

## Identifikation von kritischen Interaktionen des bedarfsgerechten ÖPNV mit autonom betriebenen Fahrzeugen

Adrian KEMPER<sup>1</sup>, Ingrid BUBB<sup>2</sup>, Eva KRIEBEL<sup>2</sup>, Alexander MÜLLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Entwicklung, in2p GmbH, Waiblinger Straße 124, D-70734 Fellbach*

<sup>2</sup> *Lehrstuhl für Ergonomie, Fakultät für Maschinenwesen  
Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, D-85748 Garching*

<sup>3</sup> *Fakultät Fahrzeugtechnik, Hochschule Esslingen  
Kanalstraße 33, D-73728 Esslingen*

**Kurzfassung:** Die vorliegende Ausführung beschreibt Methoden zur Ermittlung kritischer Interaktionen bei der ÖPNV-Nutzung. Mithilfe einer generischen Analyse einer typischen ÖPNV-Nutzung und einer explorativen Beobachtungsstudie an einer Bushaltestelle werden besonders kritische Interaktionen identifiziert und verifiziert.

**Schlüsselwörter:** bedarfsgerechter und autonomer ÖPNV, ÖPNV-Nutzermodellierung, Interaktionsverhalten, Informationsflussdiagramm, Nutzerverhalten an Haltestelle

### 1. Einführung

Es ist zu beobachten, dass in der Gesellschaft und in der Folge u.a. durch ÖPNV-Betreiber ein hohes Interesse an neuartigen Beförderungssystemen besteht. Aktuell ergänzen diese Systeme den etablierten Linienbetrieb in Form von Pilotprojekten (Projekt STIMULATE, Bad Birnbach, etc.). Diese dienen oft der Technologiedemonstration und werden nicht immer mit dem Ziel der Kostendeckung und der Nutzerwerterhöhung für die Bürger betrieben. Ausnahmen stellen Angebote von privaten Anbietern im urbanen Umfeld dar. Bedarfsgerechte und gleichzeitig autonom betriebene ÖPNV-Systeme sind jedoch derzeit nicht im praktischen Einsatz. Dieser Problematik widmet sich das Forschungsprojekt RAMONA (Realisierung Automatisierter Mobilitätskonzepte im Öffentlichen Nahverkehr), in welchem der Einsatz und die Integration von automatisierten Mobilitätskonzepten in den ÖPNV untersucht werden.

### 2. Problem & Lösungsansatz

Betrachtet man vorhandene Literatur, dann ist zu erkennen, dass der Forschungsschwerpunkt nur zum Teil auf dem Interaktionsverhalten zwischen Bussystemen und Nutzer liegt. Häufig von Interesse ist, wie aufmerksam Nutzer sich um einen Bus verhalten (Ohmori et al. 2004) oder auch welche Einstiegszeiten pro Nutzer(-gruppe) benötigt werden (Aceves-González et al. 2016).

Gerade für die Umsetzung von automatisierten Fahrzeugen sind bereits gewonnene Kenntnisse bezüglich des Verhalten von Fußgängern in Umgang mit diesen interessant, so können Rothenbücher et al. (2016) in einer Wizard of Oz Studie feststellen, dass Fußgänger beim Überqueren einer Straße aktiv die Interaktion mit dem Fahrer suchen. Wenn sie jedoch keinen Fahrer sehen und auch keine visuelle Rückmeldung von dem Fahrzeug bekommen, halten sie sich an bestehende Verhaltensmuster und

handeln so vorhersehbar (Rothenbücher et al., 2016). Dennoch sind Autoren wie Rasouli & Tsotsos (2019) oder auch Stanciu et al. (2018) der Meinung, dass für ein automatisiertes Fahrzeug schon alleine bezüglich sozialer Aspekte Interaktionskonzepte sowohl zur Kommunikation als auch zur Erzeugung von Aufmerksamkeit zwischen unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern notwendig sind.

