

# Virtuelle Realität im Arbeitsschutz für mehr Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Peter Nickel, Andy Lungfiel, Michael Hauke, Georg Nischalke-Fehn, Michael Huelke und Michael Schaefer, Sankt Augustin

**Virtuelle Realität (VR) wird in vielen verschiedenen Branchen eingesetzt. Anwendungsbereiche sind die Visualisierung von Produkten und Prozessen, ihre Analyse, Gestaltung und Evaluation sowie das Training mit Produkten und Prozessen. Im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) wurde die Arbeit im VR-Labor SUTAVE<sup>1)</sup> aufgenommen. VR wird dabei für Forschung und Beratung im Arbeitsschutz genutzt und unterstützt vorrangig eine sichere und gebrauchstaugliche Gestaltung von Produkten und Prozessen. Anwendungsschwerpunkte wie z. B. Produktsicherheit während der Entwicklung evaluieren oder Risiko- und Gefährdungsbeurteilung in VR werden anhand aktueller Projekte vorgestellt.**

**V**irtuelle Realität (VR) macht es möglich, dass man selbst an einem virtuellen Arbeitsplatz mit virtuellem Roboter arbeiten kann und sich dabei natürlich verhält. Bearbeitet man dort seine Aufgaben, dann kann man bereits einen ersten Eindruck von den späteren realen Gefährdungen an einem solchen Arbeitsplatz bekommen. Die Bilder in diesem Beitrag zeigen Beispiele zum Einsatz von VR für Anwendungen in der Mensch-System Interaktion. Im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) wird VR eingesetzt, um die Sicherheit [1] und die Gebrauchstauglichkeit [2] von Produkten und Prozessen systematisch zu untersuchen. Hierüber kann zur ergonomischen Gestaltung [3] beigetragen werden. Aus den Ergebnissen sollen praxistaugliche Maßnahmen und Empfehlungen zur Verhütung von Unfällen und zur Vermeidung von Gefährdungen abgeleitet werden.

Die Anwendungsbereiche von VR sind sehr vielseitig [4; 5]. Weit verbreitet ist ihre Nutzung zur Visualisierung und im Training. Aber auch zur Analyse, Gestaltung und Evaluation von Produkten und Prozessen wird VR immer häufiger eingesetzt. In allen Phasen des Produktlebenszyklus, von der Entwicklung und Konstruktion über die Verwendung bis hin zur Entsorgung, können VR-basierte Methoden verwendet werden. VR ist ebenso eine Simulationstechnik, die tatsächliche und künstliche Arbeitssysteme [6] virtuell darstellen kann.

Ein realer Mitarbeiter kann direkt mit virtuellen Komponenten des Arbeitssystems interagieren (Arbeitsmittel, -platz, -umgebung und Bedingungen zur Bearbeitung der Aufgabe). Technisch sind für ein VR-Labor Rechner- und Trackingsysteme, Projektionstechnik und Software notwendig. Damit muss dann ein dreidimensionales dynamisches Arbeitssystem virtuell erzeugt und so auf die menschliche Informationsverarbeitung abgestimmt werden, dass es wie in der Realität wirkt.

Im Arbeitssystem können sich virtuelle Arbeitsmittel, z. B. Maschinenteile, selbständig bewegen oder vom Menschen bewegt werden. Perspektive, Akustik und Haptik ändern sich in der VR abhängig davon, wo der Mitarbeiter steht, wie er sich bewegt und was er macht. Das alles geschieht kontinuierlich und in Echtzeit. Wenn Mitarbeiter Informationen in der VR so wie in der Realität wahrnehmen, verarbeiten und umsetzen (z. B. erkennen, entscheiden, handeln), dann wird natürliches Verhalten des Menschen auch in einem virtuellen Arbeitssystem möglich. Dies gestattet es dem Menschen, in die VR so einzutauchen und in der VR so zu interagieren, dass er sich in der virtuellen oder gemischten Welt präsent fühlt [4; 7].

