

## **Beanspruchungsmessmethoden für fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt**

Andreas MÜLLER

*Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt*

**Kurzfassung:** Durch den Wandel der klassischen manuellen Fahrt hin zur hochautomatisierten Fahrt, bei welcher der Fahrer in gewissen Situationen die Fahrzeugführung und Systemüberwachung an das automatisierte Fahrsystem (SAE Level 3) übergeben kann, ergibt sich für den Fahrer frei verfügbare Zeit. In dieser neu gewonnenen Zeit können fahrfremde Tätigkeiten (fft) ausgeführt werden. Bei hochautomatisierter Fahrt kann es jedoch dazu kommen, dass der Nutzer die Fahraufgabe nach entsprechender Aufforderung des Fahrsystems wieder übernehmen muss. Die Auswirkungen unterschiedlicher fft sind daher wichtige Determinanten für die Verkehrssicherheit bei einer hochautomatisierten Fahrt. Eine Bewertung natürlicher fft hinsichtlich der Beanspruchung wurde bisher noch nicht erforscht. Die Literatur beschäftigt sich bereits mit der mentalen Beanspruchung von Kraftfahrzeugfahrern. Folglich existieren Messmethoden, mit denen versucht wird, die mentale Beanspruchung von Fahrern während der Ausführung verschiedener fft bei der manuellen Fahrt zu quantifizieren. Bislang wurde der Einfluss natürlicher fft auf die Beanspruchung hauptsächlich als sekundäre Tätigkeit gemessen. In Zukunft werden diese fft nicht mehr nur eine Nebentätigkeit darstellen, sondern nehmen die volle Aufmerksamkeit des Fahrers ein und müssen daher unter anderen Gesichtspunkten erforscht werden. Die in Müller & Abendroth (2018) identifizierten und für die hochautomatisierte Fahrt relevanten fft (Lesen, Hören, Texting) wurden dafür in einer Pilotprobandenstudie mittels subjektiver, psychophysiologischer und leistungsbasierter Messansätze beurteilt und kritisch diskutiert. Das Ergebnis zeigt, dass kardiovaskuläre Kennwerte der Herzratenvariabilität und Kennwerte des Reaktionstests Detection-Response-Task tendenziell gute Indikatoren für eine mentale Beanspruchungsmessung von fft als Primärtätigkeiten sind.

**Schlüsselwörter:** automatisiertes Fahren, fahrfremde Tätigkeiten, Beanspruchung, Messmethoden

### **1. Einleitung**

Das automatisierte Fahren ist derzeit einer der treibenden Faktoren in der Automobilindustrie. Die technische Entwicklung schreitet fortgehend voran und erste Automatisierungssysteme sind in gewissen Fahrsituationen bereits verfügbar. Dennoch wird es Situationen geben, in denen solche Systeme an ihre Grenzen stoßen und nicht zuverlässig arbeiten können. In diesen Fällen muss der Fahrzeugnutzer die Kontrolle über das Fahrzeug zurück übernehmen. Auch im arbeitswissenschaftlichen

Kontext wurde in den letzten Jahren intensiv an der Thematik geforscht. So wurden fFT im Zusammenhang mit der Übernahmequalität und -zeit untersucht. Dabei wurde die eigentliche Beanspruchung der Tätigkeit auf den Fahrer nur selten beachtet. Welche Methoden zur Beanspruchungsmessung von fFT für den Fahrer im automatisierten Kontext vorhanden sind, wird in diesem Paper vorgestellt, in einer Pilotstudie getestet und abschließend diskutiert. Der hier untersuchte Kontext basiert auf dem hochautomatisierten Fahren (Conditional Automation, L3) nach Definition SAE J3016 (2014). Bei diesem Level kann sich der Fahrer für einen bestimmten Zeitraum vom aktiven Fahren abwenden und sich ganz auf fFT konzentrieren. Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, die in der wissenschaftlichen Literatur gefundenen mentalen Beanspruchungsmessmethoden mittels einer Pilotstudie (n = 5) zu bewerten und geeignete Messansätze für zukünftige Forschungsvorhaben auszuwählen.

