

## **Erfassung von Stabilitäts- und Koordinationsindikatoren in virtuellen Trainingsszenarien zur Prävention von SRS-Unfällen**

Anika WEBER<sup>1,2,3</sup>, Peter NICKEL<sup>3</sup>, Ulrich HARTMANN<sup>1</sup>, Daniel FRIEMERT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Koblenz,

*RheinAhrCampus, Fachbereich Mathematik und Technik  
Joseph-Rovan-Allee 2, D-53424 Remagen*

<sup>2</sup> London Southbank University, School of Applied Sciences  
90 London Road, London SE1 6LN, UK

<sup>3</sup> Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)  
Unfallverhütung – Produktsicherheit  
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

**Kurzfassung:** Ziel des Projektes ist es, eine Trainingsumgebung zur Prävention von Stürzen mit Hilfe einer Anwendung in virtueller Realität (VR) zu entwickeln und zu evaluieren. Dazu laufen die Trainees auf einem Laufband mit Sturzsicherung während sie in ein virtuelles Szenario eintauchen und abschnittsweise virtuelle Objekte übersteigen. Potenzielle Parameter zur Plastizität neuromotorischer Systeme werden auf eine Indikation für Lerneffekte und zu deren Stabilisierung untersucht. Zudem soll herausgefunden werden, wie viele Perturbationen notwendig sind, um einen Lernverlauf zu erkennen. Die Ergebnisse dienen der Überprüfung des Versuchsaufbaus und der Vorbereitung einer Hauptstudie zur Entwicklung eines Trainingsprogrammes zur Prävention von SRS-Unfällen mithilfe von VR.

**Schlüsselwörter:** Unfallprävention, SRS-Gefährdungen, virtuelle Realität, Transfereffekte, Gangperturbation, Verhaltenstraining

### **1. Einleitung**

In Deutschland werden ca. 20 % aller Arbeitsunfälle mit Stürzen, Rutschen und Stolpern (SRS) in Verbindung gebracht. Von den über 176.000 SRS-Unfällen des Jahres 2015 führten fast 3.500 zu derart schweren Verletzungen, dass die Betroffenen eine Unfallrente erhielten (DGUV 2016). Neben schmerzhaften Verletzungen bis hin zu bleibenden Schäden bei den Betroffenen ergeben sich für die unfallversicherten Unternehmen zusätzliche Aufwendungen durch Arbeitsausfalltage der Beschäftigten. Die Prävention von SRS-Unfällen hat daher nicht nur für den Arbeitsschutz hohe Priorität, sondern ist auch aus volkswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Gründen relevant.

Unfallursachen sind in diesem Bereich multikausal und vielfältig. Sie reichen von baulichen Mängeln begehbare Arbeitsbereiche, über rutschige oder durch Gegenstände verstellte Verkehrswege bis hin zu im Gehbereich liegen gebliebene Arbeits- und Betriebsmittel oder geschehen scheinbar grundlos auf Treppen oder Wegen. Ebenso vielfältig orientieren sich Präventionsmaßnahmen am STOP-Modell (BGHM 2016) und beziehen sich auf bauliche Neu- und Umgestaltungen, die SRS-Gefährdungen möglichst nicht entstehen lassen (z.B. stufenlose Arbeitsbereiche,

rutschhemmende Fußböden), sowie auf organisatorische und personale Maßnahmen (z.B. Aufräumen von Arbeitsbereichen und Arbeitsschuhe als persönliche Schutzausrüstung).

Neben den genannten verhältnispräventiven sind verhaltenspräventive Maßnahmen besonders geeignet, eine hohe Zahl potentiell betroffener Beschäftigter aktiv in Präventionsaktivitäten einzubeziehen. So gibt es Sturzpräventionsprogramme (z.B. „FitForFire – Stabilitäts- und Koordinationstraining zur Reduzierung von SRS-Unfällen“, HFUK Nord 2013), die u.a. eine allgemeine Gleichgewichts-, Orientierungs- und Reaktionsfähigkeit fördern wollen. Studienergebnisse dazu deuten auf leichte Verbesserungen im dynamischen Gleichgewicht und der Reaktionsfähigkeit hin (Mohr 2017).

