

Vergleich von virtuellen Interaktionssystemen mit einer realen Situation

Gerhard RINKENAUER¹, Thorsten PLEWAN¹, Daniel BACHMANN²,
Frank WEICHERT²

¹ *Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

² *Informatik VII, TU Dortmund, Otto-Hahn-Straße 16, D-44227 Dortmund*

Kurzfassung: Lern- und Trainingskonzepte in virtuellen Umgebungen (VR) erfordern zunehmend die motorische Leistungsfähigkeit realer Umgebungen. In der vorliegenden Studie wurden zwei aktuelle VR-Interaktionssysteme bezüglich der erreichbaren Nutzerleistungsfähigkeit mithilfe des Fitts'schen Paradigmas untersucht. Eine Besonderheit beider Interaktionssysteme ist, dass die Hände mit hoher Funktionalität in der VR-Umgebung abgebildet werden können. Als Kontrollbedingung diente die Interaktion mit einem Touchscreen. Die Leistungsfähigkeit der VR-Interaktionssysteme ist nahezu identisch jedoch im Vergleich zum Touchscreen deutlich niedriger. Gründe für diese Unterschiede könnten systembedingte Ungenauigkeiten sowie fehlendes haptisches Feedback bei den VR-Systemen sein.

Schlüsselwörter: VR-Interaktionssysteme, virtuelle Hände, Mensch-Computer-Interaktion, Fitts'sches Paradigma

1. Einleitung

Virtuelle Lernumgebungen sind in der Regel realen Umgebungen stark nachempfunden, um eine hohe Übertragbarkeit der Lerninhalte auf reale Situationen gewährleisten zu können. Entsprechend werden auch Interaktionssysteme benötigt, welche die Bewegungen und Handlungen des Benutzers in Echtzeit erfassen und in der Virtuellen Realität (VR) darstellen können (für eine Übersicht siehe Bachmann, Weichert & Rinkenauer, 2018). Um hierbei eine möglichst natürliche Interaktion zu erreichen, wird versucht, Hände und Finger des Benutzers mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen. In der Vergangenheit wurde dies fast ausschließlich durch Datenhandschuhe realisiert (z. B. Jerald, 2016, S. 311ff). Moderne Interaktionssysteme versuchen die Nachteile von Datenhandschuhen (z. B. schlechte Datenqualität durch Verrutschen, hygienische Probleme, hoher Preis) zu vermeiden. Aktuell scheinen sich zwei Technologien durchzusetzen, sogenannte „Tracked-Handheld-Controller“ und „Bare-Hand-Systeme“. Tracked-Handheld-Controller sind aufgrund ihrer natürlichen, direkten Zuordnung zur Handbewegung für viele 3D-Aufgaben einfach zu bedienen. Die in der Hand gehaltenen Controller werden im Raum verfolgt und können visuell als Handmodelle mit eingeschränkter Funktionalität in der VR-Umgebung präsentiert werden. „Bare-Hand-Systeme“ hingegen arbeiten über Tiefensensoren, welche auf die Hände gerichtet sind, so dass die Hände völlig unbelastet mit der virtuellen Umgebung interagieren können. Je nach zeitlicher und räumlicher Auflösung des Tiefensensors werden Hände und Finger mit einer hohen Funktionalität und einem intensiven Gefühl der Präsenz im virtuellen Raum dargestellt.

Lern- und Trainingskonzepte in virtuellen Umgebungen sind eine wichtige Komponente von Industrie 4.0. und erfordern zunehmend Handlungen, die den Geschwindigkeits- und Genauigkeitsanforderungen realer Umgebungen entsprechen (z. B. Kretschmer & Terharen, 2018). Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher die Nutzerleistungsfähigkeit für die beiden oben genannten Technologien von VR-Interaktionssystemen mit einer realen Situation an einem Touchscreen zu vergleichen.