## 2. Theoretische Grundlagen

Im Folgenden soll zunächst eine Einführung in die wichtigsten Konzepte der Belastungs- und Beanspruchungsforschung sowie ein Überblick über bestehende Methoden zur Erfassung mentaler Beanspruchung gegeben werden. Im Zuge der Definition von Beanspruchung ist eine Differenzierung zum Begriff der Belastung notwendig. Die Belastung (engl. Task Load) beschreibt die objektiven Anforderungen durch die Aufgabe oder die Umgebung, die extern auf den Menschen einwirken. Die Beanspruchung (engl. Work Load) kann von dem Menschen selbst nicht beeinflusst werden. Es existiert eine Vielzahl an Belastungsfaktoren (bspw. Lärm, Beleuchtung, Klima), die durch das Arbeitssystem und die konkrete Arbeitsaufgabe (bspw. Anzahl und Komplexität von Informationen, Darstellungsart, Bedienelemente) auf den Menschen einwirken. Die Beanspruchung beschreibt die Auswirkungen der Belastungsfaktoren auf den individuellen Menschen. Dabei hängt die subjektiv empfundene Beanspruchung von vielen individuell verschiedenen Faktoren (bspw. Konstitution, Erfahrungen, Strategie, Qualifikation, Motivation) ab (DeWaard 1996).

Die Erfassung der gesamten Beanspruchung einer Person bei der Ausführung einer Tätigkeit setzt sich aus mentalen, emotionalen und physischen Beanspruchungselementen zusammen. Nach Ribback (2003) wird die emotionale Beanspruchung im Gegensatz zur mentalen Beanspruchung von ausführungsspezifischen Faktoren wie Zeitdruck, Lärm oder sozialen Konflikten in Kombination mit Gefühlen wie Angst hervorgerufen. Mentale Beanspruchungen sind kognitive Reaktionen des menschlichen Informationsverarbeitungssystems auf äußere Belastungen, welche durch aufgabenspezifische Belastungsfaktoren wie Schwierigkeit und Komplexität bestimmt werden. Unter der physischen Beanspruchung werden alle Tätigkeiten zusammengefasst, die mit körperlicher Beanspruchung zusammenhängen. Zur Erfassung der Beanspruchungsfolgen werden die von Schlick et al. (2018) beschriebenen drei Messansätze (1) „psychophysiologische“, (2) „leistungsbezogene“ und (3) „subjektive“ Maße für die Untersuchung herangezogen.

Die psychophysiologischen Maße beschreiben dabei die Beziehung zwischen psychologischen Vorgängen und deren zugrunde liegenden körperlichen Funktionen (Sanders 1983). Diese Reaktionen des Körpers, wie beispielsweise Pupillen- oder Herzschlagratenveränderungen, werden durch das periphere Nervensystem autonom und damit unterbewusst aktiviert. Das periphere Nervensystem aktiviert messbare physiologische Reaktionen des Körpers sobald kognitive Prozesse in Kraft

gesetzt werden. Die mentale Beanspruchung kann mit physiologischen Messinstrumenten aufgezeichnet und anschließend bewertet werden. Die Messungen können kontinuierlich und parallel zur Aufgabenausführung gemessen werden, ohne dass die Person ihre Tätigkeit unterbrechen muss. Die Schwierigkeit in der Interpretation der Herzfrequenz ist, dass sie nicht nur durch mentale oder körperliche Anstrengung beeinflusst wird, sondern auch durch emotionale Faktoren (Hering 1999). Die mentale Beanspruchung kann außerdem nach Kahneman (1973), Tsai et al. (2007) und Čegovnik et al. (2018) über menschliche Augenaktivitäten, wie beispielsweise die Pupillendurchmesservariabilität, gemessen werden. Diese vergrößert sich mit der Erhöhung der Anforderungen. Die Lidschlagrate bildet die Anzahl der Lidschlässe in einem Zeitintervall ab und steigt mit der Aufgabenanforderung an.