Die Kombination von bedarfsgerechtem Betrieb und autonomen Fahrzeugen kann eine effiziente Ergänzung des bestehenden ÖPNV durch ein neuartiges Beförderungssystem darstellen. Durch den autonomen und bedarfsgerechten ÖPNV-Betrieb wird sich die Interaktion zwischen Nutzer und System deutlich verändern und es werden neuartige kritische Situationen dabei auftreten. Diese Veränderung ist bedingt durch die Fahrt des Busses auf einer veränderlichen Route, wodurch immer wieder Informationen bzgl. des Routenverlaufes an den Nutzer übermittelt und von diesem erkannt werden müssen. Darüber hinaus steht kein Busfahrer als Ansprechpartner und Informationsquelle bereit.

Forschung auf dem Gebiet des autonomen und bedarfsgerechten Verkehrs umfasst mehrere Studien, die sich mit Akzeptanz und Nutzungsabsichten von automatisierten Bussystemen befassen (Merat et al. 2018; Nordhoff et al. 2018; Wolf, I. 2015; Löcken et al. 2019). In diesen Studien werden auch Fahrzeuge in der Realität untersucht (Merat et al. 2018, Löcken et al. 2019; Nordhoff et al. 2018). Jedoch fahren die Realfahrzeuge immer auf einer klar definierten Strecke und in einem Geschwindigkeitsbereich um 10 km/h. Für Rückfragen können sich die Nutzer immer an eine Begleitperson wenden, die diese automatisierten Fahrten betreut. Aus dieser gegebenen Situation ist es somit schwierig Problemstellungen zum zukünftigen Interaktionsverhalten zwischen automatisierten und bedarfsgerechten Bussen und Nutzern abzuleiten. Aus diesem Grund stellt sich die Frage nach einer optimalen und nutzerzentrierten Methode der Informationsübermittlung und damit nach der Identifikation von kritischen Interaktionen zwischen Nutzern und ÖPNV-System im bedarfsgerechten und autonom betriebenen ÖPNV.

