

Wie bequem darf's sein? Untersuchung unterschiedlicher Komfortlevel eines geteilten automatisierten Fahrzeugs in einer Mixed Reality Umgebung

Fabian SCHLICHOTHERLE, Thirumanikandan SUBRAMANIAN,
Wolfram REMLINGER

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design,
Lehrstuhl für Interior Design Engineering, Universität Stuttgart,
Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Geteilte automatisierte Fahrzeuge können einen bedeutenden Beitrag zur Reduktion der urbanen Verkehrsbelastung leisten. Eine wichtige Voraussetzung für eine möglichst hohe Akzeptanz dieser Mobilitätskonzepte ist allerdings eine komfort- und nutzerzentrierte Entwicklung, insbesondere hinsichtlich der Fahrzeuginnenräume. In einer Mixed Reality Umgebung bekamen $n = 42$ Versuchspersonen drei anhand ihres Komfortlevels variierende Innenräume eines geteilten automatisierten Fahrzeugs sowie je ein dazu passendes Nutzungsszenario präsentiert. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Nutzungsbereitschaft in allen Szenarien. Die Ansprüche an Komfort, Ausstattungslevel und maximal gewünschter Fahrtzeit unterschieden sich jedoch stark. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Individualisierbarkeit gemeinsam genutzter Fahrzeuginnenräume ein entscheidender Akzeptanzfaktor sein wird.

Schlüsselwörter: Geteilte automatisierte Fahrzeuge, Ridepooling, Mixed Reality, Komfort, Interior Design, Fahrzeuginterieur

1. Motivation

Die fortschreitende Entwicklung des automatisierten Fahrens verändert auch die Arbeitswelt. Spätestens seit der Corona-Pandemie ist mobiles Arbeiten für viele Menschen zum Alltag geworden und neben vielen anderen denkbaren Tätigkeiten, die während einer automatisierten Fahrt verrichtet werden können, verspricht die Vision der Verwendung automatisierter Fahrzeuge als rollende Büros eine effizientere Nutzung der Pendelzeit zum und vom Arbeitsplatz. Die sich hieraus ergebende Möglichkeit der Arbeitsortflexibilisierung und der Nutzung des Arbeitswegs als produktive Arbeitszeit könnte den Alltag vieler Beschäftigter erleichtern. Doch nicht nur im Arbeitskontext ist ein mobilitätsbezogenes Umdenken notwendig. Insbesondere im urbanen Raum nimmt die Verkehrsbelastung stetig zu und führt zu einer Vielzahl von Problemen. Im Sinne einer nachhaltigen Verkehrswende können im Bereich der Straßenmobilität vor allem geteilte automatisierte Fahrzeuge einen Schritt zur Reduzierung der Verkehrslast beitragen. Durch Ridepooling, also der Bündelung von Fahrten mit flexiblen Buchungsoptionen sowie individuellen Routen könnten diese einen Teil des motorisierten Individualverkehrs ersetzen. Jedoch kann sich dieser Effekt nur bewahrheiten, sofern die Mobilitätskonzepte auch eine breite Akzeptanz erfahren.

Hierfür ist es notwendig, dass alle beteiligten Stakeholder wie Kommunen, Serviceprovider oder Fahrzeughersteller auf eine nutzerzentrierte Entwicklung achten. Von entscheidender Bedeutung ist in diesem Kontext der Fahrzeuginnenraum, der von seiner historischen Rolle als Fahrerarbeitsplatz weg zu einem Aufenthalts- bzw. Rückzugsort wird. Diese Transformation führt zu dem Bedarf, die Fahrtzwecke sowie die Ansprüche an Ausstattung und Komfort der Passagiere genauestens zu kennen, um optimal darauf abgestimmte Interieurs anbieten zu können.

