

## Arbeitsschutzbeurteilungen während der Planung zukünftiger Maschinen und Anlagen

Peter NICKEL<sup>1</sup>, Rolf KERDEL<sup>2</sup>, Markus JANNING<sup>2</sup>,  
Thilo WACHHOLZ<sup>3</sup>, Eugen PRÖGER<sup>3</sup>, Andy LUNGFIEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)*

<sup>2</sup> *Unfallversicherung Bund und Bahn (UVB)*

<sup>3</sup> *Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV)*

**Kurzfassung:** Werden Arbeitsschutzbeurteilungen (z.B. Risikobeurteilung, Unterlage für spätere Arbeiten, Gefährdungsbeurteilung) bereits in der frühen Planungsphase durchgeführt, entsteht ein Arbeitssystem mit höherem Arbeitsschutzniveau und aufwändige nachträgliche Korrekturen werden vermieden. Für zukünftige, standardisierte Schleusen der Binnenschifffahrt wird ein dynamisches VR-Planungsmodell entwickelt, um daran Beurteilungen für verschiedene Arbeitsszenarien auf Schleusen durchzuführen. Die Entwicklung des virtuellen Modells auf Basis von Arbeitsschutzbeurteilungen und Beurteilungsszenarien wird vorgestellt.

**Schlüsselwörter:** Arbeitssystemgestaltung, Risikobeurteilung, Gefährdungsbeurteilung, Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan, virtuelle Realität, Simulation

### 1. Einleitung

Arbeitsschutz als Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz verfolgt das Ziel, Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten zu verhüten, arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren zu reduzieren und eine menschengerechte Gestaltung von Arbeit zu fördern. Ein Arbeitsschutzkonzept in Unternehmen oder Organisationen sowie mit dem Konzept zusammenhängende Maßnahmen fördern eine Umsetzung. Im dualen Arbeitsschutzsystem Deutschlands werden Unternehmen und Organisationen bei ihren Aktivitäten durch die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung und die staatliche Arbeitsschutzaufsicht der Länder unterstützt.

Sicherheit und Gesundheit während Mensch-System-Interaktionen soll vorausschauend erfasst und ein hohes Maß gewährleistet werden, u.a. durch

- Risikobeurteilungen (vgl. Maschinenverordnung) vor dem Inverkehrbringen von Maschinen und Anlagen,
- Gefährdungsbeurteilungen (vgl. ArbSchG) vor der Ausführung von Tätigkeiten mit Arbeitsmitteln und anderen Komponenten eines Arbeitssystems und
- Unterlagen für spätere Arbeiten (vgl. BaustellV), die über eine planmäßige Unterhaltung hinausgehen.

Die Beurteilungen können sich zwar je nach ihrem Gegenstand oder je nach Szenario sowie nach Gefährdungen und Risiken unterscheiden. Gemeinsam ist ihnen, dass sie vor der betrieblichen Nutzung von Maschinen und technischen Anlagen erstellt werden und das, falls erforderlich, die Entwicklung und Umsetzung von wirksamen Maßnahmen zur Reduktion von Gefährdungen und Risiken einschließt. Alle Beurteilungen betrachten den Lebenszyklus (z.B. Planung, Nutzung, Instandhaltung, Demontage) von technischen Anlagen bzw. sind für unterschiedliche Phasen des

Zyklus anzuwenden und blicken auf vergleichbare Einsatz- und Arbeitsszenarien aus unterschiedlicher Perspektive. Werden solche Beurteilungen möglichst früh, etwa bereits vor oder während der Planungs-, Konstruktions- oder Bauphase einer technischen Anlage durchgeführt, so handelt es sich nach Merdian (1995) um prospektive und präventive Beurteilungen. Durch Beurteilungen in einer frühen Phase wird bereits bei Fertigstellung und vor dem Gebrauch einer technischen Anlage ein höheres Niveau des Arbeitsschutzes erzielt und inhaltlich, finanziell und zeitlich aufwändige Nacharbeiten, nachträgliche Korrekturen oder Kompensationsversuche vermieden.