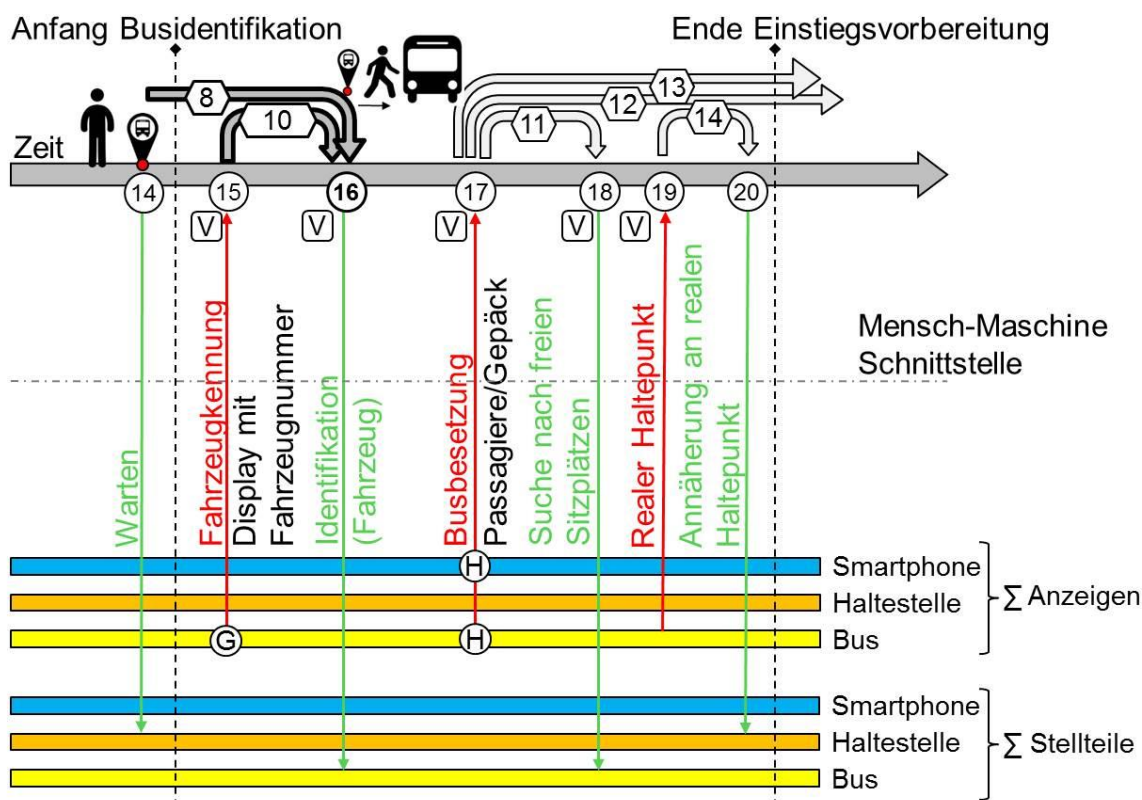
### **3. Methode**

Ziel ist die Darstellung einer typischen ÖPNV-Nutzung in Form eines Informationsflussdiagramms mit dessen Hilfe die Identifikation von kritischen Interaktionen umgesetzt werden soll (vgl. Kapitel 3.1). Zusätzlich soll eine zweite Methode in Form einer Beobachtungsstudie zum Einsatz kommen (Kapitel 3.2), mit der gezielt das Verhalten der Nutzer an einer Bushaltestelle beobachtet wird.

#### *3.1 Informationsflussdiagramm*

Als Grundlage für die Analyse der Informationsflüsse dient das Basisschema Mensch-Maschine-Interaktion (Schmid, M. & Maier, T. 2017). Der Ablauf und die Anzahl von Informationsflüssen bei einer ÖPNV-Nutzung können sehr variantenreich sein. Für eine effektive Analyse werden Prämissen (z.B.: bedarfsgerechter & autonomer Betrieb, Bestellung per Smartphone, etc.) definiert um die zahlreichen Varianten sinnvoll einzugrenzen. Als Ansatz wird eine typische ÖPNV-Nutzung über den zeitlichen Verlauf in Teilprozesse und deren einzelne Interaktionsschleifen gegliedert. Für die einzelnen Teilprozesse wird der multisensorische Informationsaustausch dargestellt und analysiert. In Abbildung 1 sind auszugsweise die Teilprozesse „Identifikation“ und „Einstiegsvorbereitung“ zu sehen. In dieser Abbildung wird die Erkennung und das

Verhalten des Nutzers oben dargestellt, die Anzeige- und Bedienschnittstelle des ÖPNV-Systems unten. Interaktionen über die Mensch-Maschine Schnittstelle werden je nach Richtung durch die Farben Rot und Grün unterschieden. Die einzelnen Interaktionen sind mit Kreisen nummeriert, wobei die Kennzeichnung der Interaktionsschleifen durch 6-Ecke erfolgt, die Darstellung der Anzeigen wird mit Kreisen mit Buchstaben umgesetzt. Informationen die während einer Interaktion verarbeitet werden, können aus direkt vorangegangenen Interaktionsschleifen oder schon aus vorangegangenen Teilprozessen stammen, was durch Pfeile oberhalb der Zeitschiene dargestellt wird. Exemplarisch werden in der Interaktion „Identifikation (16)“ die Informationen zur Busnummer aus dem Buchungsprozess (8) und die Busnummer auf der Anzeige des einfahrenden Busses (10) miteinander verglichen (vgl. Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Informationsflussdiagramm der Teilprozesse Identifikation & Einstiegsvorbereitung

Auf Basis dieser Diagramme gelingt die Bewertung der Komplexität von einzelnen Interaktionen. Als Bewertungskriterien dienen die folgenden drei Hypothesen: Erfahrungswerte mit der vorliegenden Interaktion, Laufzeit/Dauer der Interaktionsschleife und Anzahl parallel laufender Interaktionsschleifen. Trifft mindestens ein Kriterium auf eine Interaktion zu, so wird diese als kritisch angesehen.