2. Methode

Insgesamt 12 Probanden (alle rechtshändig, 8 weiblich) in einem mittleren Alter von 23.9 Jahren (SD = 4.9 Jahre) nahmen an einer etwa 90 minütigen Untersuchung teil, die mit 15 € vergütet wurde. Für den Vergleich der Leistungsfähigkeit der Interaktionssysteme wurde in dieser Untersuchung ein Zielbewegungsparadigma verwendet. Als theoretischer Rahmen für die angewandte Fragestellung diente das Fitts'sche Gesetz. Die formale Darstellung des Gesetzes bietet unterschiedliche Indikatoren, die den systematischen Vergleich zwischen verschiedenen Interaktionssystemen erlauben (z. B. MacKenzie, 1992).

2.1 Fitts'sches Gesetz

Das Fitts'sche Gesetz basiert auf informationstheoretischen Überlegungen (Fitts, 1954) und beschreibt den Zusammenhang zwischen Bewegungszeit, Distanz und Weite einfacher Zielbewegungen. Danach ist die Bewegungszeit (MT : Movement Time) eine lineare Funktion des logarithmierten Verhältnisses von Distanz (D) und Weite (W) des Ziels. Dieses Verhältnis wird auch als Schwierigkeitsindex (ID : Index of Difficulty) bezeichnet. Für die vorliegenden Analysen wurde zur Vorhersage der Bewegungszeit die etablierte Definition des ID von Shannon (vgl. MacKenzie, 1992) genutzt. Die Bewegungszeit (MT) ergibt sich entsprechend mit:

$$MT = a + b \times ID = a + b \times \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right). \quad (1)$$

Der Kehrwert der Steigung $1/b$ entspricht nach dem Vorschlag von Fitts dem Informationsdurchsatz (TP : Throughput in *Bits / s* bzw. *bps*) der als Leistungsindex für Zielbewegungen verwendet werden kann. Dieser Vorschlag wurde jedoch häufig kritisiert, da die Verwendung des Kehrwerts des Achsenabschnitts nur dann Sinn macht wenn der Achsenabschnitt $a = 0$ ist (Zhai, 2004). Daher wird in dieser Studie der TP , über das Verhältnis von effektivem Schwierigkeitsindex ID_e und der Bewegungszeit MT bestimmt (vgl. Soukoreff & MacKenzie, 2004). Bei der Verwendung von ID_e wird nicht die vorgegebene fixe Zielweite, sondern die Variabilität um den Bewegungsendpunkt berücksichtigt und der TP berechnet sich durch:

$$TP = \frac{ID_e}{MT}. \quad (2)$$

Aufgrund der oben erwähnten Probleme mit dem von Fitts vorgeschlagenen Regressionsansatz wird in der aktuellen Studie ein varianzanalytischer Ansatz verwendet (vergl. Rinkenauer et al., 2015). Dieser Ansatz erlaubt es Unterschiede zwischen den Interaktionssystemen auf den einzelnen Schwierigkeitsstufen zu beurteilen, was bei einer Regressionsanalyse nicht möglich ist.

2.2 Versuchsaufbau und Versuchsablauf

Für die VR-Interaktionsbedingungen wurden der Leap-Motion-Controller (LMC) und der Oculus-Touch-Controller (OTC) getestet – als Kontrollbedingung diente ein klassischer Touchscreen. Der LMC verwendet ein berührungsloses Positionsverfolgungssystem (Tiefensensor), das erlaubt, die Finger und Handflächen beider Hände zu erkennen und mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu verfolgen. Entsprechend können die Hände des Nutzers in der virtuellen Realität als natürlich erscheinende Handmodelle mit nahezu voller Fingerbeweglichkeit abgebildet werden. Der OTC ist ein tragbarer 3D-Controller mit mehreren Bedienelementen und einer im Vergleich zum LMC eingeschränkten Fingererkennung. Der OCT besteht aus einem ergonomisch geformten Griff und mehreren Bedienelementen. Auch er erlaubt Handmodelle in der virtuellen Realität abzubilden. Im Vergleich zum LMC lassen sich zwar Daumen und Zeigefinger unabhängig voneinander bewegen, jedoch können Mittel-, Ring- und kleiner Finger nur gemeinsam bewegt werden.