Jüngere Erkenntnisse in der Entwicklung von Trainingskonzeption zur Verminderung von SRS-Gefährdungen weisen darauf hin, dass einige der Nachteile von Trainings (z.B. sinkende Motivation und Ausdauer der Teilnahme, hoher und lang andauernder zeitlicher Aufwand, Verfügbarkeit von Trainingsgeräten) überwunden werden müssen. Durch ein mechanisches Training mit älteren Menschen konnte bereits gezeigt werden, dass das neuromotorische System eine hohe Plastizität für wiederholte unerwartete Perturbationen (Störungen) besitzt und die Fähigkeit hat, diese Adaptionen über einen langen Zeitraum (1,5 Jahre) beizubehalten (Epro et al. 2018). Bei den ermittelten Effekten durch die Nutzung von mechanischer Perturbation wurden langfristige Effekte bei geringem Trainingsaufwand sichtbar und es wurde angenommen, dass sie das Risiko sturzbedingter Verletzungen vermindern. Trainingsstudien mit Perturbationen zeigen, dass sich durch mehrmaliges Wiederholen das neuromotorische System adaptiert und mit Situationen umzugehen lernt (Pai et al. 2014). Diese neuen Verhaltensstrategien könnten auch zu einer langfristigen Sturzprävention führen.

In der Trainingsforschung und für die Entwicklung von Trainingsprogrammen werden zunehmend Simulationstechniken wie z.B. virtuelle Realität (VR) eingesetzt, die den Aufwand an physischen Trainingsgeräten reduzieren, orts- und zeitflexibel einsetzbar sind und neben einem realitätsnahen Kontext von Trainingsszenarien auch neue Interventionen zur Umsetzung von Trainingsinhalten bieten sollen (Hale & Stanney 2015). Mithilfe von VR wurden bereits einige Trainingsprogramme entwickelt, die im Kontext der SRS-Unfallprävention relevant und effektiv erscheinen. Ein einfaches Training mit visuellen Stimuli und einem posturalen Training im Stehen in einer virtuellen Umgebung resultierte in verbesserten Gleichgewichtsparametern (z.B. Limits of Stability, Vertrauensellipse) in der statischen Stabilität (Duque et al. 2013). Langfristig lassen diese Effekte allerdings nach. Bei einem VR-gestützten Training für Menschen mit Parkinson-Krankheit verbessern sich auch die Gangparameter. Zudem verbesserten sich Merkmale der kognitiven Leistung, was sich in besserer Planung beim Ausweichen von Objekten abbilden kann (Mirelman et al. 2011). Ein Laufbandtraining, bei dem eine Perturbation durch eine plötzliche Neigung des virtuellen Bildes ausgelöst wird, zeigte beim Transfer in echte Rutschsituationen eine bessere Abfangstrategie. Dadurch kann das Auftreten von Stürzen reduziert werden. Langzeiteffekte wurden allerdings nicht untersucht (Parijat et al. 2014).

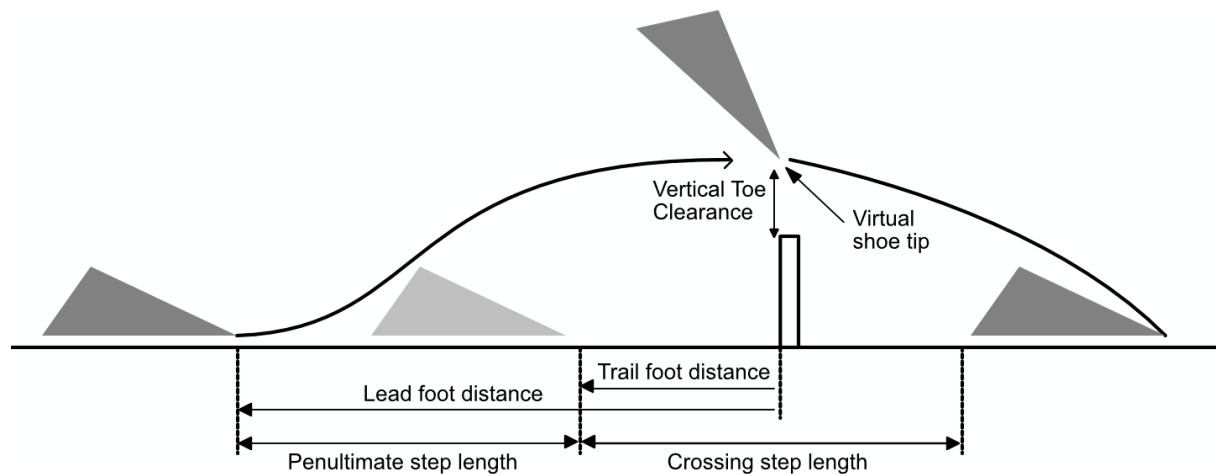
Durch diese positiven Befunde angeregt, wird der Fragestellung nachgegangen, ob und inwieweit Kriterien aus realen Trainingssettings Aspekte des Lernerfolgs auch aus virtuellen Settings abbilden können.

