

Einsatz der VR-Technologie für die Risikobeurteilung und Unfallverhütung an Werkzeugmaschinen

Patrick PUSCHMANN¹, Tina HORLITZ², Johannes LEDER², Volker WITTSTOCK¹,
Astrid SCHÜTZ²

¹ *Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse,
Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, D-09126 Chemnitz*
² *Lehrstuhl für Persönlichkeitspsychologie und Psychologische Diagnostik,
Universität Bamberg, Markusplatz 3, D-96047 Bamberg*

Kurzfassung: In einer ersten Studie wurde der Einsatz der Virtual-Reality-Technologie (VR) für die Risikobeurteilung (RB) an einer Säulenbohrmaschine untersucht. Es nahmen 27 RB-Experten aus der Werkzeugmaschinenindustrie teil, die im Umgang mit der VR nicht vertraut waren. Die Ergebnisse zeigen, dass die RB in der VR qualitativ hochwertig durchführbar ist. In einer zweiten Studie wurde die Art der Darstellung bezüglich der Informationsvermittlung weitergehend untersucht. Dafür wurde eine Sicherheitsunterweisung (SU) in herkömmlicher Form mittels PowerPoint mit einer SU mittels Virtual-Reality-Technologie verglichen. An dieser zweiten Studie mit zwei unabhängigen Erhebungen nahmen insgesamt 121 Berufsschüler teil. Die Befunde zeigen, dass vermitteltes Wissen zu Arbeitsschutz und risikobezogenes Wissen, durch das höhere Maß an Präsenz in der VR, umfangreicher aufgenommen werden kann.

Schlüsselwörter: Virtual Reality (VR), Risikobeurteilung (RB), Sicherheitsunterweisung (SU), Nutzertest, risikobezogene Entscheidungen, Risiko- und Gefahrenkompetenz

1. Einleitung

Die Risikobeurteilung ist ein iteratives Verfahren und umfasst eine Risikoanalyse und eine Risikobewertung (DIN EN ISO 12100, 2011). Die Maschinenhersteller sind vor dem Inverkehrbringen verpflichtet, eine Risikobeurteilung (RB) zu erstellen, Ziel ist die Konstruktion von sicheren Maschinen und die Einhaltung aller von der Maschinenrichtlinie geforderten Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen (Richtlinie 2006/42/EG, 2006).

Im Kontext Maschinen- und Arbeitssicherheit bietet die Virtual Reality (VR) Technologie dem Nutzer den Vorteil, dass die RB bereits in einem sehr frühen Stadium des Produktentwicklungsprozesses anhand eines realistischen Prototypenentwurfs bis zur gesamten Maschine durchgeführt werden kann. Auch wurde in anderen Bereichen, wie beispielsweise dem Bauwesen, bereits festgestellt, dass VR-Visualisierungen sehr hilfreich bei großen Objekten (z. B. Schiffsschleusen) sind (Nickel et al. 2012). Auf eine Untersuchung zur Wirkung der Art oder der Detailgenauigkeit der Darstellung auf den Nutzer wurde jedoch nicht genauer eingegangen.

Die Sicherheitsunterweisung ist eine präventive Maßnahme des Arbeitsschutzes und zählt zur Unfallverhütung (DGUV, 2013). Die Arbeitgeber sind verpflichtet, ihre

Beschäftigten über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit zu unterweisen, insbesondere über die mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen und deren Maßnahmen zu ihrer Verhütung. Im Sinne eines solchen präventiven Arbeitsschutzes wiederum wird dem Nutzer mit der VR einer realitätsnahen, immersiven und maßstabsgetreuen Darstellung von virtuellen Lern- und Trainingsumgebungen geboten. Auch hier stellten Nickel und Kollegen (2013) für den Einsatz virtueller Hubarbeitsbühnen fest, dass die VR ein vielsprechendes Instrument für die Unfallverhütung ist, der Aufwand gegenüber realen Untersuchungen reduziert werden kann und ein frühzeitiger Einsatz die Präventionsmaßnahmen beschleunigt. Ein Vergleich zwischen VR und der realen Arbeitsumgebung stand jedoch nicht im Mittelpunkt.