Mit Simulationen in z.B. virtueller Realität (VR) können Arbeitsschutzbeurteilungen nicht nur von zukünftigen technischen Anlagen in zukünftigen Nutzungskontexten, sondern auch in Arbeitsszenarien durchgeführt werden, die in der Realität z.B. zu gefährlich sind, nur aufwändig gebaut werden können oder noch gar nicht existieren (Wickens et al. 2013, Nickel 2016). Als Simulationstechnik eignet sich VR, um Maschinen und Anlagen in realitätsnahen Arbeitsprozessen und -umgebungen in ihrer Dynamik nachzubilden. Als Methode erlaubt VR es dem Menschen in virtuellen Szenarien zu interagieren, Arbeitsprozesse auch geplant und interaktiv zu variieren, zu wiederholen und systematisch zu analysieren (Hale & Stanney 2015, Nickel et al. 2015b). Eine Unterstützung von Arbeitsschutzbeurteilungen durch VR wurde bereits in verschiedenen Studien demonstriert (Chun et al. 2012, Nickel et al. 2013).

Schleusen der Binnenschifffahrt werden zukünftig als standardisierte Schleusen gebaut (Jander 2012, Wachholz 2015). Inwieweit das Niveau des Arbeitsschutzes für solche Schleusen mit den dabei verwendeten standardisierten Objekten noch weiter verbessert werden kann, wird in einem Forschungsprojekt untersucht.

## **2. Methode**

Zur Umsetzung des Projekts wird ein Planungsmodell benötigt, das zukünftige, standardisierte Schleusenanlagen möglichst realitätsnah abbildet und gleichzeitig Arbeitsschutzbeurteilungen für relevante Arbeits- und Funktionsszenarien unter interdisziplinärer Beteiligung verschiedener Gewerke unterstützt. Ein dynamisches VR-Planungsmodell bietet neben der Abbildung der Funktionalität im Maßstab 1:1 weitere Vorteile (Nickel et al. 2013), die spezifisch für Arbeitsschutzbeurteilungen im frühen Planungsstadium hilfreich sind.

### *2.1 Arbeitsschutzbeurteilungen*

Eine Risikobeurteilung wird nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EC (MRL) vom Hersteller vor dem Inverkehrbringen von Maschinen oder technischen Anlagen im europäischen Binnenmarkt gefordert (s.a. Maschinenverordnung, Fraser 2010, Schneider 2010). Für alle Phasen des Lebenszyklus einer technischen Anlage sollen Gefährdungen und Risiken für den Nutzer bereits während der Konstruktion ermittelt und durch wirksame Maßnahmen möglichst konstruktiv eliminiert oder reduziert werden. Zur Wahl geeigneter Maßnahmen ist der Stand der Technik (vgl. Normen und Richtlinien) heranzuziehen. Grundlegende Anforderungen an die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz sind im Anhang I der MRL benannt. DIN EN ISO 12100:2011 unterstützt den Konstrukteur bei der Entwicklung von Maschinen, die für ihre bestimmungsgemäße Verwendung sicher sind.

Eine Gefährdungsbeurteilung ist vom Betreiber einer Maschine oder einer technischen Anlage nach ArbSchG und BetrSichV durchzuführen mit dem Ziel, alle not-

wendigen Maßnahmen für die sichere Bereitstellung und Nutzung der Arbeitsmittel zu ermitteln, zu dokumentieren und umzusetzen. Dabei hat der Betreiber bzw. Arbeitgeber insbesondere die Gefährdungen zu berücksichtigen, die mit der Nutzung des Arbeitsmittels am Arbeitsplatz bzw. während bestimmter Tätigkeiten verbunden sind und durch Wechselwirkungen von Arbeitsmitteln untereinander oder mit anderen Komponenten eines Arbeitssystems (vgl. DIN EN ISO 6385:2016) im Betrieb entstehen. Bei Arbeiten mit oder an Standardmaschinen, die nicht nach detaillierten Betreiberspezifikationen konzipiert wurden, ist auf spezifische Verwendungen des Arbeitsmittels einzugehen. Wirksame Gefährdungsreduktion ist Beurteilungsbestandteil.