Die Bewegungsaufgaben wurden im Stehen durchgeführt. Sowohl in der Touchscreen- als auch in den VR-Interaktionsbedingungen betrug die Distanz zwischen Proband und Zielfläche ca. 70 cm. Alle drei Systeme wurden so adjustiert, dass die physikalischen Bewegungsanforderungen (Zielweiten und -größen) identisch waren. Um mit der Controllern und der VR-Umgebung vertraut zu werden, wurden die Probanden gebeten mit beiden Interaktionssystemen virtuelle Objekte (Würfel) auf einem Tisch zu manipulieren. Sobald die Probanden den Versuchsleiter informierten, dass sie mit dem jeweiligen Controller vertraut waren, wurde die entsprechende Experimentalbedingung gestartet. Es wurden fünf Schwierigkeitsbedingungen verwendet. Die entsprechenden Schwierigkeitsgrade (1.6, 2.3, 3.2, 4.1, 5.1 bit) ergaben sich aus fünf unterschiedlichen Kombinationen von Zieldistanz und -weite (80 vs. 40 mm, 160 vs. 40 mm, 160 vs. 20 mm, 240 vs. 15 mm und 240 vs. 7.5 mm). Für jede Schwierigkeitsbedingung wurde eine Abfolge von 9 Zielbewegungen durchgeführt. Aus jeder Abfolge wurden die Fehlerrate, die mittlere Bewegungszeit und der mittlere Informationsdurchsatz berechnet. Die Experimentalsitzung bestand aus drei Teilen in denen jeweils ein Interaktionssystem getestet wurde. Die Abfolge der Interaktionssysteme wurde über die Probanden hinweg randomisiert. Mit jedem System wurden 3 Testblöcke absolviert in denen die 5 Schwierigkeitsbedingungen jeweils 12 mal wiederholt wurden. Nach jedem Block wurden die Probanden gebeten ihre wahrgenommene Müdigkeit, Motivation und Leistung jeweils auf einer Skala von 1 bis 9 einschätzen.

2.3 Design und Analyse

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Nutzern mit dem LMC wurden eine Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Faktoren *Interaktionssystem* (LMC, OTC, und Touchscreen) und *Schwierigkeit* ($ID \in \{1.6, 2.3, 3.2, 4.1, 5.1\}$) durchgeführt. Abhängige Variablen waren Fehlerrate, Bewegungszeit und Informationsdurchsatz. Eine weitere Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde für die Beurteilung von Müdigkeit, Motivation und Leistung mit dem Faktor *Interaktionssystem* (LMC, OTC, und Touchscreen) durchgeführt. Für post-hoc-Vergleiche wurden Fishers LSD-Test (Least Significant Differences) verwendet.

3. Ergebnisse

Allgemein steigen die Fehlerraten mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad an, $F(4,44)=107.6, p<.001$ und für die VR-Controller sind diese höher als für den Touchscreen, $F(2,22)=20.8, p<.001$. Wie aus Abbildung 1A deutlich wird, steigen die Fehlerraten bei Nutzung der VR-Controller schon nach der zweiten Schwierigkeitsstufe steil an, wohingegen beim Touchscreen ein signifikanter Anstieg erst ab der vorletzten Schwierigkeitsstufe zu sehen ist, $F(8,88)=9.4, p<.001$. Eine separate Varianzanalyse für die beiden VR-Interaktionssysteme und die dritte und vierte Schwierigkeitsstufe zeigt darüber hinaus, dass sich die Fehlerraten für den LMC und OTC in diesem Bereich signifikant unterscheiden, $F(1,11)=8.2, p<.05$.