Gegenstand des im Folgenden beschriebenen Forschungsprojekts war zum einen die Nutzung der Virtual Reality Technologie für die Risikobeurteilung an Werkzeugmaschinen und deren Auswirkungen auf das subjektive Erleben (Studie 1), zum anderen die Darstellung von Gefährdungssituationen mittels virtueller VR-Maschinenmodelle im Rahmen von Sicherheitsunterweisungen (Studie 2).

In diesem Paper werden zwei experimentelle Studien vorgestellt, in denen die Verwendung der VR-Technologie im Kontext RB und SU untersucht wurde, auch im Vergleich zur herkömmlichen Anwendung.

2. Studie 1: VR-gestützte Risikobeurteilung

2.1 Fragestellung

Das Ziel der ersten Studie lag im Vergleich zweier Varianten VR-gestützter RB. Die Ausgangsfragen sind:

- Wie ist die Durchführung der RB in der VR-Umgebung nutzbringend möglich?
- Welche Darstellungsformen, die aus den verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses ableitbar sind, können für die theoriegeleitete Durchführung als geeignet gesehen werden?
- Welche Handlungsschritte sind bei der Erstellung einer spezifischen VR-Szene zu beachten?
- Wie werden Risiken der Maschine in den verschiedenen Darstellungen eingeschätzt?

2.2 Methode: Teilnehmende und Versuchsaufbau

Für die erste Studie wurde eine manuell zu betätigende Säulenbohrmaschine als Demonstrator für die Durchführung der RB in der VR verwendet. Die Säulenbohrmaschine wurde u. a. deshalb ausgewählt, da zum einen der offene Arbeitsraum eine hohe Anzahl an visuell wahrnehmbaren Gefährdungen enthält, zum anderen die Komplexität der Maschine dem zeitlichen Umfang der Tests entsprach. Trotz des hohen Bekanntheitsgrades der Maschine und der gleichzeitig geringen Anforderungen an den Bediener, kommt es an dieser noch häufig zu Unfällen mit schweren Verletzungen (DGUV, 2015).

Nach der Auswahl des Demonstrators wurde eine allgemeine Testmethode mit den vier Phasen Designentwurf (1), Pre-Test (2), Experimentelle Studie (3) und Auswertung der Ergebnisse (4) konzipiert und angewendet. In der ersten Phase (Designentwurf) bildeten CAD-Daten der Säulenbohrmaschine die Grundlage für die

VR-Szenenerstellung. Es wurden zwei Varianten der Maschine erstellt (siehe Abb. 1):

a) ein schematisches Modell, ähnlich einem typischen CAD-Modell mit einfachen Farben und noch fehlenden Komponenten oder Details wie Schrauben oder Fasen, und

b) ein komplexes (vollständiges) Modell, welches grafisch aufbereitet wurde, z. B. durch Verwendung von Texturen.