In VR können ganze Arbeitssysteme simuliert werden. Zudem lassen sich bei Bedarf auch Modelle von Menschen mit einigen ihrer Eigenschaften (z. B. anthropometrischen Parametern) einbeziehen [8]. Viele Anwendungen nutzen gemischte Realitäten. Darin werden einige der Komponenten des Arbeitssystems virtuell (z. B. virtueller Roboter in virtueller Montagehalle), andere real als Person oder als physi-

kalischer Aufbau integriert (z. B. Montagetisch und Stellteile für Hubarbeitsbühne). Da zumindest ein Teil virtuell umgesetzt ist, wird nachfolgend auch für die gemischte Realität der Begriff VR verwendet.

In Produktion und Dienstleistung hat sich der Einsatz von VR als Methode und Technik weit verbreitet. Die Qualität der Repräsentation von Arbeitsprozessen in VR wurde immer weiter verbessert [9] und für Bereiche wie z. B. Visualisierung, Training oder Gestaltung eröffnen sich weitere Möglichkeiten [7]. Wie oder für was VR auch eingesetzt wird, der Nutzungskontext für ein Arbeitsmittel kann schnell und einfach variiert und auch das Arbeitsmittel selbst kann umgestaltet werden. Der Aufwand dafür ist im Vergleich zu beispielsweise physikalischen Umbauten an einer Maschine geringer.

Eine VR-Anwendung zur Visualisierung [10] zielt darauf ab, Informationen zu präsentieren und diese auf Wunsch zu variieren. Visualisiert wird meist das, was ansonsten unsichtbar wäre (z. B. Strömungsverlauf im Windkanal), was noch nicht existiert (z. B. zukünftiges Design eines Erdbaufahrzeugs) oder was gerade nicht da ist (z. B. gerade in Japan genutzte Spezialmaschine). VR kann Informationen für viele Sinne, dynamisch, stereoskopisch, interaktiv und in Echtzeit darstellen (z. B. Begehen verschiedener verfahrenstechnischer Anlagen).

Der Einsatz von VR im Training eignet sich dann, wenn sich durch die räumliche Wahrnehmung in VR bessere Effekte erzielen lassen als durch Trainingsszenarien ohne erlebbare Tiefeninformationen. VR

<sup>1)</sup> [www.dguv.de/ifa/sutave](http://www.dguv.de/ifa/sutave); SUTAVE – Safety and Usability Through Applications in Virtual Environments



**Bild 1** Modell des SUTAVE-Labors mit Interaktionsfläche und Präsentationsleinwand sowie Räumen für die Steuerung und Vorbereitung von Untersuchungen.

kann situatives Lernen (z. B. durch Interaktion im Nutzungskontext) bereichern und neue Zugänge zu fertigungs-, regel- und wissensbasierter Qualifikationsvermittlung erschließen [11]. Schließlich wird VR eingesetzt zur Steuerung von z. B. gefährlichen oder räumlich getrennten, nicht erreichbaren Bearbeitungsprozessen, wie z. B. in der flexiblen Endoskopie und der Roboterfernsteuerung in kontaminierter Umgebung [12].

Der Einsatz von VR zur Analyse, Gestaltung und Evaluation von Produkten und Prozessen erstreckt sich auf Anwendungsbereiche beispielsweise der Produktion, Prozessindustrie, Medizintechnik, Verkehr oder Dienstleistung [5]. Darunter finden sich viele Anwendungen, die auch einen Beitrag für den Arbeitsschutz leisten, indem sie Unfälle in ihrer Schwere reduzieren oder ganz verhindern und Gefährdungen vermindern oder ausschalten helfen.

### Virtuelle Realität im Arbeitsschutz

Positive Erfahrungen aus vielen Anwendungsbereichen machen VR auch für den Einsatz im Arbeitsschutz attraktiv. VR zur Unterstützung des Arbeitsschutzes verschafft der Präventionsarbeit Vorteile einer Vorlaufforschung, sodass Arbeitsschutzmaßnahmen nicht erst im Nachhinein, sondern stärker als bisher bereits während der Entwicklung von Produkten und Prozessen integriert werden können. Geplante Produkte, die sich bereits in VR entwickeln lassen, können bereits unter realitätsnahen Bedingungen im Nutzungskontext evaluiert werden. Darüber hinaus kann das Arbeiten in Gefahrenbereichen simuliert

werden, ohne Probanden einer tatsächlichen Gefahr auszusetzen. Die Wirksamkeit von Maßnahmen, mit denen Unfälle verhindert und Gefährdungen reduziert werden sollen, lässt sich im realitätsnahen Nutzungskontext systematisch untersuchen. Neue innovative Maßnahmen werden angeregt.