*Leistungsmaße* können die Leistung der ausgeführten Hauptaufgabe bestimmen, die die menschliche Beanspruchung quantifizierbar macht. Bei der Verwendung von Leistungsmaßen ist zu beachten, dass die Beanspruchung, welche für die Aufgabenbearbeitung verwendet wird, individuell von Mensch zu Mensch unterschiedlich ist. Daher werden Sekundäraufgaben eingeführt, die nach dem „Subsidiary Task“ Paradigma Rückschlüsse auf die Beanspruchung einer Hauptaufgabe ermöglichen. Die Messgrößen einer Sekundäraufgabe, wie unter anderem die Fehlerhäufigkeit oder die Reaktionszeiten, sollten kontinuierlich messbar sein. Ein Anstieg dieser Messwerte spricht für eine höhere Beanspruchung der Hauptaufgabe.

Das *subjektive Maß* basiert auf der Annahme, dass die Befragten ihre mentale Beanspruchung am besten selbst bewerten können (Schwalm 2009). Die Beanspruchungsmessung erfolgt mittels Fragebogen, mit dem die erfahrene Beanspruchung subjektiv abgefragt wird. Problematisch ist jedoch die Notwendigkeit für die Messung den Aufgabenablauf unterbrechen zu müssen.

Fahrfremde Tätigkeiten sind Aktivitäten, die mit der eigentlichen Fahraufgabe nicht einhergehen und können in der Forschung in standardisierte und natürliche Tätigkeiten unterteilt werden. Bisher wurden fFT vorwiegend in Kombination mit der Fahrzeugübernahme getestet. Zudem kamen meist nur standardisierte fFT zum Einsatz, um näherungsweise natürliche fFT zu imitieren. Da diese experimentellen Tätigkeiten nicht realitätsnahe Aufgaben sind, werden für die Studie natürliche Tätigkeiten für die Untersuchung herangezogen. Eine Auflistung relevanter fFT wurde in Müller & Abendroth (2018) erhoben.

### 3. Methodik

Die Pilotprobandenstudie wurde am statischen Fahrsimulator am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt durchgeführt. Das Probandenkollektiv setzte sich aus fünf Personen (drei davon weiblich) im Alter von 22-30 Jahren zusammen. Für die Simulationsumgebung wurden Silab (WIVW) und ein eigenständig entwickelter Automationsregler nach SAE L3 benutzt. Vor der automatisierten Fahrt fand im Stillstand auf der simulierten Autobahnstrecke eine Referenz-Ruhemessung der psychophysiologischen Werte statt. Bei ausgeschalteter Simulation wurden Referenzmessungen des DRT durchgeführt. Um sicherzustellen, dass die Versuchspersonen sich auch tatsächlich mit der fFT beschäftigt haben, wurden im Anschluss zu den Versuchsfahrten Fragen zum jeweiligen Inhalt der fFT als Kontrollmaß gestellt. Die Untersuchten fFT sowie eine Referenzfahrt nach SAE L0 wurden in permutierter Reihenfolge durchgeführt. Nach der Definition des Automationsgrads 3, kann sich