Eine Unterlage für spätere Arbeiten ist nach BaustellV und spezifisch nach Regel 32 zum Arbeitsschutz auf Baustellen (RAB 32:2003) vom Bauherrn mit der Übergabe eines Bauwerks vorzulegen. Sie dient der Arbeitssicherheit und dem Gesundheitsschutz bei späteren Arbeiten wie Nutzung, Wartung, Instandhaltung, Inspektion aber auch Umbauarbeiten oder Abbruch. Die Unterlage erfordert Angaben über die Merkmale des Bauwerks (wie Zugänge, Anschlagpunkte, Gerüstverankerungspunkte, Leitungen) sowie arbeitsschutzgerechte Lösungen für z.B. Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten an Fassade oder Dach eines Bauwerks, die als spätere Arbeiten vorzusehen sind. Eine Unterlage beinhaltet arbeitsschutzgerechte Lösungen.

## *2.2 Szenarien im Nutzungskontext*

Arbeitsschutzbeurteilungen beziehen sich jederzeit auf den Lebenszyklus einer technischen Anlage und berücksichtigen daher im Verlauf anfallende Aufgaben und Funktionen (z.B. Talschleusung, Not-Halt) für verschiedene Betriebszustände (z.B. regulärer Betrieb, Instandhaltung) einschließlich bisheriger Erfahrungen zur Verwendung der Anlage (z.B. Zuverlässigkeit von Komponenten, arbeitsschutzkritische Ereignisse). In zukünftige Schleusen werden standardisierte Objekte integriert, für die Informationen zur Planung, zur Funktionsweise und zum Einsatzzweck in Steckbriefen festgehalten sind (Wachholz 2015, Jander 2012).

Im Projekt wurden Szenarien, die für eine Schleusenanlage betrachtet werden sollen, von verschiedenen Arbeitsgruppen innerhalb der WSV zusammengetragen. 70 Szenarien wurden zunächst nach Betriebszuständen gegliedert. Berücksichtigt werden auch Varianten standardisierter Schleusenanlagen durch eine variable Zusammenstellung standardisierter Objekte (z.B. mit/ohne Sparbecken abhängig von Hubhöhe). Jedes Szenario wurde kurz beschrieben und mit Anforderungen an die Entwicklung des VR-Planungsmodells versehen. Die Projektgruppe legte fest, ob ein Szenario im Rahmen einzelner oder mehrerer Arbeitsschutzbeurteilungen betrachtet werden soll. Daraus ergaben sich weitere Anforderungen an die Entwicklung des dynamischen VR-Planungsmodells (z.B. Bolzen umsetzen für Revision des Drucksegmenttors, verschiedene Schiffstypen und -größen schleusen).

## *2.3 Entwicklung eines dynamischen VR-Planungsmodells*

Die Entwicklung eines dynamischen VR-Planungsmodells folgt einem systematischen Prozess (Nickel et al. 2015a), der sich sowohl an einer bereits erfolgreich abgeschlossenen Studie (Nickel et al. 2013) als auch den Anforderungen des vorliegenden Projekts orientiert. Für eine virtuelle Darstellung zukünftiger, standardisierter Schleusen wird im vorliegenden Projekt auf Planungsinformationen des Wasserstraßenneubauamts (WNA) Datteln zurückgegriffen, das derzeit die Nordkammer Wanne-Eickel als eine Variante einer standardisierten Schleuse plant. Gleichzeitig wer-

den dadurch Planungsinformationen für die Steckbriefe der standardisierten Schleusen konkretisiert (Jander 2012).

Pläne für eine Schleusenanlage sind im 2D Format (MicroStation, Bentley Systems). Für die Entwicklung eines VR-Modells werden aus verschiedenen 2D Schnitten der Schleusenanlage Einzelkomponenten identifiziert und jeweils mithilfe von 3D CAD (SolidWorks®, Dassault Systèmes SolidWorks Corp.) maßstabsgetreu nachmodelliert (Pröger et al. 2015) und als Polygonnetz im vrml-Format exportiert. Anforderungen aus den Beurteilungen (z.B. Modellierung des Maschinenhauses auf der Schleusenanlage, da darin das Hydraulikaggregat für die Torantriebe untergebracht ist) und den zu berücksichtigenden Szenarien (z.B. Torbewegung in Revisionsstellung, Trockenlegung) bestimmen Anzahl, Detailgrad und Zusammensetzung der zu modellierenden Einzelteile. Alle Komponenten für das Gesamtmodell der Schleuse werden in einer Datenbank gesammelt, mit Eigenschaften etwa zur Positionierung im 3D Raum oder zur Wahl von Varianten einer standardisierten Schleuse versehen und mit dem Vizard Virtual Reality Toolkit (WorldViz LLC) zusammengestellt. Der Vizard in Kombination mit Python (Python Software Foundation) wird genutzt um