## 2. Methode

Mithilfe einer zurzeit laufenden Vorstudie wird zunächst ein geeigneter Messaufbau zur Entwicklung eines VR-Parcours zur Sturzprävention im Biomechaniklabor der Hochschule Koblenz, Rhein-Ahr-Campus, Remagen, geplant. Das Labor ist mit 8 Kameras eines Motion-Capturing-Systems (Qualisys, Schweden) ausgestattet. Die Trainees gehen auf einem realen Laufband (Pluto, h/p/cosmos, Deutschland) mit Sturz-sicherung einen virtuellen Trainingsparcours ab. Während des Gehens übersteigen sie virtuelle Objekte in wiederkehrenden Abschnitten, in denen über das Motion-Capturing-System Bewegungsdaten des gesamten Körpers des Trainees in hoher Auflösung erhoben werden können. Dazu werden relevante Körperpunkte mit Markern versehen, die als Zeitserien mit einer Auflösung von 100 Hz erfasst werden. Die virtuellen Szenarien werden mit der VR-Software Unity (Unity Technologies, USA) entwickelt und dem Trainee mithilfe des Head-Mounted-Display (HMD) HTC Vive Pro (HTC Corporation, Taiwan) visualisiert.

Das virtuelle Szenario ist dabei so zu gestalten, dass die Trainees in einer mit dem Laufband synchronisierten Geschwindigkeit auf einem virtuellen Weg entlang eines Gebäudes gehen. In wiederkehrenden Abschnitten geht der Trainee auf virtuelle Objekte auf dem Fußboden zu, die er als Perturbationen im virtuellen Parcours übersteigen soll. Damit die Trainees ihre eigenen Körperbewegungen in der virtuellen Umgebung erkennen können, werden Daten eines Körpermodells aus einigen getrackten Markern mithilfe des Motion-Capturing-Systems ermittelt und über Unity in der virtuellen Umgebung als eigene Körperbewegungen dargestellt. Gleichzeitig tragen die Trainees während des Parcours HTC Vive Tracker (HTC Corporation, Taiwan), mit denen ebenso ein Körpermodell über die Software Ikinema Orion (Ikinema, UK) über inverse Kinematik visualisiert wird. Für spätere Untersuchungen sollen beide Systeme getestet und miteinander verglichen werden.