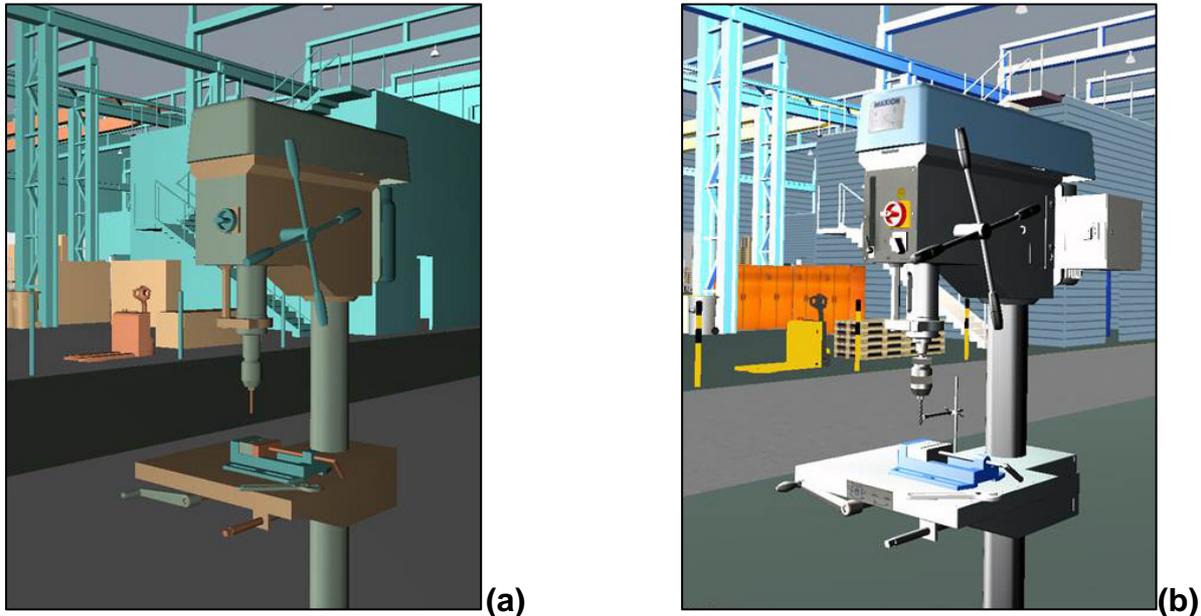


Abbildung 1: VR-Modelle der Säulenbohrmaschine (a) einfaches Modell, (b) komplexes Modell

Das VR-Szenario bestand aus der Interaktion mittels eines Flysticks, aus Zusatzinformationen über mögliche Gefährdungen für den Anwender und aus Animationen, welche durch Anklicken starteten, wie z. B. das Einspannen des Werkstückes oder die Höhenverstellung des Bohrtisches. Die Umsetzung der zweiten Phase erfolgte auf einer Fachmesse für Werkzeugmaschinen, indem die Messebesucher als Testteilnehmer dienten und deren Aufgabe darin bestand, in dieser Szene zu interagieren und Gefährdungen zu identifizieren. Die Pre-Tests zeigten, dass die Komplexität des VR-Szenarios die Nutzer von der eigentlichen Aufgabe ablenkte. Beim Entwurf des eigentlichen Nutzertest (Phase 3) wurde die Interaktion auf die Navigation reduziert und Animationen durch den Testleiter gestartet. Die experimentelle Studie erfolgte dann mit 27 RB-Experten (Werkzeugmaschinenindustrie, Ingenieurbüros, Institutionen, Privatpersonen), die randomisiert den beiden beschriebenen VR-Maschinenmodellen zugeteilt wurden.

Der Ablauf gliederte sich in: Empfang, Persönlichkeitsfragebogen, Navigationstraining mit Flystick, Informationen über die Maschine, Aufgabe 1: Identifizierung der Gefährdungen nach (DIN EN 12717+A1, 2009) ohne virtuell abgebildete Bedienperson und Animation, Aufgabe 2: Identifizierung der Gefährdungen mit Bedienperson und Animation, Aufgabe 3: Risikoeinschätzung nach (ISO/TR 14121, 2012) für ausgewählte Gefährdungen, Präsenzfragebogen. Die letzte Phase bildete dann die Auswertung der Ergebnisse.

Als Kriterium für Vollständigkeit und Angemessenheit der Aufgaben 1-3 wurde eine intern im Vorfeld erstellte RB der Bohrmaschine als Referenz-RB verwendet.

2.3 Ergebnisse

Die gefährdungsbezogene Auswertung zeigt (siehe Abb. 2), dass mit dem komplexen Modell grundsätzlich eine höhere Anzahl von Gefährdungen identifiziert werden konnte. Beispiele dafür sind u. a. das Erkennen von Gefährdungen im Bereich des Bohrers, der Spannvorrichtung oder die offene Getriebeschutzhäube der Maschine.

Für bestimmte Gefährdungen, wie z. B. die Vollständigkeit der Getriebeschutzhäube oder die Standsicherheit, ist jedoch das einfache Modell besser geeignet (zu viele Details lenken anscheinend von elementaren Gefährdungen ab). Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die Einbeziehung eines virtuellen Mensch-Modells und die Nutzung von Animationen der Arbeitsschritte beim Bohrvorgang positive Effekte auf die Anzahl der identifizierten Gefährdungen hatte. Als weitere wichtige Variable erwies sich die Berufserfahrung, die wie erwartet positiven Einfluss auf Anzahl zu identifizierender Gefährdungen hat (Horlitz et al. 2017).

Hinsichtlich des Präsenzempfindens zeigte sich, dass beide Varianten des VR-Modells geeignet sind um hohe Involvierung zu erzielen.