- weitere erforderliche Komponenten (z.B. Schubverband, Kran) zu integrieren,
- bewegliche Teile (z.B. Tore, Schiffe) zu animieren,
- kinetische Modelle (z.B. Tordynamik, Wasserniveau) zu hinterlegen,
- Umgebungsmodelle (z.B. Anziehungskraft, Himmel) einzupassen,
- Steuerungsinstrumente (z.B. zum Fahren von Antrieben) einzubinden,
- Messinstrumente zur Beurteilung (z.B. von Distanz, Volumen) aufzunehmen,
- Beurteilungen zu dokumentieren (z.B. mithilfe von Foto und Film),
- Maßnahmen zu entwickeln, umzusetzen und zu evaluieren und
- ein fertiggestelltes dynamisches VR-Planungsmodell zukünftiger, standardisierter Schleusen bereitzustellen.

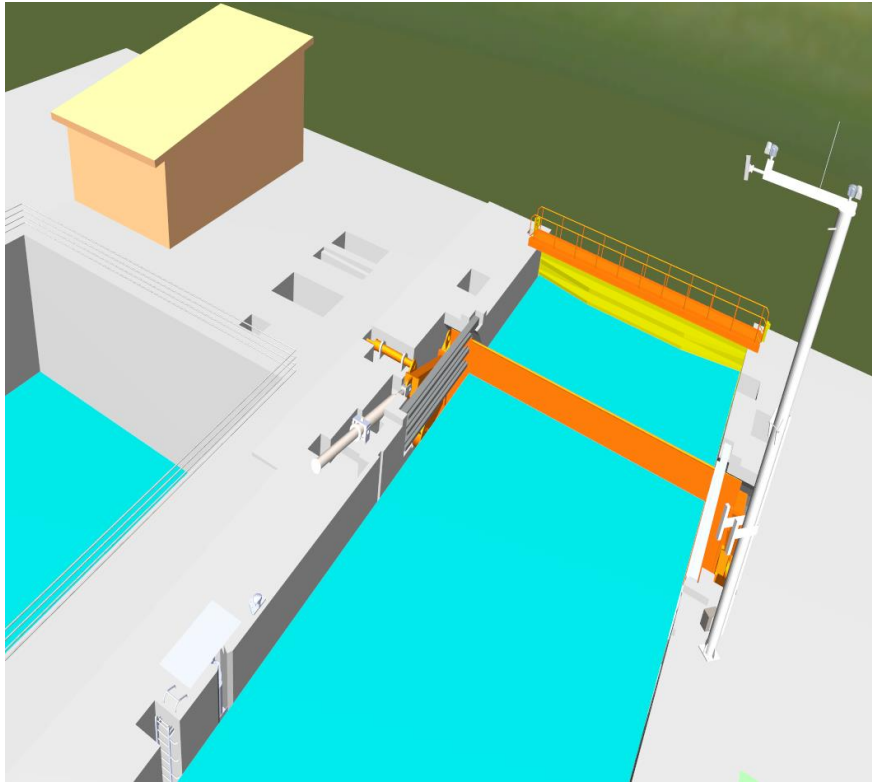
### 3. Ergebnisse

3D modellierte und in Polygonnetze konvertierte Komponenten zeigen aktuell bereits in Grundzügen eine virtuelle, zukünftige und standardisierte Schleusenanlage. Im Maschinenhaus am Oberhaupt (Abb. 1) befindet sich das Hydraulikaggregat für den Zylinder des Drehsegmenttors. Anhand dieses Ausschnitts werden unterschiedliche Sichtweisen der Arbeitsschutzbeurteilungen veranschaulicht.