2. Herausforderungen bei der Einführung geteilter automatisierter Fahrzeuge

Vorangegangene Untersuchungen zeigen eine grundsätzlich positive Einstellung gegenüber geteilten automatisierten Fahrzeugen (Heikoop et al. 2020; Nordhoff et al. 2018). Wichtige Faktoren, welche die Nutzungsbereitschaft beeinflussen, sind insbesondere die Reisezeit sowie der Preis der Fahrt (Chen et al. 2017). Darüber hinaus wird allerdings auch das Interieur der Fahrzeuge einen Einfluss auf ihre Akzeptanz haben. Ausschlaggebend ist vor allem die Frage, welche Nutzergruppen durch die Fahrzeuginnenraumgestaltung angesprochen werden. Die grundsätzliche Annahme ist dabei, dass ein Interieur mit gehobenem Komfortlevel eher fähig ist, Nutzerinnen und Nutzer aus dem motorisierten Individualverkehr hin zur Verwendung geteilter fahrerloser Fahrzeuge zu bewegen. Hierdurch ließen sich verkehrstechnisch die größten Gewinne erzielen, da durch die Bündelung von Fahrten privater Pkw ein Maximum an Verkehrsfläche freiwerden könnte. Ein geringes Komfortlevel geteilter Fahrzeuginnenräume birgt hingegen die Gefahr eines Kannibalisierungseffekts für den öffentlichen Personennahverkehr, da diese bestehenden Standards aus Bussen und Bahnen ähneln und somit höchstens für Nutzerinnen und Nutzer dieser Verkehrsmittel einen Komfortgewinn darstellen. Das Komfortlevel der zurzeit dominierenden Modelle geteilter automatisierter Fahrzeuge ist als gering zu betrachten und es lässt sich bislang nicht beobachten, dass Hersteller ausreichend auf Kundenbedürfnisse hinsichtlich des Komforts eingehen (Wasser et al. 2018; Dorynek et al. 2021).

Des Weiteren stellt die Erforschung von Innenräumen geteilter automatisierter Fahrzeuge aufgrund des Neuheitswerts des Mobilitätskonzepts eine methodische Herausforderung dar. Erfahrungswerte aus der Gestaltung von Bussen oder Bahnen können angewendet, jedoch nur bedingt übertragen werden. Zudem erschwert der unvollständige Entwicklungsstand automatisierter Fahrfunktionen und die damit einhergehende eingeschränkte Verfügbarkeit automatisierter Fahrzeuge im realen Straßenverkehr das Einholen von Erfahrungswerten realer Nutzer. So konnte eine Vielzahl an Pilotprojekten zwar bereits Fahrten automatisierter Shuttles im Realverkehr umsetzen, allerdings verfälschen Limitationen wie bspw. Geschwindigkeitsbegrenzungen von ca. 20 km/h oder die Anwesenheit eines Sicherheitsfahrers den Eindruck und damit die Bewertungen der Probanden. Die Anwendung vielfältiger Untersuchungsmethoden ist daher notwendig, um möglichst nutzerzentrierte Innenraumlösungen zu generieren. In diesem Zusammenhang bieten sich Darstellungen von Innenraumkonzepten in Virtual bzw. Mixed Reality an. Diese erlauben eine weitgehend realistische Veranschaulichung sowie einen möglichst hohen Immersionsgrad für die Probanden, bei gleichzeitig geringerem Kosten- und Herstellungsaufwand im Vergleich zu prototypischen Realfahrzeugen bzw. Mockups. Zudem kann schnell und flexibel zwischen abzurufenden Konzepten gewechselt werden.