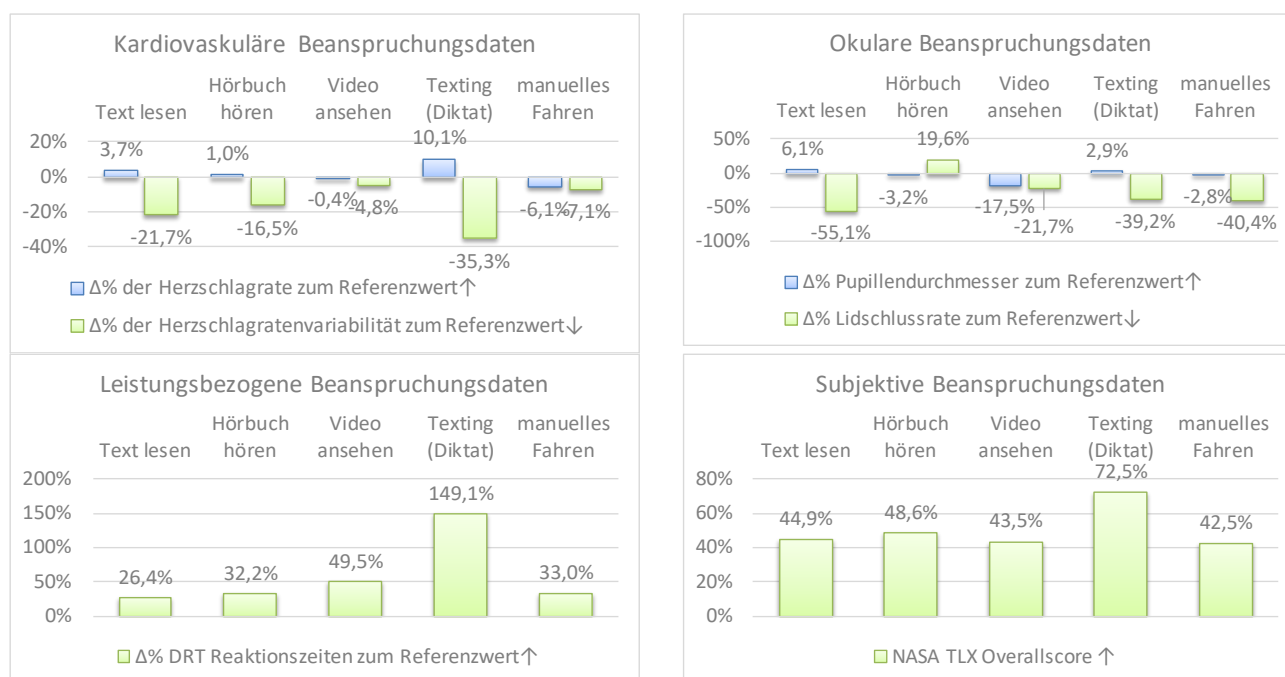
der Fahrer von der eigentlichen Fahraufgabe (Fahrzeugführung und Umgebungsüberwachung) abwenden. Der Fahrer dient dennoch als Rückfallebene, sollte das System an seine Funktionsgrenzen stoßen. Bei den durchgeführten Versuchen kam es jedoch zu keiner Rückübernahmeaufforderung. Zur Beanspruchungsmessung der psychophysiologischen Maße wird ein Elektrokardiogramm (Herzschlagrate und Herzfrequenzvariabilität) eingesetzt. Die Datenanalyse wurde mittels der Software „Kubios“ durchgeführt. Des Weiteren wurde ein Blickbeobachtungssystem von SMI für die Erfassung des Pupillendurchmessers und der Lidschlussrate verwendet. Für die leistungsbasierten Daten (Reaktionszeiten einer Zweitaufgabe) wurde ein Detection Response Task (DRT) nach ISO Norm 17488 entwickelt und eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine Reaktionszeitaufgabe, welche neben der Hauptaufgabe (in diesem Fall die Ausführung einer fFT) durchgeführt wird. Der Proband muss auf einen zeitlich willkürlich auftretenden visuellen Reiz mit einem an seinem Zeigefinger angebrachten Taster reagieren. Für das subjektive Maß zur Bewertung der mentalen Belastung wird der NASA-TLX Fragebogen von Hart und Staveland (1988) verwendet. Die zu untersuchenden natürlichen und relevanten fFT sowie deren Ausführung sind in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Auswahl der verwendeten natürlichen fFT und deren Beschreibung in aufsteigender Komplexität.

