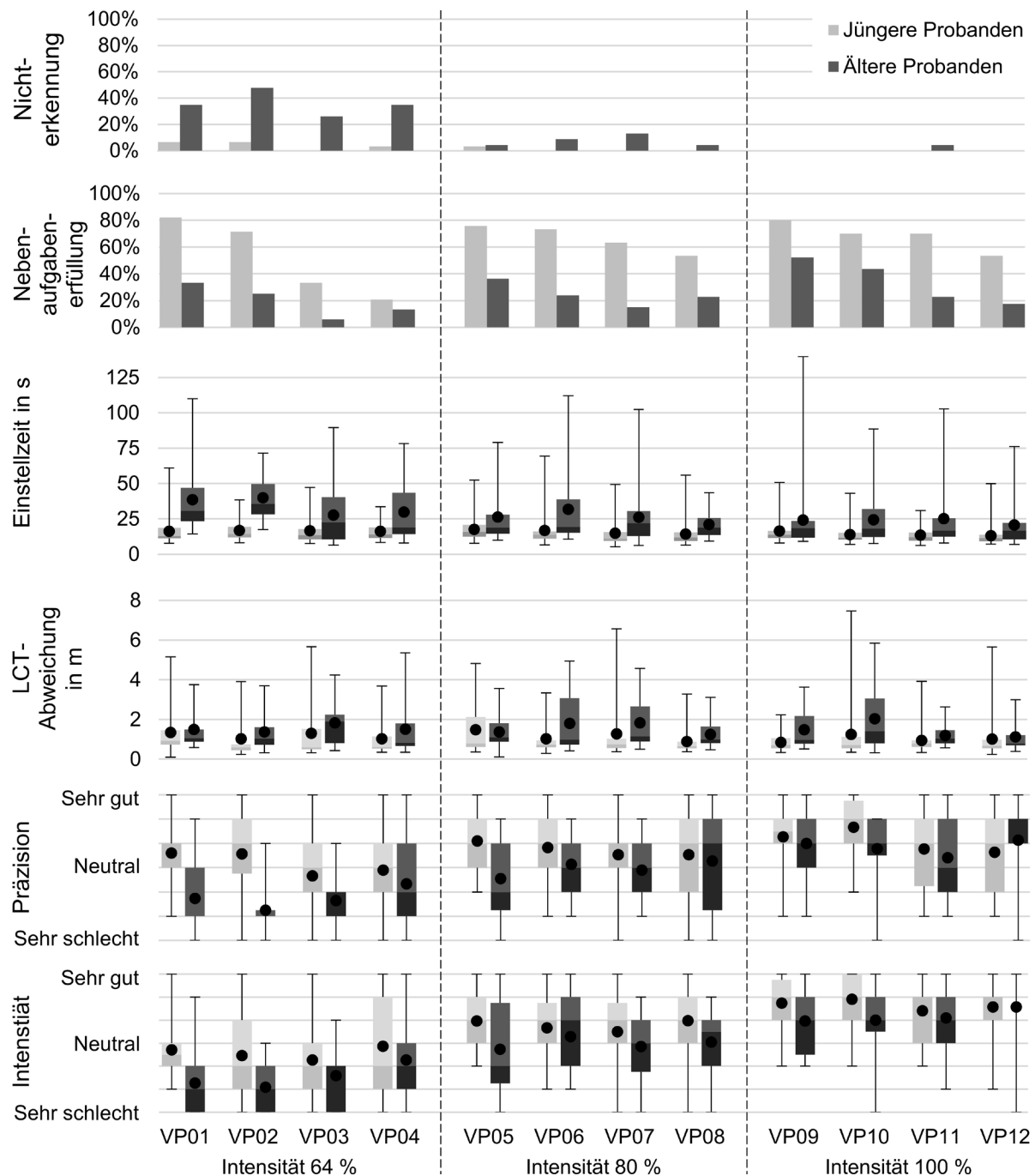


Abbildung 2: Ergebnisse der Studie mit jüngeren Probanden (hell) und ältere Probanden (dunkel)

Tabelle 2: Die Signifikanz zwischen den beiden Probandengruppen der Nebenaufgabenerfüllung ist mit dem exakten Test nach Fisher und die restlichen Signifikanzen zwischen den beiden Probandengruppen sind mit dem Mann-Whitney-U-Test bestimmt. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Intensität	64 %				80 %				100 %			
Versuchsparameter	VP 01	VP 02	VP 03	VP 04	VP 05	VP 06	VP 07	VP 08	VP 09	VP 10	VP 11	VP 12
Nebenaufgabenerfüllung	**	*	*	-	**	**	**	*	*	-	**	*
Einstellzeit	**	**	-	*	*	**	**	**	-	*	*	*
LCT-Abweichung	-	-	*	-	-	*	*	**	**	*	*	-
Präzision	**	**	*	-	**	-	-	-	-	*	-	-
Intensität	**	*	-	-	*	-	-	*	*	*	-	-

5. Fazit und Ausblick

Die jüngeren und älteren Probanden bewerten und nehmen die Gestensteuerung mit ultraschallbasiertem Feedback unterschiedlich gut wahr. Im Sinne des Design for All sollte die maximale Intensität von 100 % und ein Skalenabstand von 30,00 bis 37,50 mm für eine Applikation gewählt werden. In zukünftigen Studien ist geplant, durch eine Veränderung des ultraschallbasierten Feedbacks die Erkennungsrate zu steigern und eine Informationskodierung in Form einer Skalenmitte zu untersuchen.

6. Literatur

- DIN, Deutsches Institut für Normung (1974) Normzahlen und Normzahlreihen. DIN 323-1.
- García-Piqueras J, García-Mesa Y, Cárcaba L, Feito J, Torres-Parejo I, Martín-Biedma B et al. (2019) Ageing of the Somatosensory System at the Periphery – Age-related Changes in cutaneous Mechanoreceptors. *Journal of Anatomy* 234:839-852.
- Harrington K, Large DR, Burnett G, Georgiou O (2018) Exploring the Use of Mid-Air Ultrasonic Feedback to Enhance Automotive User Interfaces. In: *Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Proceedings of 10th Automotive UI*. New York: ACM, 11–20.
- ISO, International Organization for Standardization (2010) Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems. ISO 26022.
- Rutten I, Frier W, van den Bogaert L, Geerts D (2019) Invisible Touch – How Identifiable are Mid-Air Haptic Shapes? In: Brewster S et al. (Ed) *Conference on Human Factors in Computing Systems, Extended Abstracts of the 2019 CHI*. New York: ACM, 1–6.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) *Arbeitswissenschaft*. 4. Aufl. Berlin: Springer.
- Schmid P (2023) Experimentelle Validierung von dreidimensionalen interaktiven Systemen in der Medizintechnik, Univ. Stuttgart, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Dissertation.
- Schmid P, Maier T (2021) Electro-Tactile Feedback to Provide Assistance to Touchscreen Interaction of the Elderly. In: *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Cham: Springer, 271-278.
- Schmid P, Winterholler J, Maier T (2019) Investigation of the Relief Potential of the Visual Perception Channel by the User-Centered Design of a Rotary Control Element. In: *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung*, 2019. Stuttgart.

Danksagung: Diese Forschungsarbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojekts "Ultraschallbasierte taktile Feedbackgestaltung einer berührungslosen Mensch-Maschine-Schnittstelle unter Berücksichtigung des Nutzeralters" (Projektnummer 500499494) gefördert.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

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.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de