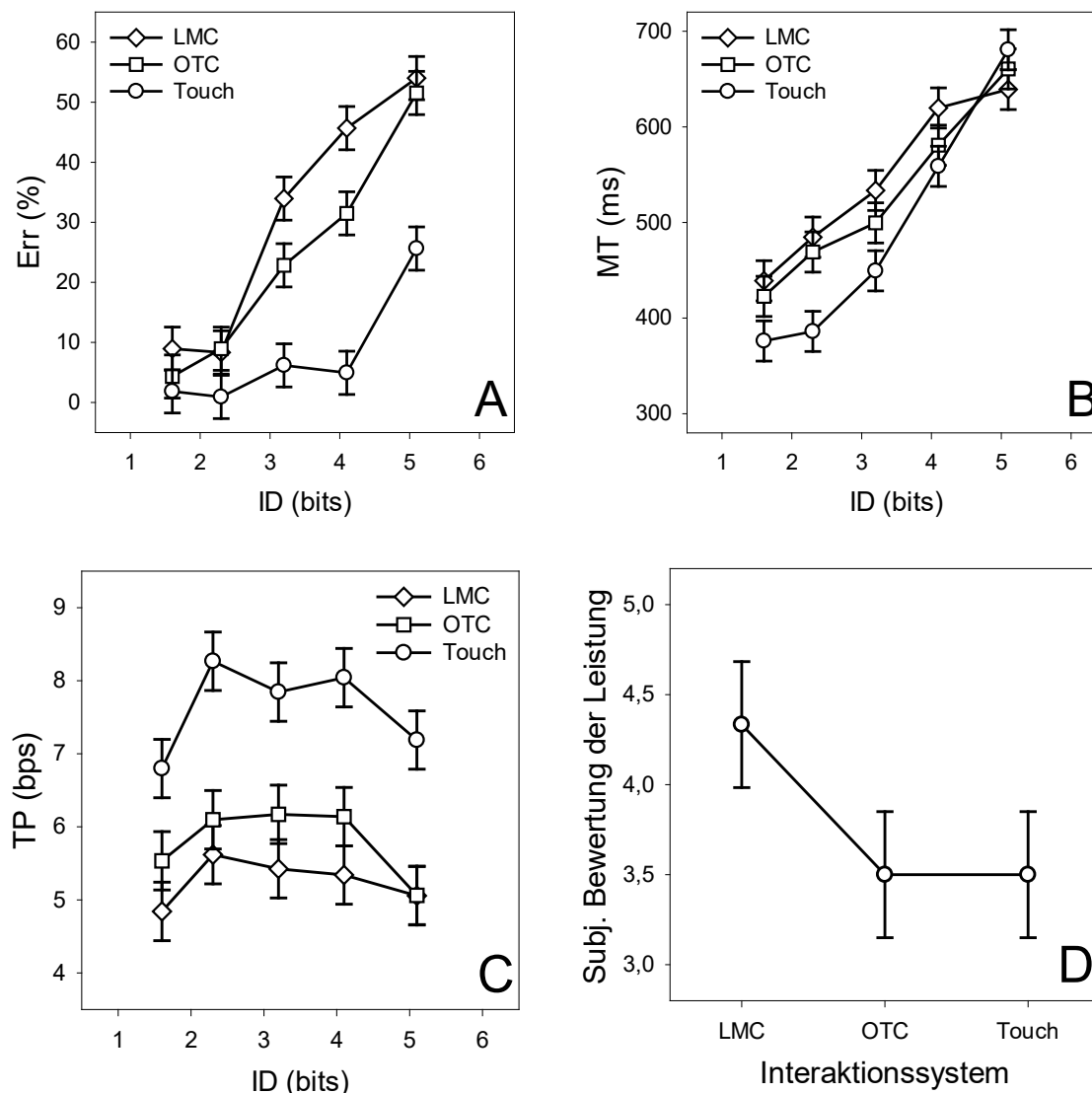


Abbildung 1: (A): Fehlerrate (Error) in Abhängigkeit von Schwierigkeitsindex (ID) und Interaktionssystemen (LMC, OTC, Touchscreen). (B): Bewegungszeit (MT) in Abhängigkeit von ID und Interaktionssystemen. (C): Informationsdurchsatz (TP) in Abhängigkeit von ID und Interaktionssystemen. (D): Subjektive Bewertung der erbrachten Leistung in Abhängigkeit der Interaktionssysteme. Als Fehlerbalken werden Fisher's Least Significant Differences verwendet.