Mit einer Risikobeurteilung wird untersucht, ob und inwieweit während Aufbau, Betrieb, planmäßiger Unterhaltung und Instandsetzung z.B. vom Hydrauliksystem mit Aggregat, Zylinder und Verbindungen Gefährdungen und Risiken ausgehen. Als standardisiertes Objekt ist zwar für das Aggregat eine wetterfeste Installation vorgesehen, allerdings werden bei der Risikobeurteilung dann nur allgemeine Gebäudeanforderungen berücksichtigt, das Hydrauliksystem selbst jedoch spezifischer beurteilt.

Mit der Perspektive einer Gefährdungsbeurteilung wird jede Art von Tätigkeit im Maschinengebäude analysiert, inwieweit dabei etwa bei Tätigkeiten am oder in unmittelbarer Nähe des Hydraulikaggregats auch (neue) Gefährdungen entstehen. In den Fokus der Gefährdungsbeurteilung rückt das Aggregat bei anstehenden Instandhaltungsarbeiten. Eine Analyse von Gefährdungen und Risiken bezieht sich dabei dann auf die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung sowie Rahmenbedingungen (z.B. Raum, Beleuchtung) der Tätigkeiten und schließt Arbeitsflächen, Zugänge sowie Verkehrswege im und zum Gebäude ein.

Bei der Unterlage für spätere Arbeiten wird etwa das Maschinengebäude, in dem das Hydraulikaggregat untergebracht ist, detaillierter betrachtet. Dabei interessieren Gefährdungen und Risiken beim zukünftigen Transport des Aggregats durch Zugänge, beim Reinigen von Fenstern oder beim Einrüsten des Gebäudes.



**Abbildung 1:** Oberhaupt einer standardisierten Schleuse im unvollständigen VR-Planungsmodell.

#### 4. Diskussion

Im Rahmen der Projektarbeit wurde ein VR-Planungsmodell für standardisierte Schleusen entwickelt, mit dem für verschiedene Szenarien Arbeitsschutzbeurteilungen durchgeführt werden sollen. Das aktuell noch statische VR-Planungsmodell wird dynamisch und mit weiteren Details angereichert, bevor Beurteilungsinhalte zunächst exemplarisch zur Erprobung des Modells ausgewählt und angewendet werden (Nickel et al. 2015a). Am fertiggestellten Modell werden die Arbeitsschutzbeurteilungen systematisch durchgeführt und dabei, sofern erforderlich, Maßnahmen zur Verbesserung des Arbeitsschutzes entwickelt und am virtuellen Planungsmodell evaluiert.

Entwickelte Maßnahmen werden in die Steckbriefe für standardisierte Objekte (Wachholz 2015) und in die aktuell laufenden Planungen für Schleusenanlagen integriert. Bereits vorhandene Musterbeurteilungen (z.B. Schneider 2010, UVB 2015) sollen fortgeschrieben werden. Das dynamische VR-Planungsmodell, im Maßstab 1:1 im SUTAVE-Labor des IFA oder auf anderen Medien kleiner dargestellt, wird auch die Erstellung weiterer Unterlagen (z.B. Betriebsanleitungen, Betriebs- und Arbeitsanweisungen, Unterweisungen) unterstützen. Das vorliegende Projekt ist für ähnliche Anliegen des Arbeitsschutzes wegweisend.

Die Arbeitsschutzbeurteilungen im Projekts haben unterstützenden und orientierenden Charakter, führen aber, sofern erforderlich, zu Veränderungen der realen Planung. Werden Beurteilungen bereits in der Planungsphase einer technischen An-