Erfahrungen mit einem arbeitsschutzrelevanten Einsatz von VR liegen bereits aus vielen Anwendungen vor [5]. Der Einsatz von VR in nationalen und internationalen Arbeitsschutzorganisationen soll anhand einer kleinen Auswahl illustriert werden. Im polnischen Arbeitsschutzinstitut CIOP wurden u. a. virtuelle Arbeitsszenarien mit Gabelstaplern für Trainingszwecke entwickelt [13]. Das finnische Arbeitsschutzinstitut FIOH setzte VR ein, um Arbeitsweisen zu untersuchen, mit denen Fahrer versuchen, Risiken während des Führens von Nutzfahrzeugen zu kompensieren und um Gegenmaßnahmen zu entwickeln [14]. Gefährdungen bei der Arbeit an virtuellen Pressen wurden im französischen Arbeitsschutzinstitut INRS in einem virtuellen Szenario untersucht. Ergebnisse der Laborstudien mit VR wurden mit denen an realen Pressen verglichen [15]. Im finnischen Forschungsinstitut VTT wurden Arbeitsplätze, z. B. in Kränen und Erdbaumaschinen, auf ihre sicherheitsgerechte und ergonomische Gestaltung in Design-Reviews untersucht und optimiert [16]. Die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) kombinierte ein physikalisches Modell eines Gabelstaplers mit einem Head-Mounted-Display, in dem virtuell Arbeitsszenarien gezeigt werden [17]. Berufsgenossenschaften, die sich zur BG RCI zusammengeschlossen haben, unterstützen den Einsatz von VR, um während der Anlagenplanung das Gefährdungspotenzial zu verringern [18] und um mit dem Aktionsmedium „Operation Safety“ viele Gefahrensituationen erlebbar zu machen und sicherheitsgerechtes Verhalten zu trainieren [19].

Im IFA wurde die Arbeit im Labor SUTAVE aufgenommen. SUTAVE<sup>1)</sup> ist ein englischer Begriff, der für Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit durch den Einsatz von VR-Methoden für Anwendungen im Arbeitsschutz steht<sup>2)</sup>. Das IFA verfügt über ein SUTAVE-Labor und ein SUTAVE-Team.

<sup>2)</sup> Über das Thema VR im Arbeitsschutz werden unter [www.dguv.de/ifa/sutave](http://www.dguv.de/ifa/sutave) IFA-Fachinformationen zur Verfügung gestellt.

Das SUTAVE-Labor des IFA hat eine knapp 10 m<sup>2</sup> große Interaktionsfläche zur freien Bewegung, die durch eine abgerundete Projektionsleinwand virtuell erweitert wird (**Bild 1**). Die stereoskopische Projektion erfolgt auf einer Gesamtfläche mit 8 m Breite und 3 m Höhe, aufgespannt auf einem Kreissegment mit einem Öffnungswinkel von 164° und einem Radius von 2,80 m. Durch die Auslegung des Raums und der Projektionsfläche kann das Blickfeld des Probanden abgedeckt werden. Für Benutzer erleichtert dies ein vollständiges Eintauchen in die virtuelle Welt und fördert das Empfinden von Präsenz in der virtuellen Welt. Das SUTAVE-Labor ist für viele verschiedene Anwendungen flexibel einsetzbar.