Entsprechend dem Fitts'schen Gesetz steigt die Bewegungszeit nahezu linear mit dem Schwierigkeitsgrad an, $F(4,44)=112.9$, $p<.001$. Gemittelt über den Schwierigkeitsindex zeigt sich allerdings kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen den VR-Interaktionssystemen und dem Touchscreen, $F(2,22)=2.1$, $p>.1$. Abbildung 1B demonstriert, dass die Bewegungszeiten der ersten drei Schwierigkeitsstufen für den Touchscreen geringer sind als bei den VR-Controllern, sich die Bewegungszeiten der drei Interaktionssysteme für die beiden höchsten Schwierigkeitsstufen aber nicht mehr unterscheiden, $F(8,88)=3.8$, $p<0.01$.

Die Analyse des Informationsdurchsatzes (Abb. 1C) verdeutlicht, dass in der Touchscreen Bedingung deutlich höhere Werte erreicht wurden als mit den beiden VR-Interaktionssystemen, $F(4,44)=11.4$, $p<.001$. Eine separate Varianzanalyse für die beiden VR-Interaktionssysteme zeigt zudem, dass sich deren mittleren Informationsdurchsätze nicht unterscheiden, $F(1,11)=1.0$, $p=.2$. Alle drei Interaktionssysteme zeigen einen Anstieg des Informationsdurchsatzes nach der ersten Schwierigkeitsstufe und einen Abfall vor dem Erreichen der höchsten Schwierigkeitsstufe, $F(2,22)=28.7$, $p<.001$, wobei sich diese Verläufe zwischen den drei Systemen nicht signifikant unterscheiden, $F(8,88)=0.98$, $p>.4$.

Die Analyse der subjektiven Beurteilung der Probanden für jedes Interaktionssystem ergab nur einen statistisch bedeutsamen Unterschied für die wahrgenommene Leistungsfähigkeit (nicht aber für Motivation und Müdigkeit, $p's>.4$). Abbildung 1D demonstriert hierbei, dass die wahrgenommene Leistungsfähigkeit für den LMC am höchsten bewertet wird, $F(2,22)=4.0$, $p<.05$, wohingegen sich kein Unterschied zwischen OTC und Touchscreen zeigt.

4. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde zwei aktuelle Interaktionssysteme für die gestenbasierte Interaktion in VR-Umgebungen mithilfe des Fitts'schen Paradigmas untersucht. Eine Besonderheit beider Interaktionssysteme ist, dass die Hände des Nutzers mit hoher Funktionalität in der VR-Umgebung abgebildet werden können. Zielsetzung der Studie war es, potentielle Leistungsunterschiede im Vergleich zu dem Standardinteraktionssystem Touchscreen aufzudecken. Es zeigt sich, dass die unter kontrollierten Bedingungen getestete Leistungsfähigkeit der Nutzer mit den VR-Interaktionssystemen niedriger ist als mit dem Touchscreen. Die beiden VR-Interaktionssysteme unterschieden sich hingegen nur minimal.

Zusammenfassend manifestieren die Analysen der Fehlerraten und Bewegungszeiten, dass mit dem LMC bei mittleren Schwierigkeitsgraden offenbar weniger genau gearbeitet werden kann (höhere Fehlerraten) als mit dem OTC. In Bezug auf die Bewegungszeiten zeigt sich allerdings, dass die VR-Systeme nur bei eher niedrigen Schwierigkeitsgraden schlechter abschneiden als der Touchscreen. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Nutzers bei der Interaktion mit den unterschiedlichen Systemen reicht jedoch die Analyse der Fehlerrate und Bewegungszeit nicht aus, da hier generell die Möglichkeit eines Geschwindigkeits-Genauigkeitsabgleichs besteht. Das bedeutet, dass beispielsweise eine hohe Fehleranfälligkeit eines Systems bei der Mensch-Computer-Interaktion durch eine niedrige Bewegungszeit kompensiert werden kann.