### 3.2 Beobachtungsstudie

Ziel der Beobachtungsstudie ist es separat von dem in Kapitel 3.1 beschriebenen analytischen Vorgehen Problemstellungen in dem aktuellen Interaktionsverhalten zwischen Bus und Nutzer zu identifizieren.

Da innerhalb des Projektes RAMONA ein bedarfsgerechtes System für den Transport von bis zu 10 Personen angestrebt wird, wurde als Beobachtungsobjekt ein Kleinbus in vergleichbarer Größe bestimmt. Die Erhebung erfolgte über Strichlisten und die beobachtende Person war an den Geschehen nicht beteiligt (Kochnika, A. 2010). Die Beobachtung wurde von einer Person durchgeführt. Als Beobachtungsobjekte wurden ein Pendelbus am Hauptgebäude der BMW AG und ein Kleinbus der Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG) ausgewählt (jeweils nur circa 12 Sitz- und 18 bzw. 10 Stehplätze). Zwei Haltestellen wurden mit Hilfe selbst gestellter Anforderungen (Übersichtlichkeit, Informationsgehalt, Durchführbarkeit und Unterschiedlichkeit) zur Beobachtung herangezogen (Haltestelle 1: „FIZ“ am BMW Hauptgebäude München, sehr häufige Nutzung, Haltestelle 2: „München Obermenzing“ nahe einer S-Bahn Haltestelle, unterschiedliche Altersgruppen).

Der selbstentwickelte Beobachtungskatalog teilte das Verhalten in fünf Schritte ein: Bewegung zur Bushaltestelle hin, Warteprozess (Unterscheidung: ob die Nutzer mit Zeitpuffer oder kurzfristig an der Haltestelle ankommen), Einsteige-Prozess, Aussteige-Prozess und Bewegung von der Haltestelle weg. Die Beobachtungsstudien fanden vom 28.06. - 11.07.2019 statt, dabei wurden insgesamt 121 Busse und 432 Nutzer beobachtet. Die Datenauswertung erfolgte über deskriptive Statistik mithilfe der Anwendung Microsoft Excel.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse Informationsflussdiagramm

Mit der Analyse der Informationsflüsse lassen sich drei wesentliche kritische Interaktionen identifizieren: Aufsuchen des Abfahrtsortes, Identifikation (des Fahrzeugs) und Registrierung (Nutzer im Fahrzeug).

Das „Aufsuchen des Abfahrtsortes“ wird als kritisch eingestuft, da es im Zusammenhang mit autonomen und bedarfsgerechten Fahrzeugen keine Erfahrungswerte gibt. Durch den Wegfall von Bushaltestellen im bedarfsgerechten ÖPNV kann der Abfahrtsort auch bei gleichen Fahrten variieren. An einer großen Kreuzung z.B. ist der genaue Abfahrtsort nicht immer eindeutig zu identifizieren oder er kann durch parkende Fahrzeuge blockiert werden.

Die Interaktion „Identifikation“ wird als kritisch angesehen, da sich der Nutzer die Informationen aus dem Buchungsprozess evtl. für einen sehr langen Zeitraum merken muss. Hinzu kommt, dass sich die Busnummer (Informationsgehalt) bei wiederholten Fahrten der gleichen Route durch den bedarfsgerechten Betrieb ändern kann.

Ebenfalls wenig Erfahrung gibt es bei der „Registrierung“ des Nutzers am Fahrzeug. Da der bedarfsgerechte und autonome ÖPNV auch von Nutzern mit Zeitkarten (z.B. Monatskarten) genutzt werden kann, werden immer wieder gebuchte Fahrten nicht angetreten. Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt „Reallabor Schorndorf“ zeigen, dass die Anzahl dieser „No-Show“ Fälle bis zu 20% aller Buchungen betragen kann (Brost et al. 2019).