Mithilfe des Motion-Capturing-Systems werden potenziell relevante Bewegungsdaten über die gesamte Versuchszeit und besonders während des Übersteigens von virtuellen Objekten erhoben, die u.a. auf eine Plastizität neuromotorischer Systeme hinweisen (z.B. toe clearance, trail/lead foot distance, crossing versus precrossing stride length, dynamic stability) (vgl. Abb. 1). So wird während Perturbationsabschnitten etwa jedes Auftreten eines Fußes erfasst und diese Daten in Unity so für die virtuelle Umgebung verarbeitet, dass ein weiteres Perturbationsobjekt vor dem Probanden erscheinen wird. Dieses Objekt muss dann vom Probanden mit einem der Füße als nächstes überstiegen werden. Neben der Analyse und Bewertung von Parametern, die zur Versuchssteuerung erforderlich sind, wird mit anderen der o.g. Parameter beispielsweise abgeschätzt, nach wie vielen Perturbationen kein Lerneffekt mehr erfasst werden kann bzw. welche Parameter eine hohe Stabilität erreichen. Auch dazu werden Markerpositionen am Körper des Trainees mit dem Motion-Capturing-System erhoben und anschließend Gangparameter usw. daraus bestimmt. Beim Übersteigen eines Objektes wird über einen Collider ein Ereignis in der virtuellen Umgebung ausgelöst, bei dem die Höhe des Zehenmarkers in eine Datei geschrieben wird. Diese Höhe wird zu einem späteren Zeitpunkt genutzt, um die Toe Clearance zu bestimmen. Zudem sollen die Marker am Fuß genutzt werden, um die Distanz der Zehen und der Ferse zum Perturbationsobjekt zu analysieren und zu bewerten.



**Abbildung 1:** Darstellung einiger erfasster Gangparameter für beide Füße beim Übersteigen von Objekten.

Darüber hinaus werden synchron Informationen aus der Situation erfasst (z.B. Gehabschnitt mit bzw. ohne Perturbationen, Zeitpunkt, besondere Ereignisse, die zu unregelmäßigen Schrittfolgen führen). Schließlich werden auch demographische Informationen der Trainees sowie Daten zur allgemeinen Bearbeitungsleistung und dem Empfinden zugänglichen Verhaltensdimensionen bezogen auf die virtuelle Umgebung (z.B. SSQ, Kennedy et al. 1993; ITQ, PQ, Wittmer & Singer 1998) sowie bezogen auf die Aktivitäten während des Parcours (z.B. RPE, Borg 1982) vorab und nach Versuchsabschnitten erhoben.

### 3. Ergebnisse

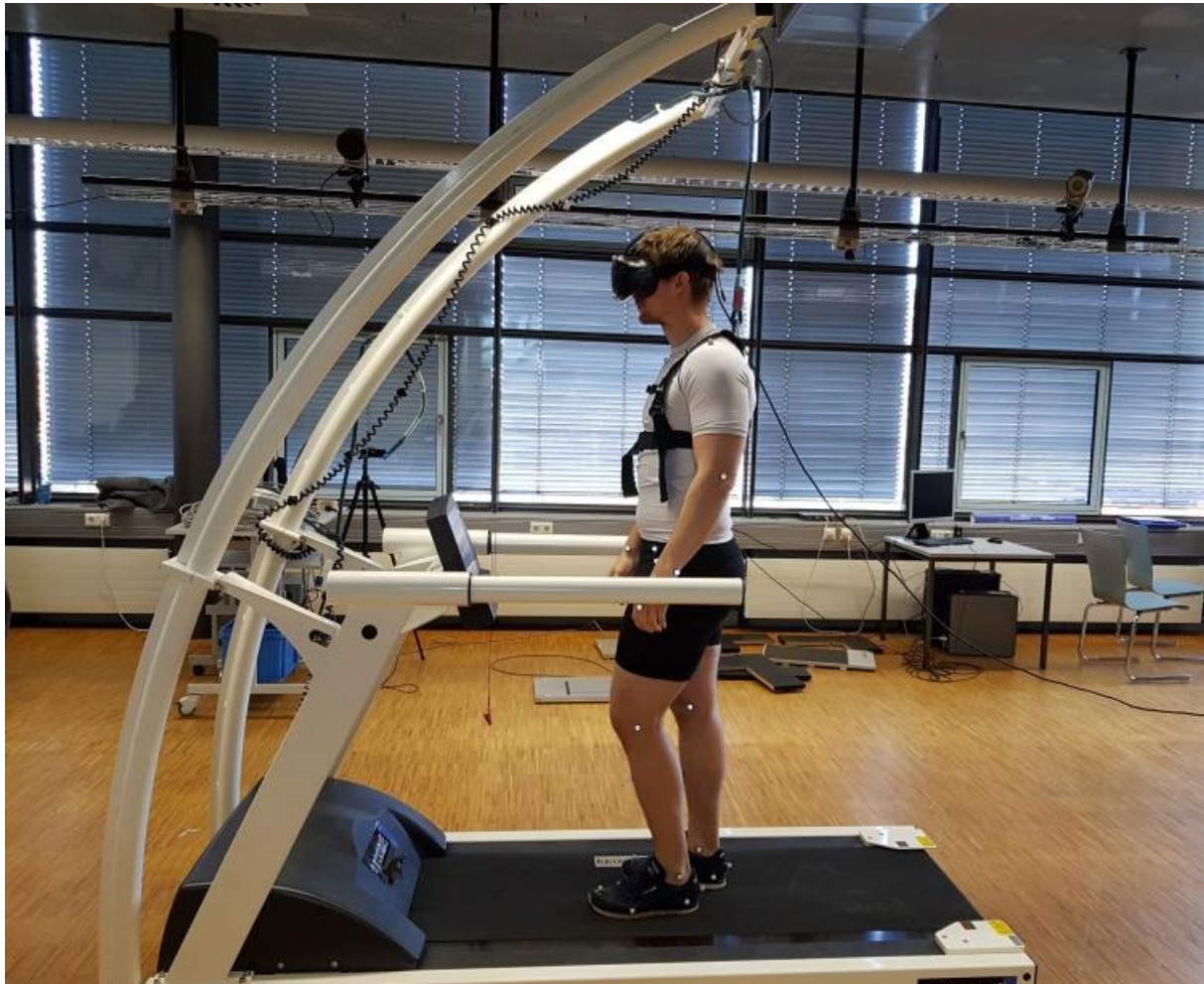
Um die erforderliche Datenerfassung und -analyse mit dem Versuchsaufbau verwirklichen zu können, müssen Daten aus mehreren Softwarequellen synchronisiert und transformiert werden. Dabei entsteht unter anderem das Problem, dass das Motion-Capturing-System ein anderes Koordinatensystem als das VR-System hat. Es besteht somit eine Verschiebung in der Position und Rotation des Körpers des Trainees und aller Objekte, die anhand der Marker in Unity definiert werden.