Der Informationsdurchsatz berücksichtigt den Geschwindigkeits-Genauigkeitsabgleich und ist somit der zentrale Indikator für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit. Hier zeigen Vergleichsanalysen (z. B. Rinkenauer et al., 2015) mit zunehmendem

Schwierigkeitsgrad einen Anstieg im Informationsdurchsatz der jedoch relativ schnell in die Sättigung übergeht. Im Unterschied zu früheren Analysen fällt aber der Informationsdurchsatz zum höchsten Schwierigkeitsgrad hin wieder ab. Diese Befunde legen nahe, dass es für die drei untersuchten Interaktionssysteme einen optimalen Arbeitsbereich gibt, in dem eine nahezu gleichbleibende Leistung erbracht werden kann. Darüber hinaus bestätigen die identischen Verläufe der (objektiven) Nutzerleistungsfähigkeit, dass die Testbedingungen für alle Systeme vergleichbar waren. Ein Grund für das schlechtere Abschneiden der VR-Interaktionssysteme könnten durch systembedingte Ungenauigkeiten bei der Verfolgung von Position und Haltung der Hände sowie das in Vergleich zum Touchscreen fehlende haptische Feedback bedingt sein.

Obwohl sich beide VR-Interaktionssysteme bezüglich der Leistungsfähigkeit deutlich von der Bearbeitung am Touchscreen unterscheiden, und dabei der LMC eher schlechter abschneidet als der OTC, wird die wahrgenommene Leistungsfähigkeit mit dem LMC deutlich höher bewertet als bei den restlichen Interaktionssystemen. Offensichtlich wird die Interaktion mit dem LMC anders wahrgenommen als mit dem OTC und dem Touchscreen. Die Gründe dafür sind noch unklar. Insgesamt legen die Ergebnisse jedoch nahe, dass die objektiv erfasste Nutzerleistungsfähigkeit der VR-Interaktionssysteme noch nicht an reale Gegebenheiten heranreicht und subjektive Beurteilungsmaße, insbesondere bei emotional ansprechenden Interaktionssystemen, wie sie im VR-Bereich verwendet werden, eher mit Vorsicht zu genießen sind.

5. Literatur

- Bachmann D, Weichert F, Rinkenauer, G (2018) Review of three-dimensional human-computer interaction with focus on the leap motion controller. *Sensors* 18:1-39 <http://dx.doi.org/10.3390/s18072194>
- Fitts, PM (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology* 47:381–391.
- Jerald J (2016) *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. ACM Books
- Kretschmer V, Terharen A (2018) Serious Games in Virtual Environments: Cognitive Ergonomic Trainings for Workplaces in Intralogistics. In: Ahram T. (eds) *Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design*. AHFE 2018, Springer, DOI: 1007/978-3-319-94619-1_26
- MacKenzie, IS (1992) Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, 7:91–139
- Soukoreff RW, MacKenzie IS (2004) Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 61:751–789.
- Rinkenauer G, Plewan T (2017) Geschwindigkeits-Genauigkeitsabgleich und Körperhaltung: altersbedingte Unterschiede bei der Balancekontrolle In: *Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft: 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, HNW Brugg-Windisch, Schweiz, 15.–17. Februar 2017 (S. Beitrag F.2.6 (6 S.))* Dortmund: GfA-Press
- Rinkenauer G, Bachmann D, Weichert, F (2015) Eignet sich der Leap Motion Controller als Mousesatz? Evaluation eines neuen kontaktfreien Interaktionssystems. In: *VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft: 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 25.-27. Febr. 2015, Karlsruhe (S. Beitrag C.1.10 (6 S.))*, Dortmund: GfA-Press
- Zhai, S (2004) Characterizing computer input with Fitts' law parameters — The information and non-information aspects of pointing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61:791-809

Danksagung: Wir danken Daniel Klossek für die Realisierung der Experimentalssoftware, Hanno Mussmann für die Betreuung der Hardware sowie Annika Schütz für die Unterstützung bei der Organisation und Durchführung des Experiments. Darüber hinaus danken wir dem Land Nordrhein-Westfalen für die Förderung der Studie im Rahmen des Leistungszentrums für Logistik und IT Dortmund.



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