lage durchgeführt, so ist auch das ein gedankliches Vorwegnehmen von Funktionsweisen, Einsatzmöglichkeiten, Tätigkeiten und damit potenziell einhergehenden Gefährdungen und Risiken. Das Vorwegnehmen ist eingebettet in einen klar umrissenen Rahmen eines Beurteilungsgegenstands in Planung und in bekannte Szenarien; es ist daher nicht beliebig, sondern zweckmäßig und zielführend. Eine teilweise Vermischung der verschiedenen Arbeitsschutzbeurteilungen ist im vorliegenden Projekt praktisch. Das ändert aber nichts daran, dass die einzelnen Beurteilungen eine eigenständige Rechtsgrundlage haben, unabhängig voneinander Bestand haben, jeweils vollständig, zu verschiedenen Zeiten und ggf. auch wiederholt durchgeführt werden müssen. Rechtlich verbindlich sind lediglich die Beurteilungen, die bezogen auf reale und fertiggestellte Arbeitsmittel bzw. Arbeitstätigkeiten im Arbeitssystem mit voraussichtlich dann verringertem Aufwand wiederholt durchgeführt werden.

## 5. Literatur

- Chun CK, Li H, Skitmore RM (2012) The use of virtual prototyping for hazard identification in the early design stage. *Constr. Innov.* 12(1):29-42.
- Fraser I (Red.) (2010) Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (2. Aufl.). Brüssel: Europäische Kommission, Unternehmen und Industrie.
- Hale KS, Stanney KM (2015) *Handbook of virtual environments*. Boca Raton: CRC Press.
- Jander A (2012) Aktuelle Situation der Standardisierung von Schleusen. In: Tagungsband BAWKolloquium 2012 Innovation mit Tradition: Hydraulischer Entwurf und Betrieb von Wasserbauwerken, pp. 33–38, BAW, Karlsruhe.
- Merdian J (1995) Risikobeurteilung in Arbeitssystemen. *Die BG* 10: 518-524.
- Nickel P (2016) Extending the effective range of prevention through design by OSH applications in virtual reality. In: Nah FFH, Tan CH (Eds.) *HCIBGO: Information Systems, Part II, LNCS 9752*. Cham: Springer, 325-336.
- Nickel P, Lungfiel A, Huelke M, Pröger E, Kergel R (2013) Virtuelle Realität unterstützt Risikobeurteilung einer Schiffsschleuse. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) (Hrsg.) *Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung – Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen*. Dortmund: GfA-Press, 493-496.
- Nickel P, Kergel R, Wachholz T, Pröger E, Lungfiel A (2015a) Setting-up a virtual reality simulation for improving OSH in standardisation of river locks. In: *Safety of Industrial Automated Systems, SIAS 2015*. Berlin: DGUV, 223–228.
- Nickel P, Pröger E, Lungfiel A, Kergel R (2015b) Flexible, dynamic VR simulation of a future river lock facilitates prevention through design in occupational safety and health. In: *IEEE VR 2015, Annual International Symposium on Virtual Reality*, pp. 385–386. IEEE Digital Library.
- Pröger E, Nickel P, Lungfiel A (2015) Risikobeurteilung nach Maschinenrichtlinie an einer virtuellen Neckar-Schleuse. *Der Ingenieur* 54(2): 9-13.
- RAB 32 (2003) Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen, RAB 32: Unterlage für spätere Arbeiten. *BArbBI* 6/2003:73 ff.
- Schneider W (2010) *Musterrisikobeurteilung an einer Schleuse*. Koblenz: WSV-FVT.
- UVB (2015) *Handlungshilfe 4.0. Beurteilung der Arbeitsbedingungen in der Bundesverwaltung sowie in Betrieben und Einrichtungen der Länder und Kommunen*. Wilhelmshaven: Unfallversicherung Bund und Bahn (UVB).
- Wachholz T (2015) Standardisierung von Wasserbauwerken in der WSV. In: Tagungsband BAW Kolloquium Wasserbauwerke – Vom hydraulischen Entwurf bis zum Betrieb, 20.-21.05.2015, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 9-17.
- Wickens CD, Hollands JG, Banbury S, Parasuraman R (2013) *Engineering Psychology and Human Performance*. Pearson, Upper Saddle River.

**Danksagung:** Das Projekt wurde von der UVB beauftragt und wird vom IFA in enger Kooperation mit verschiedenen Bereichen der WSV (z.B. GDWS, GDWS Standort Hannover, Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken, WNA Datteln, Bhf Anderten des WSA Braunschweig), der UVB, dem BMVI und der BG Verkehr bearbeitet.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

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