### 4.2 Ergebnisse Beobachtungsstudie

Anhand der Ergebnisse aus der Beobachtungsstudie können unterschiedliche Problemstellungen beim Verhalten rund um den Bus identifiziert werden. Diese können fünf Kategorien von Nutzungsverhalten zugeordnet werden (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Darstellung der Nutzungskategorien mit zugehöriger Problemstellung

Kategorie	Beschreibung (Deskriptive Daten)
Konzentration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzer beim Warteprozess unkonzentriert (65%)</li> <li>- Nutzer abgelenkt beim Einsteigen (42%), beim Aussteigen (38%)</li> </ul>
Aufenthaltort des Nutzer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzer nicht an der Haltestelle (mehr als 2m entfernt) (18%)</li> </ul>
Verhalten der Nutzer beim Überqueren der Straße	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei Bewegung zur Haltestelle (Missachten von Ampelanlagen etc.: 36%)</li> <li>- bei Bewegung von Haltestelle weg (Missachten von Ampelanlagen etc.: 86%)</li> </ul>
Verhalten der Nutzer beim Ein- und Aussteigeprozess	<ul style="list-style-type: none"> <li>- längere Ausstiegszeiten aufgrund zu geringen Platzfreigabe für aussteigende Passagiere durch einsteigende Personen (Fahrgastwechsel) (18%)</li> </ul>
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfung der Busnummer durch Nachfrage bei kurzfristigen Eintreffen (48%), bei frühzeitigen Eintreffen (6%)</li> <li>- Sonstige Kommunikation (verbal und non-verbal) mit Busfahrer beim Einstieg (36%), beim Ausstieg (31%)</li> </ul>

Anhand der identifizierten Problemstellungen können die Thesen aus Kapitel 4.1 zur kritischen Interaktion sowohl für das Aufsuchen des Abfahrtsorts als auch die Identifikation des Busses bestätigt werden. Da es sich bei dem Beobachtungsobjekt um keinen bedarfsgerechten Bus handelt, kann die Problemstellung der Identifizierung nicht aus der Beobachtungstudie verifiziert werden.

## 5. Diskussion und Fazit

Die Anwendung einer generischen (Informationsflussdiagramm) und einer explorativen (Beobachtungsstudie) Methode führen bei den kritischen Interaktionen zu zwei gemeinsamen Schnittmengen: der Identifikation des richtigen Busses und das Aufsuchen des Abfahrtsortes. Somit bestätigt die explorative Untersuchung in diesem Fall das Gelingen der Identifikation von kritischen Interaktionen auf Basis des Informationsflussdiagramms mithilfe der Bewertungskriterien.

Dargestellte Methoden stellen gewisse Limitationen dar, so werden die Überlegungen zum Informationsfluss insbesondere basierend auf analytischen und theoretischen Hintergrund aufgebaut. Auch bei der Beobachtungsstudie ist als limitierender Faktor zu nennen, dass die abgeleiteten Problemstellungen eine Extrapolation sind, mit welchen Herausforderungen bedarfsgerechte, autonome Busse konfrontiert werden können. Die Erhebung der Daten in der Beobachtungsstudie erfolgt über eine einzelne Beobachterin und Strichprotokolle, sodass auch die Genauigkeit der Werte eingeschränkt ist.

Dennoch erscheint es den Autoren, dass die Kombination aus bedarfsgerechtem Betrieb und autonomen Fahrzeugen die Interaktion zwischen Nutzer und ÖPNV-System nachhaltig verändern. Es kann sowohl durch theoretische als auch explorative Analysen festgestellt werden, dass sich Nutzer bei öffentlichen Verkehrsmitteln mit Fragen beschäftigen wie "Ist das wirklich mein Bus?" oder "Wo befindet sich mein Bus?" (vgl. Kapitel 2 und Kapitel 3). Solche Fragestellungen können begründen, warum eine der Routineaufgaben eines Busfahrers darin besteht, mit Fahrgästen zu kommunizieren und sie zu unterstützen (Salmon et al. 2011). Wenn jedoch kein menschlicher Fahrer verfügbar ist, werden diese Anforderungen an die Fahrgastkommunikation