Auswahl der fFT	Art der Durchführung im Fahrsimulator
Hörbuch hören	Audiodatei wird ferngesteuert über die eingebauten Lautsprecher im Fahrzeug abgespielt
Text lesen	Ausgedruckter Text wird dem Probanden vorgelegt
Video ansehen	Videodatei wird auf einem Tablet im Auto abgespielt
Texting (Diktat)	Die Audiodatei wird über die eingebauten Lautsprecher im Auto abgespielt und der Proband muss den Text auf einem Tablet abtippen

#### 4. Ergebnisse

Gemäß der Literatur wird erwartet, dass sich die Herzfrequenz bei steigender Aufgabenschwierigkeit erhöht. Es zeigte sich, dass sich das „Texting“ in Form eines Diktats besonders beanspruchend auswirkt, siehe Abbildung 1 oben links. Eine zum Referenzwert sinkende HRV entspricht gemäß der Literatur (Mulder & van der Mulder-Hajonides 1973) einer steigenden mentalen Beanspruchung. Die größte negative Veränderung der Messwerte konnte ebenfalls beim „Texting“ festgestellt wurde. Des Weiteren ist in der Abbildung zu erkennen, dass die unterschiedlichen Beanspruchungsveränderungen der HR mit der HRV korrelieren. Bei den okularen Beanspruchungsgrößen ist ein steigender Pupillendurchmesser ein Indiz für eine steigende visuelle Beanspruchung (Beatty 1982). Die größte positive Veränderung im Vergleich zum Ruhewert erreichte die Tätigkeit „Text lesen“ (+6,1%). Beim „Texting“ wurde ein durchschnittlicher Anstieg von 2,9% festgestellt. Bei den Tätigkeiten „Hörbuch hören“ (-3,2%), „Video ansehen“ (-17,5%) und „manuelles Fahren“ (-2,8%) kam es jeweils zu einer Verringerung des Pupillendurchmessers. Die größte positive Änderung der Lidschlussrate konnte während des Versuchs „Hörbuch hören“ (+19,6%) festgestellt werden. Im Gegensatz dazu fielen die Lidschlussraten bei allen anderen fFT deutlich unter den Referenzwert (Text lesen, manuelles Fahren, Texting sowie Video ansehen).



**Abbildung 1:** Ergebnisse der psychophysiologischen Beanspruchungsmessungen (oben), der leistungsbezogenen Beanspruchungsmessung (unten links) und der subjektiven Daten (unten rechts) n= 5. Pfeile in der Legende geben die positiven ↑ oder negativen ↓ Korrelationen zur Beanspruchung an.

Die leistungsbezogenen Reaktionszeiten der DRT Zweitaufgabe in Abhängigkeit von unterschiedlichen Tätigkeiten sind Abbildung 1 unten links abgebildet. Hier gilt die Annahme, dass je höher die Beanspruchung einer Hauptaufgabe (fahrfremde Tätigkeit) ist, desto länger sind die Reaktionszeiten der konkurrierenden Zweitaufgabe (DRT). Die größte Veränderung kann bei der Aufgabe „Texting“ (+149%) beobachtet werden. Die Tätigkeit „Video ansehen“ hat eine zwölf Prozentpunkte höhere Beanspruchung als die Tätigkeiten „manuelles Fahren“ oder „Hörbuch hören“. „Text lesen“ ist nach dieser Messmethode mit 26% Anstieg zum Referenzwert die Tätigkeit mit der geringsten Beanspruchung. Gemäß der Annahme, dass der NASA-TLX-Kennwert mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit steigt, ist die subjektiv empfundene Gesamtbeanspruchung in Abbildung 1 unten rechts dargestellt. Auch hier zeigt sich ein deutlicher Anstieg des Kennwerts bei der Tätigkeit „Texting“. Die anderen Tätigkeiten unterschieden sich von der Bewertung nicht stark voneinander.