Die differenzierte Auswertung der Antworten bezüglich der vier Komponenten Schadensausmaß, Eintrittswahrscheinlichkeit, Häufigkeit und Dauer sowie Möglichkeit zur Vermeidung des Schadens ergab im Hinblick auf sechs vorausgewählte, wesentliche Gefährdungen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Modellen. Insofern lässt sich folgern, dass bei Kenntnis der Gefahren ein einfaches Modell ausreicht, um Risikoeinschätzungen realistisch und angemessen vorzunehmen.

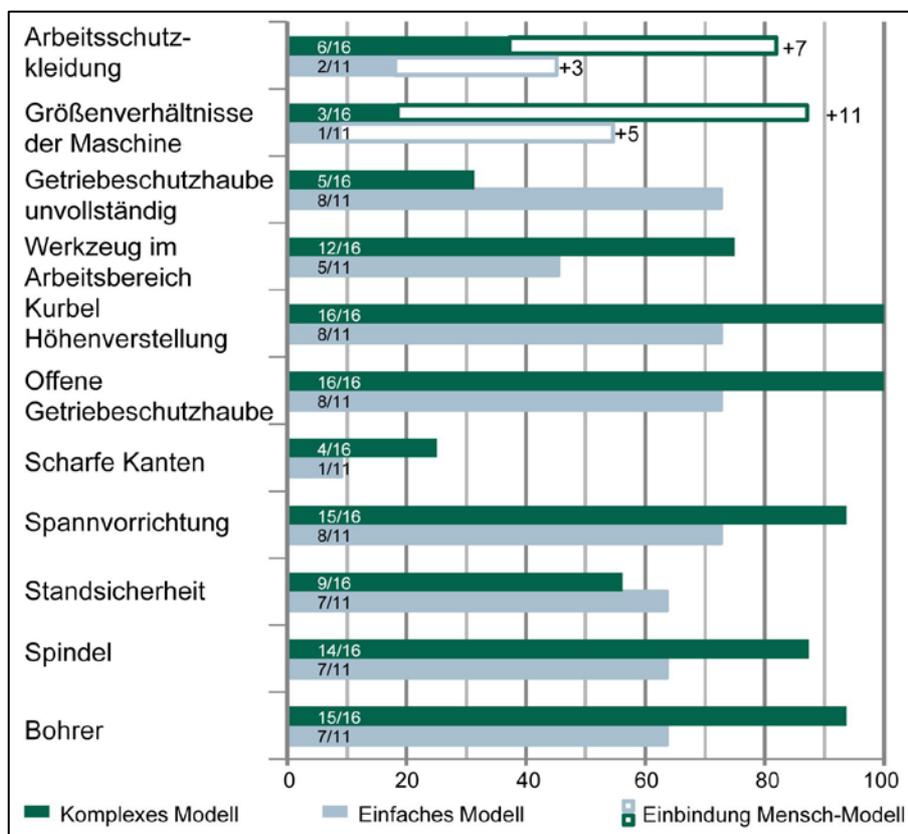


Abbildung 2: Anzahl und Prozentangabe von identifizierten Gefährdungen durch Testpersonen (Aufgabe 1 und 2 des Tests)

3. Studie 2: VR-gestützte Sicherheitsunterweisung

3.1 Fragestellung

In Studie 2 wurden Möglichkeiten des Einsatzes von VR-Technologie im Rahmen von Sicherheitsunterweisungen (SU) untersucht und folgende Fragestellung formuliert:

- Unterscheiden sich VR-gestützte SU von SU mit traditionellen Methoden der Wissensvermittlung in ihrem Einfluss auf Risiko- und Gefahrenkompetenzen sowie damit verbundene Entscheidungen?

Zu diesem Zweck wurden neben dem VR-Maschinenmodell der Bohrmaschine aus Studie 1, eine Power Point Version (PPT) eingesetzt und ein Vergleich zwischen den beiden Methoden der Darstellung vorgenommen. Für beide Varianten wurde die realitätsnahe, komplexe Darstellungsvariante verwendet.

3.2 Methode: Teilnehmende und Versuchsaufbau

Durchgeführt wurden zwei Erhebungsreihen, an denen $N_1 = 53$ bzw. $N_2 = 68$ Berufsschülerinnen und Berufsschüler teilnahmen. Die Teilnehmenden wurden nach dem Zufallsprinzip einer der beiden Bedingungen, VR oder PPT, zugeordnet und erhielten eine SU in Form einer PPT- oder einer VR-basierten Unterweisung. Für eine systematische Vergleichbarkeit waren Inhalt und Dauer der beiden Varianten parallelisiert. Dazu wurden identische verbale Informationen per Audiospur dargeboten und die Abbildungen für die PPT wurden mittels VR-Screenshots erzeugt.