3. Methode

2.1 Versuchsumgebung und Nutzungsszenarien

Der für den vorliegenden Versuch verwendete Mixed Reality Simulator setzte sich aus einem mit grünem Vorhang ausgekleideten Würfel aus Aluminiumprofilen mit einer Kantenlänge von ca. 2 m zusammen. Darin befand sich ein ebenfalls mit grünem Stoff verkleideter Stuhl, welcher den Versuchspersonen während der Szenarien als Sitz sowie Ausgangspunkt für die Erkundung des jeweiligen Fahrzeuginnenraums diente. Die Nutzungsszenarien bestanden aus jeweils einem kurzen Text, der bis auf die abweichenden Informationen des jeweiligen Szenarios in seiner Formulierung konsistent gehalten wurde. Die drei beschriebenen Situationen lauteten „Einkaufsfahrt“, „Pendelfahrt“ sowie „Private Fahrt“. Zu jedem Szenario bekamen die Versuchspersonen im Anschluss einen darauf abgestimmten Fahrzeugbereich im Mixed-Reality Simulator präsentiert. Das Szenario „Einkaufsfahrt“ beschrieb eine Fahrt zum Supermarkt. Der Innenraum des geteilten automatisierten Fahrzeugs entsprach dabei einem niedrigen Komfortlevel und orientierte sich an der Ausstattung eines Linienbusses. Die „Pendelfahrt“ schilderte die frühmorgendliche Anreise zur Arbeitsstelle der Versuchsperson. Der Innenraum bot den Probanden ein höheres Level an Komfort durch eine gehobene Sitzausstattung sowie mehr Privatsphäre. Im Szenario „Private Fahrt“ wurde kein spezifischer Reisegrund angegeben, da die Anlässe für die Buchung einer solchen Fahrt stark individuell sind. Die Versuchspersonen erhielten stattdessen lediglich den Hinweis, dass sie die Reise in diesem Szenario ungestört und baulich von anderen Fahrgästen getrennt verbringen wollen. Das virtuelle Interieur war durch eine Trennwand vom restlichen Fahrzeug isoliert und die Sitzausstattung ließ auf ein sehr hohes Level an Komfort sowie Privatsphäre schließen. Abb. 1 zeigt einen Grundriss des Fahrzeuginnenraums mit Einfärbungen gemäß den Szenarien (links) sowie beispielhaft die Perspektive der Versuchspersonen beim Blick durch die Mixed-Reality-Brille (rechts).

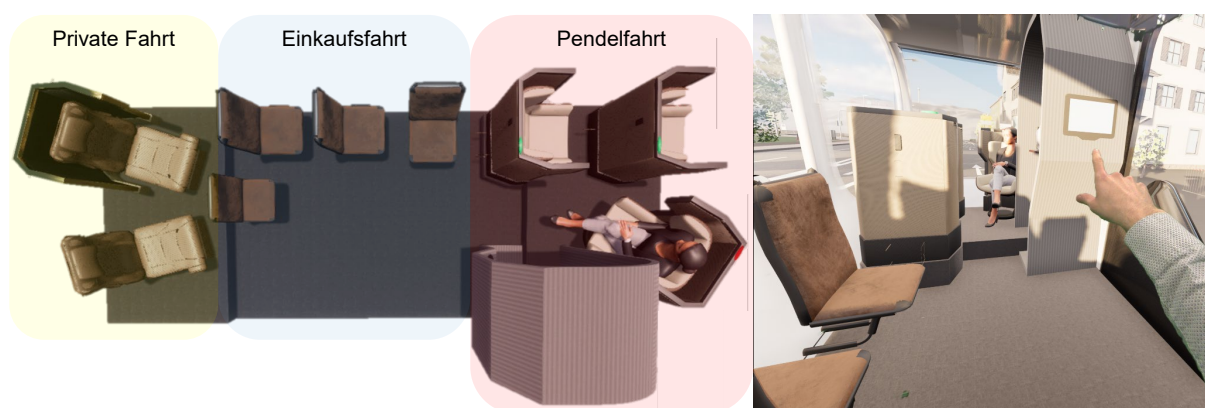


Abbildung 1: Links: Grundriss des im Experiment verwendeten Interieurs eines geteilten automatisierten Fahrzeugs. Eingefärbt sind die „Abteile“, welche die Teilnehmenden in den jeweiligen Szenarien dargeboten bekamen. Rechts: Perspektive einer Versuchsperson durch die Mixed-Reality-Brille.