Der Körper der Trainees soll über die Marker mithilfe von inverser Kinematik visualisiert werden. Auch wenn das Motion-Capturing-System für den Bereich der unteren Extremitäten konzentriert eingesetzt wird, ist eine Abdeckung des gesamten Körpers des Trainees möglich. Geht der Trainee aus dem Erfassungsbereich (z.B. beim freien Gehen in einer Schleife auf freier Laborfläche), werden die Markerdaten nicht mehr erfasst und dadurch der Körper nicht mehr visualisiert. Daher kommen neben dem Motion-Capture-System auch HTC Tracker zur Modellierung des Körpers zur Visualisierung der eigenen Person im Trainingsszenario zum Einsatz. Diese Tracker werden an mehreren Körpersegmenten angebracht. Es wird inverse Kinematik genutzt, um die Gelenkwinkel des Menschen über die Bewegungen der Tracker zu berechnen. Da das Laufband beweglich ist und immer gleich ausgerichtet sein sollte, werden Marker auch am Laufband genutzt, um die virtuelle Trainingsszenario am Laufband auszurichten.

Die Trainees laufen auf dem Laufband mit einer festgelegten Geschwindigkeit. Um eine Orientierung zu haben wie schnell sie sich bewegen, wird ein Fixpunkt in der virtuellen Umgebung eingerichtet. Entfernt sich der Trainee vom Fixpunkt deutet das



darauf hin, dass er zu langsam geht. Nähert sich der Trainee dem Fixpunkt, zeigt dies, dass er zu schnell geht. Zudem sollen die „Geländer“ des Laufbandes in die virtuelle Umgebung implementiert werden, damit die Trainees eine zusätzliche Orientierung haben und sich am „Geländer“ festhalten können, um mögliche Stürze abzufangen. Alle Ergebnisse dienen schließlich der Überprüfung des Mess- und Versuchsaufbaus und der Vorbereitung einer Hauptstudie zur Entwicklung eines Trainingsprogrammes zur Prävention von SRS-Unfällen mithilfe von VR.