Die SU gliederte sich in 1) Aufbau der Säulenbohrmaschine, 2) Allgemeine Verhaltensregeln und Schutzmaßnahmen, 3) Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln im Prozess, 4) Werkstückvorbereitung, 5) Werkstückbefestigung und Auswahl der Drehzahl, 6) Durchführung einer Bohrung und 7) Verhalten bei Unfällen und Störung.

Vor und nach der Sicherheitsinstruktion beurteilten die Teilnehmenden eine reale Säulenbohrmaschine, die präparierte Sicherheitsmängel enthielt, im Hinblick auf Gefährlichkeit (im Sinne allgemeiner Schadensschwere potenzieller Unfälle) und Unfallwahrscheinlichkeit auf Ratingskalen (von 1 (keine Gefahr) bis 10 (lebensgefährlich) bzw. von 0% bis 100% Unfallwahrscheinlichkeit). Anschließend bearbeiteten sie, analog zur ersten Studie, einen Fragebogen zum Präsenzerleben, der im Hinblick auf die Formulierungen entsprechend auf PPT bzw. VR hin angepasst war. Es folgte eine praktische Aufgabe zur konkreten Identifikation und Minderung von Gefährdungen an der realen Maschine. Anschließend waren Entscheidungen zu treffen, an der als unsicher präparierten realen Maschine oder an einer Maschine ohne diese Sicherheitsmängel zu arbeiten. Außerdem wurden Persönlichkeitsfragebogen zur Erfassung bereichsspezifischer Risikowahrnehmung, Gewissenhaftigkeit und individueller Kontrollüberzeugung ausgefüllt. Schließlich wurde sicherheitsrelevantes Wissen der Teilnehmenden mit Hilfe einer schriftlichen Leistungskontrolle erfasst.

Das Prozedere war in beiden Erhebungsreihen gleich, lediglich der Fragebogeneinsatz wurde in der zweiten Erhebungsreihe verändert: Die Fragebogen zur Kontrollüberzeugung und Gewissenhaftigkeit entfielen. Stattdessen wurden neben der Wahrnehmung von Risiken exemplarischer risikoreicher Situationen auch

Wahrscheinlichkeiten für bereichsspezifische Risiken und deren resultierender Nutzen erfragt.

3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der ersten Erhebungsreihe zeigen erwartungsgemäß Unterschiede zugunsten der VR-basierten Unterweisung im Hinblick auf das Ausmaß des Präsenzepfindens. Die Methode der SU beeinflusst die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit und des Ausmaßes eines Schadens (erfragte Gefährlichkeit): Nach VR-Unterweisung wurde die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls höher eingeschätzt als vor der VR-Unterweisung dies war nicht der Fall nach der PPT-Unterweisung. Hinsichtlich Schadensschwere zeigt sich der Effekt nur tendenziell.

Das Präsenzepfinden wirkt sich in beiden Gruppen auf die Stärke der Veränderung des Wahrscheinlichkeitsurteils und die Einschätzung der Schadensschwere potenzieller Unfälle aus. In der zweiten Erhebungsreihe zeigten sich weder Unterschiede in den Urteilen noch hinsichtlich deren Veränderung: Hier bewerteten beide Gruppen die Wahrscheinlichkeit und die Unfallschwere nach der SU höher als vor der SU.

Bezüglich der Lernleistungen konnte mit der ersten Erhebungsreihe tendenziell gezeigt werden, dass Teilnehmende der VR-Bedingung mehr gelernt hatten, sie konnten sicherheitsrelevante Fragen besser beantworten. Diesen Befund konnte die zweite Erhebung nicht replizieren, aber Personen in der VR-Unterweisung nach 4 Monaten erinnerten mehr Dargebotene Inhalte als Personen der PPT-Unterweisung.