2.2 Stichprobe und Versuchsablauf

Die Studie wurde im Showroom des Forschungsprojekts SAVeNoW in Ingolstadt durchgeführt. Die Teilnehmenden wurden durch einen E-Mail-Verteiler der Technischen Hochschule Ingolstadt angeworben und erhielten für die Teilnahme am ca. 30-minütigen Versuch eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 15 €. Die Probanden wurden zu Beginn des Versuchs über den Zweck des Experiments aufgeklärt und unterschrieben eine Einwilligungserklärung. Anschließend füllten sie einen demografischen Fragebogen aus und lasen dann einen Einführungstext sowie das erste Nutzungsszenario durch. Dieses diente dazu, den Versuchspersonen einen nachvollziehbaren Grund für ihre jeweilige Fahrt im geteilten automatisierten Fahrzeug zu vermitteln. Die Probanden beantworteten Fragen zum Nutzungsszenario und wurden anschließend in den Mixed Reality Simulator geführt. Daraufhin wurden die Teilnehmenden instruiert, sich 30 Sekunden lang einen Eindruck ihrer Umgebung zu bilden. Nach jeder Erkundung beantworteten sie weitere Fragen zum erlebten Szenario sowie schlussendlich eine Abschlussbefragung.

4. Ergebnisse

Insgesamt nahmen $n = 45$ Personen an der Untersuchung teil. Drei Datensätze mussten nachträglich ausgeschlossen werden, sodass die Stichprobengröße bei $n = 42$ Personen lag. 59,52 % der Teilnehmenden identifizierten sich als männlich, 40,48 % als weiblich. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei $M = 23,19$ ($SD = 2,31$) Jahren. Alle Teilnehmenden waren Studierende aus überwiegend technisch orientierten Studiengängen. Die Mehrheit der Probanden (78,57 %) gab in der Eingangsbefragung ihre grundsätzliche Bereitschaft zur Nutzung eines geteilten automatisierten Fahrzeugs auf einer fünfstufigen Likert-Skala mit *hoch* (57,14 %) oder *sehr hoch* (21,43 %) an ($M = 2,93$; $SD = 0,81$).

Da die aus dem Versuch vorliegenden Daten keine Normalverteilung aufwiesen, wurde für alle Mittelwertvergleiche ein Wilcoxon-Test verwendet. Das übliche Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ % wurde mittels Bonferroni-Methode korrigiert. Die Nutzungsbereitschaft innerhalb der jeweiligen Szenarien lag für die Bedingung Einkaufsfahrt bei $M = 2,98$ ($SD = 1,09$), für die Pendelfahrt bei $M = 3,19$ ($SD = 0,86$) und für die private Fahrt bei $M = 2,76$ ($SD = 1,14$). Diese Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Hinsichtlich des Anspruchs an den Komfort sowie der Ausstattung im Fahrzeuginnenraum zeigten sich zwischen den einzelnen Szenarien durchweg hochsignifikante Mittelwertdifferenzen. Die Ansprüche an eine Pendelfahrt waren signifikant höher als an eine Einkaufsfahrt ($z_{\text{Komfort}} = -3,98$; $p < 0,001$; $r = 0,61$; $z_{\text{Ausstattung}} = -4,26$; $p < 0,001$; $r = 0,66$). Ebenso wiesen die Teilnehmenden signifikant höhere Ansprüche an eine private Fahrt auf, im Vergleich zu einer Pendelfahrt ($z_{\text{Komfort}} = -4,83$; $p < 0,001$; $r = 0,75$; $z_{\text{Ausstattung}} = -4,66$; $p < 0,001$; $r = 0,72$). Alle jeweils ermittelten Effektstärken waren nach Cohen (1988) groß. Einen Ergebnisüberblick bietet Abb. 2.

Nach jedem Szenario gaben die Teilnehmenden die maximale Zeit in Minuten an, die sie im erlebten Innenraum des Fahrzeugs maximal verbringen möchten. Als mittlere Werte ergaben sich hier für die Einkaufsfahrt $M = 33,76$ ($SD = 21,82$), die Pendelfahrt $M = 71,07$ ($SD = 46,62$) sowie die private Fahrt $M = 110,36$ ($SD = 82,10$). Die Ergebnisse der Wilcoxon-Tests waren signifikant für die Vergleiche zwischen

Einkaufsfahrt und Pendelfahrt ($z = -5,31$; $p < 0,001$; $r = 0,82$) sowie Pendelfahrt und privater Fahrt ($z = -2,98$; $p < 0,01$; $r = 0,46$). Die Effektstärken waren nach Cohen (1988) groß für den Unterschied zwischen Einkaufsfahrt und Pendelfahrt sowie mittel für den Unterschied zwischen Pendelfahrt und privater Fahrt.