## 5. Diskussion

In einer Pilotstudie wurde der trianguläre Ansatz zur Beanspruchungsmessung für fFT bei hochautomatisierter Fahrt durchgeführt. Erhöhte HR und sinkende HRV-Werte bei steigendem Beanspruchungsniveau können tendenziell aus den Ergebnissen erkannt werden und sollten in weiteren Untersuchungen genutzt werden. Beim Pupillendurchmesser kam es bei der Tätigkeit „Video ansehen“ zu einer widersprüchlichen Reduktion des Kennwerts im Vergleich zum Referenzwert. Dies wird durch die erhöhte Helligkeit des Displays, auf dem das Video abgespielt wurde, erklärt. Daraus folgt, dass die Veränderung im Durchmesser der Pupille nicht nur die auftretenden mentalen Beanspruchungen widerspiegelt, sondern auch die Veränderungen in der

Helligkeit (Pomplun et al. 2009). Auch die Lidschlussrate konnte keine mentale Beanspruchung vorhersagen. Wie bei dem Pupillendurchmesser existieren hier einige Einflussfaktoren (Luftqualität oder Allergien) die das Messergebnis beeinflusst haben könnten. Bei der leistungsbezogenen Nebenaufgabe in Form eines DRT konnte eine Erhöhung der Reaktionszeit der Zweitaufgabe mit erhöhter Aufgabenschwierigkeit festgestellt werden. Daher wird eine Empfehlung als Erfassungsmethode ausgesprochen. Beim „Texting“ waren die Probanden subjektiv am stärksten beansprucht. Dies wird durch den deutlichen Anstieg des NASA-TLX-Kennwerts im Vergleich zu den anderen Tätigkeiten bestätigt. Die vorliegende Studie zeigt, dass die eingesetzten Messmethoden in sich nicht widerspruchsfrei sind, da sich die aus der Literatur postulierten Annahmen zur Beanspruchungsbewertung je nach Messmethode in der Pilotstudie unterscheiden. So weisen die Ergebnisse unterschiedliche Beanspruchungsniveaus der getesteten fT je nach Messmethode auf. Das „Texting“ erwies sich bei den kardiovaskulären, leistungsbezogenen und subjektiven Werten als die am meisten beanspruchende Tätigkeit.

## 6. Literatur

- Beatty J (1982) Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin*, 91 (2), 276-292.
- Čegovnik T, Stojmenova K, Jakus G, Sodnik J. (2018) An analysis of the suitability of a low-cost eye tracker for assessing the cognitive load of drivers. *Applied ergonomics*, 68, 1-11.
- DeWaard D. (1996) The measurement of drivers' mental workload. Dissertation. Groningen.
- Hart SG, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index). *Results of Empirical and Theoretical Research*, 139-183.
- Hering K. (1999) Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr. Dissertation. Köln.
- Kahneman D (1973) Attention and effort. The Hebrew University of Jerusalem.
- Mulder G, Mulder-Hajonides W-R (1973) Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics*, 16 (1), 69-83.
- Müller A, Abendroth B (2018) Systematisierungsentwurf für fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt. In TEAP - 60th Conference of Experimental, 179.
- Ribback S. (2003) Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen. Dissertation, Universität Potsdam.
- Rohmert W (1983) Formen menschlicher Arbeit. In: W. Rohmert und J. Rutenfranz (Hg.): *Praktische Arbeitsphysiologie*. Stuttgart New York: Georg Thieme (3), S. 5–29.
- SAE J3016 (2014) Automated Driving. Levels of driving automation are defined in new SAE International Standard J3016.
- Sanders AF (1983) Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53 (1), 61-97.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft.
- Schwalm M (2009) Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext. Dissertation, Universität Saarlandes.
- Pomplun M, Sunkara S; Fairley, Alexander V, Xiao M (2009) Using pupil size as a measure of cognitive workload in video-based eye-tracking studies.
- Tsai W-C, Chen C-C, Liu H-L (2007) Test of a model linking employee positive moods and task performance. *The Journal of applied psychology*, 92 (6), 1570-1583.

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Maximilian Gamperl für die konstruktive Zusammenarbeit. Der Autor wird durch das Projekt @city des BMWi gefördert. Der Autor bedankt sich für die gute Kooperation und die Förderung durch das BMWi.



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