Die Ergebnisse der Risikoentscheidung zeigten für beide Erhebungsreihen gleichermaßen, dass ein Teil der VR-unterwiesenen Personen bereit war, an der präparierten (unsicheren) Maschine zu arbeiten, wenn sie die Sicherheitsrichtlinien erinnerten – sie zeigten also rationales Verhalten. Auch zeigte sich in der VR-Bedingung im Gegensatz zur klassischen Unterweisung, dass die Risikoentscheidung durch Risikoneigung im Alltag beeinflusst war, was darauf hindeutet, dass in dieser Bedingung eine stärkere Integration der Sicherheitsinformation in das grundsätzliche Entscheidungsverhalten der Person stattgefunden hatte.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Hinsichtlich Studie 1 zeigte sich, dass die Anwendung der VR-Methode für die Risikoanalyse und -bewertung eine hervorragende Alternative zu den dokumentenbasierten oder CAD-basierten Ansätzen bietet. Beim Vergleich der beiden untersuchten Varianten zeigte sich, dass mit dem komplexen Modell insgesamt mehr Gefährdungen gesehen wurden, bestimmte Gefährdungen allerdings mit dem schematischen Modell besser erkannt wurden. Hinsichtlich der Risikoeinschätzung erwiesen sich die Modelle als vergleichbar. Für die unterschiedlichen Phasen der Maschinenentwicklung ist es folglich empfehlenswert, steigende Detaillierungsgrade zu verwenden, um so Gefährdungen aller Art effizient zu identifizieren.

Was Studie 2 betrifft, wurde deutlich, dass VR-unterwiesene Personen sich hinsichtlich risikobezogener Entscheidungen tendenziell funktionaler und situationsangemessener verhalten als Personen, die konventionell instruiert werden. Sie nehmen Wissen umfänglich auf und akzeptieren ein gewisses Maß an Risiko, nachdem sie durch die Unterweisung sowohl Wissen über mögliche Gefährdungen (Risikokompetenz) als auch über Strategien der Risikominderung (Gefahren-

kompetenz) verfügen. Eine mögliche Erklärung für diese Effekte ist das höhere Maß an wahrgenommener Präsenz und Realitätsnähe in der VR-Unterweisung. Auf der Basis dieser Befunde sollten weitere Untersuchungen den Einfluss VR-gestützter Sicherheitsunterweisungen auf Risiko- und Gefahrenkompetenzen differenziert beleuchten.

5. Literatur

- DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2015) Arbeitsunfallgeschehen 2014, Statistik. München: DGUV, 55-66.
- DGUV Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2013) DGUV Vorschrift 1, Unfallverhütungsvorschrift – Grundsätze der Prävention. Berlin: DGUV, 6-10.
- DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. (2009) Sicherheit von Werkzeugmaschinen – Bohrmaschinen. DIN EN 12717
- DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. (2011) Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO12100:2010). DIN EN ISO 12100
- EG, Europäische Gemeinschaft (2006) Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung). In: Amtsblatt der Europäischen Union, L157/24, 24-86.
- Horlitz T., Puschmann P., Wittstock V. & Schütz A. (2017). Risikobeurteilung mit Hilfe virtueller Realität: Ein Vergleich von schematischen und realitätsnahen virtuellen Modellen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels - kreativ, innovativ, sinnhaft – 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press.
- Nickel P., Lungfiel A., Huelke M., Pröger E., Kergel R. (2012) Prevention through design in occupational safety and health by risk assessment of virtual river locks. In: 7th International Conference Safety of Industrial Automated Systems SIAS. Montréal: IRSST, 35-40.
- Nickel P., Lungfiel A., Nischalke-Fehn G., Trabold R.-J. (2013) A virtual reality pilot study towards elevating work platform safety and usability in accident prevention. In: Safety Science Monitor, 2013, 17(1), 1-10.

Danksagung: Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung dieses Projektes (Wi 4053/5-1; Schu 1459/9-1).

Die Autoren danken außerdem den Experten aus Unternehmen und Institutionen sowie Privatpersonen und den Berufsschulen, die die experimentellen Studien durch ihre Teilnahme unterstützt haben.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Fokus Mensch im Maschinen- und Fahrzeugbau 4.0

Herbstkonferenz der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Institut für Betriebswissenschaften und
Fabriksysteme / TU Chemnitz

ICM - Institut Chemnitzer Maschinen-
und Anlagenbau e.V.

28. und 29. September 2017

GfA Press

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
vom 28. und 29. September 2017, Chemnitz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2017
ISBN 978-3-936804-23-2

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.)
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.

USB-Print: Isabell Grundmann

Screendesign und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de