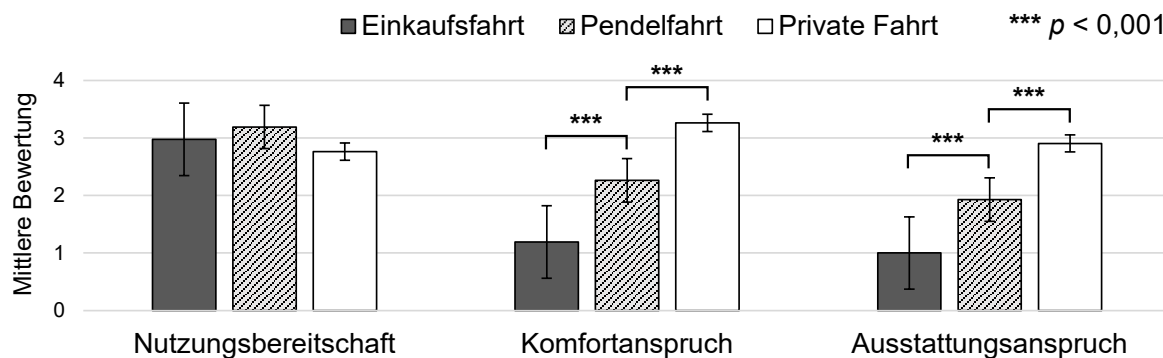


Abbildung 2: Mittlere Bewertung der Nutzungsbereitschaft sowie des Komfort- und Ausstattungsanspruchs der Versuchspersonen in Abhängigkeit der drei untersuchten Nutzungsszenarien.

5. Diskussion

In der hier vorgestellten Untersuchung war es Versuchspersonen möglich, ein geteiltes automatisiertes Fahrzeug in einer hoch immersiven Mixed Reality Umgebung zu erleben. Im Vergleich zu vielen vorangehenden Studien, welche lediglich auf (Online-) Fragebögen zurückgriffen, konnte so ein realistischerer Eindruck der noch nicht im alltäglichen Verkehr erlebbaren Fahrzeuge vermittelt werden. Die gefundenen Ergebnisse sollten jedoch unter der Berücksichtigung der stark homogenen Stichprobe, bestehend aus jungen und technikaffinen Menschen, betrachtet werden. Während die Auswirkung von Alter auf die Akzeptanz von geteilten automatisierten Fahrzeugen umstritten ist, spielt ein Interesse an Technik hierbei durchaus eine Rolle (Pigeon et al. 2021). Eine weitere methodische Einschränkung bestand in der limitierten Größe des verwendeten Simulators sowie der daraus resultierenden mangelnden haptischen Differenzierbarkeit unterschiedlicher Sitzkonzepte.

Dieser Einschränkungen zum Trotz kann die Bereitschaft zur Nutzung eines geteilten automatisierten Fahrzeugs zu allen Erhebungszeitpunkten im Versuch als hoch betrachtet werden. Zudem hatten die einzelnen Versuchsbedingungen keinen signifikanten Einfluss auf das Maß der Nutzungsbereitschaft. Dies ist ein vielversprechendes Ergebnis, da die breite Nutzung geteilter Fahrzeuge über viele Fahrtzwecke hinweg eine größere Reduktion der urbanen Verkehrsbelastung ermöglicht. Die Ansprüche an Komfort und Ausstattung im Fahrzeug sowie die maximale Fahrtzeit, die die Teilnehmenden für das jeweilige Szenario im Fahrzeug verbringen würden, unterschieden sich jedoch deutlich zwischen den Szenarien. Dies steht in Einklang mit den Ergebnissen von Kipp et al. (2022), wonach die Nutzung von Ausstattungsmerkmalen eines autonomen Taxis von der Fahrdauer abhängt. Hieraus lässt sich insgesamt schlussfolgern, dass die Innenräume zukünftiger geteilter automatisierter Fahrzeuge in hohem Maße eine große Bandbreite unterschiedlicher Nutzeranforderungen abdecken können müssen. Dies ließe sich über zwei Wege realisieren. Eine Möglichkeit ist eine erhöhte Modularität des Interieurs eines einzelnen Fahrzeugtyps durch adaptive