**Abbildung 2:** Messaufbau mit einem Trainee mit Markern auf dem Laufband. Der Trainee wird über einen Sicherungsgurt am Oberkörper gegen Stürze gesichert.

#### 4. Diskussion

Anhand der ersten Ergebnisse aus der Vorstudie deutet sich an, dass es mit dem entwickelten Mess- und Versuchsaufbau möglich ist, die grundlegenden Fragestellungen zu bearbeiten. Das betrifft einerseits die Synchronisierung von Daten aus unterschiedlichen Quellen der Datenerfassung (z.B. Motion-Tracking-System und VR-System) und andererseits die Analysen zur Stabilität von potenziellen Parametern zur Plastizität neuromotorischer Systeme. Einige der Parameter konnten als kontinuierliche Daten synchronisiert zu anderen erhoben werden. Für das Briefing und Debriefing der Trainees konnten alle erforderlichen Unterlagen und Befragungen entwickelt und probeweise eingesetzt werden. Damit ergeben sich gute Ausgangs-

bedingungen für eine systematische Durchführung der Vorstudie mit einer größeren Anzahl von Trainees.

Die Ergebnisse dienen der Überprüfung des Versuchsaufbaus und der Vorbereitung einer Hauptstudie zur Entwicklung eines Trainingsprogrammes zur Prävention von SRS-Unfällen mithilfe von VR. Erst in einer nachfolgenden Studie sollen Untersuchungen zum Transfer der Trainingsleistungen zur Sturzprävention von VR innerhalb einem virtuellen sowie in einem realen Trainingszenario auch differenziert nach Alters- und Berufsgruppen vorbereitet werden. Langfristig könnte ein auf dieser Basis entwickeltes Trainingsprogramm einen weiteren Baustein für die betriebliche Gesundheitsförderung zur effektiven und langfristigen Prävention von SRS-Unfällen bieten.

## 5. Literatur

- Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 14(5):377-381.
- BGHM (2016) BGHM-Information 102. Beurteilen von Gefährdungen und Belastung. Anleitungshilfe zur systematischen Vorgehensweise, sichere Schritte zum Ziel. Mainz, BGHM.
- DGUV (2016) Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2015. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). [[https://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/au\\_statistik\\_2015.pdf](https://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/au_statistik_2015.pdf)]
- Duque G, Boersma D, Loza-Diaz G, Hassan S, Suarez H, Geisinger D et al. (2013) Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers. *Clinical Interventions in Aging* 8:257-263.
- Epro G, Mierau A, McCrum C, Leyendecker M, Brüggemann G-P, Karamanidis K (2018) Retention of gait stability improvements over 1.5 years in older adults: effects of perturbation exposure and triceps surae neuromuscular exercise. *Journal of Neurophysiology* 119(6):2229-2240.
- Hale K, Stanney KM (Hg) (2017) Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. Boca Raton, CRC Press.
- HFUK (2013) Das FitForFire Stabilitäts- und Koordinationstraining zur Reduzierung von SRS-Unfällen. Kiel, Hanseatische Feuerwehr-Unfallkasse Nord (HFUK Nord).
- Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology* 3(3):203-220.
- Mirelman A, Maidan I, Herman T, Deutsch JE, Giladi N, Hausdorff JM (2011) Virtual reality for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 66(2):234-240.
- Mohr J-O (2017) Fit gegen das Stolpern – Projektstudie der HFUK Nord. In: DGUV (Hg) 6. DGUV-Fachgespräch Ergonomie (125-127). Berlin, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV).
- Pai Y-C, Yang F, Bhatt T, Wang E (2014) Learning from laboratory-induced falling: long-term motor retention among older adults. *Age* 36(3):9640-9645.
- Parijat P, Lockhart TE, Liu J (2014) Effects of Perturbation-Based Slip Training using a Virtual Reality Environment on Slip-induced Falls. *Annals of Biomedical Engineering* 43(4):958-967.
- Witmer BG, Singer MJ (1998) Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7(3):225-240.



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)