nicht erfüllt. Auf diese Weise entstehen durch höhere Automatisierungsgrade Anfragen an das Fahrzeug, die nicht direkt an eine Person vor Ort weitergeleitet werden können. Um die Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen zu gewährleisten, ist es daher erforderlich, neue Konzepte für Fahrgäste so zu definieren, dass sie den Fähigkeiten, Erwartungen und Bedürfnissen der Benutzer entsprechen (Wolf, I. 2015). Im Rahmen des BMVI-Projektes RAMONA werden basierend auf den dargestellten Analysen mithilfe einer Fußgängersimulationsstudie unterschiedliche Konzepte zur Identifikation eines bedarfsgerechten Busses miteinander verglichen und evaluiert. Weiterhin wird empfohlen ebenfalls Lösungsvorschläge für das Auffinden des Abfahrortes und der Registrierung zu entwickeln und anhand von Probandenstudien zu bewerten.

## 6. Literatur

- Aceves-González, C., May, A., & Cook, S. (2016). An observational comparison of the older and younger bus passenger experience in a developing world city. *Ergonomics*, 59(6), 840–850.
- Brost, M.; Gebhardt, L.; Karnahl, K.; Deißer, O.; Steiner, T.; Ademeit, A.; Brandies, A.; Sippel, T.; Vellimsky, J.; Müller, A.; Ulmer, F. (2019): Reallabor Schorndorf - Entwicklung und Erprobung eines bedarfsgerechten Bussystems. Projektbericht.
- Kochinka, A. (2010). Beobachtung. In G. Mey & K. Mruck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 449–461). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Löcken, A., Wintersberger, P., Frison, A.-K., & Riener, A. Investigating User Requirements for Communication Between Automated Vehicles and Vulnerable Road Users. In 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Paris, France.
- Merat, N., Louw, T., Madigan, R., Wilbrink, M., & Schieben, A. (2018). What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space? *Accident; Analysis and Prevention*, 118, 244–252.
- Nordhoff, S., Winter, J. de, Madigan, R., Merat, N., van Arem, B., & Happee, R. (2018). User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg: A questionnaire study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 58, 843–854.
- Ohmori, N., Hirano, T., Harata, N. & Ohta, K. (2004). Passengers' waiting behavior at bus stops. *Traffic and Transportation Studies: Proceedings of ICTTS*.
- Rasouli, A., & Tsotsos, J. K. (2019). Autonomous Vehicles That Interact With Pedestrians: A Survey of Theory and Practice. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–19.
- Rothenbucher, D., Li, J., Sirkin, D., Mok, B., & Ju, W. Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. In 2016 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), New York, NY, USA.
- Salmon, P. M., Young, K. L., & Regan, M. A. (2011). Distraction 'on the buses': a novel framework of ergonomics methods for identifying sources and effects of bus driver distraction. *Applied Ergonomics*, 42(4), 602–610.
- Schmid, M.; Maier, T. (2017) *Technisches Interface Design Anforderungen, Bewertung und Gestaltung*, Springer Vieweg
- Stanciu, S. C., Eby, D. W., Molnar, L. J., St. Louis, R. M., Zanier, N., & Kostyniuk, L. P. (2018). Pedestrians/Bicyclists and Autonomous Vehicles: How Will They Communicate? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(22), 58–66.
- Wolf, I. (2015). Wechselwirkung Mensch und autonomer Agent. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Eds.), *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (pp. 103–125). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

**Danksagung:** Die Autoren bedanken sich im Namen des Projektkonsortiums RAMONA (SenUVK, BVG, VDV, DLR, TUM, Hochschule Esslingen) für die Projektförderung durch das BMVI.



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](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)