Anzeigeelemente, Ablagemöglichkeiten und Sitzkonfigurationen oder alternativ das Anbieten von separaten Bereichen, die auf verschiedene Use Cases zugeschnitten sind. Eine weitere Lösung wäre, wie von Dorynek et al. (2022) vorgeschlagen, die Verwendung von „Purpose Built Vehicles“, also Fahrzeugen, welche von Grund auf an bestimmte Nutzungsszenarien angepasst sind und flexibel von Fahrgästen auf Basis ihres Fahrtzwecks gebucht werden können.

Zukünftige Untersuchungen in diesem Forschungsfeld sollten eine detailliertere Identifikation der Anforderungen an die Innenräume geteilter automatisierter Fahrzeuge zum Ziel haben. Auch methodische Verbesserungen von Versuchsaufbauten durch die Verbindung von Mixed Reality Umgebungen mit realistischeren Mockups sollten vorangetrieben werden, solange der technische Entwicklungsstand der Fahrzeuge eine Erprobung im Realverkehr noch nicht zulässt.

6. Literatur

- Chen X, Zahiri M, Zhang S (2017): Understanding ridesplitting behavior of on-demand ride services: An ensemble learning approach. In: *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies* 76, S. 51–70. DOI: 10.1016/j.trc.2016.12.018.
- Cohen J (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*: Routledge.
- Dorynek M, Winkler J, Brettschneider S, Weinmann P, Bengler K (2021): How Long Do We Have to Wait for Ergonomic Autonomous On-Demand Mobility? A Benchmark and Expert Study about Shuttles in Europe. In: *Proceedings of the 27th ITS World Congress 2021*, S. 2397–2411.
- Dorynek M, Derle L-T, Fleischer M, Thanos A, Weinmann P, Schreiber M et al. (2022): Potential Analysis for a New Vehicle Class in the Use Case of Ride-Pooling: How New Model Developments Could Satisfy Customers and Mobility Makers. In: *Vehicles* 4 (1), S. 199–218. DOI: 10.3390/vehicles4010013.
- Heikoop D, Nuñez Velasco JP, Boersma R, Bjørnskau T, Hagenzieker MP (2020): Automated bus systems in Europe: A systematic review of passenger experience and road user interaction. In: *Policy Implications of Autonomous Vehicles*, Bd. 5: Elsevier (*Advances in Transport Policy and Planning*), S. 51–71.
- Kipp M, Guo C, Bengler K (2022): Evaluation of the Seating Environment of an Autonomous Taxi on User Needs – An Online Survey Investigation. In: *Human Factors in Transportation. 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022)*, July 24–28, 2022: AHFE International.
- Nordhoff S, Winter J de, Kyriakidis M, van Arem B, Happee R (2018): Acceptance of Driverless Vehicles: Results from a Large Cross-National Questionnaire Study. In: *Journal of Advanced Transportation* 2018, S. 1–22. DOI: 10.1155/2018/5382192.
- Pigeon C, Alauzet, Paire-Ficout L (2021): Factors of acceptability, acceptance and usage for non-rail autonomous public transport vehicles: A systematic literature review. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 81, S. 251–270. DOI: 10.1016/j.trf.2021.06.008.
- Wasser J, Diels C, Baxendale A, Tovey MI (2018): Driverless Pods: From Technology Demonstrators to Desirable Mobility Solutions. In: Neville A. Stanton (Hg.): *Advances in Human Aspects of Transportation*, Bd. 597. Cham: Springer International Publishing (*Advances in Intelligent Systems and Computing*), S. 538–550.

Danksagung: Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen des Förderprogramms *Automatisiertes und Vernetztes Fahren* unter dem Förderkennzeichen 45AVF2010M (SAVeNoW) 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