Das interdisziplinäre SUTAVE-Team hat nach einer sorgfältigen Recherche das Labor aus marktüblichen Komponenten geplant und aufgebaut. Sofern für die Bearbeitung von VR-Vorhaben erforderlich, können Anpassungen am Labor auch selbst umgesetzt werden. Die virtuellen oder gemischten Arbeitsszenarien werden vom Team bedarfsgerecht zusammengestellt. Das Team bearbeitet Forschungsprojekte, Design-Reviews, Visualisierungen und virtuelle Produktprüfungen. Den beauftragenden Unfallversicherungsträgern (UVT) oder externen Kooperationspartnern bietet das Team die Abstimmung und Unterstützung im Prozess von der Definition der Untersuchungsinhalte über die Datenauswertung bis hin zur Berichterstattung und Unterstützung bei der Umsetzung in die Praxis.

### Virtuelle Realität für Anwendungen im Arbeitsschutz

Die laufenden Projekte und Vorhaben, die vom SUTAVE-Team aktuell bearbeitet werden, beziehen sich auf unterschiedliche Anwendungsbereiche und lassen sich folgenden inhaltlichen Schwerpunkten zuordnen:

- Produktsicherheit während Konstruktion, Einsatz und Entsorgung mit Nutzern im Nutzungskontext evaluieren.
- Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit in virtueller Gefahr testen; der Mensch verhält sich natürlich und ist ohne Gefährdung.
- Risiko- und Gefährdungsbeurteilung in VR durch interdisziplinäre Experten im Design-Review.
- Produkte und Prozesse effizient variieren und Mensch-System-Interaktion erforschen.



**Bild 2** Benutzer einer virtuellen fahrbaren Hubarbeitsbühne mit realem Stellteil auf dem Weg zu seinem virtuellen Arbeitsplatz.

### Mit VR Produktsicherheit über den ganzen Produktlebenszyklus evaluieren

Von der Entwicklung und Konstruktion über den Einsatz bis hin zur Entsorgung lassen sich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit in VR evaluieren. Durch eine Simulation von Produkten und Prozessen können der Arbeitsschutz und Schutzmaßnahmen auch in komplexen oder zukünftigen Arbeitssystemen bewertet werden. In einem der laufenden Projekte soll eine neue ergänzende Schutzmaßnahme für Hubarbeitsbühnen (HAB) in VR demonstriert und evaluiert werden, lange bevor sie in der betrieblichen Praxis umgesetzt werden kann. Analysen der Unfälle mit Hubarbeitsbühnen zeigen gehäuft Gefährdungen durch Absturz und durch Einquetschen. Erste Lösungsvorschläge für Schutzmaßnahmen der Verhaltens- und Verhältnisprävention wurden bereits entwickelt, darunter jüngst ein Prototyp eines innovativen Stellteils als ergänzende Schutzmaßnahme [20].

Der Fachausschuss Förder- und Lagertechnik der Unfallversicherungsträger beauftragte daher das IFA mit einem Forschungsprojekt<sup>3)</sup>, durch das die frühe Umsetzung von Schutzmaßnahmen in die betriebliche Praxis gefördert werden soll. Die innovative Schutzmaßnahme soll ein Einklemmen oder Einquetschen vermeiden oder die Unfallschwere mindern helfen

[21]. Da die Maßnahme mit relativ geringem Aufwand in eine virtuelle HAB integriert werden kann, soll sie in gemischter Realität im SUTAVE-Labor evaluiert werden. Bei der Maßnahme handelt es sich um ein Stellteil zur Steuerung von HAB, das um eine Steuerungsfunktion so ergänzt wurde, dass in bestimmten Arbeitssituationen ein Not-Stop ausgelöst werden kann. Sowohl Akzeptanz, Wirksamkeit als auch Gebrauchstauglichkeit eines Prototyps der Maßnahme sollen in virtuellen Arbeits- und Unfallszenarien von Probanden während der Bearbeitung praxisnaher Aufgaben untersucht werden (**Bild 2**).

Dabei wird berücksichtigt, dass Schutzmaßnahmen nicht nur wirksam vor Gefährdungen schützen, sondern zur Vermeidung von Manipulationen [22] im bestimmungsgemäßen Betrieb auch nicht behindern sollten. So lässt sich bereits während der Entwicklung der Maßnahme ihre Einsatzmöglichkeit für die betriebliche Praxis bewerten. Als erste Projektergebnisse konnten nach Recherchen zu Unfallanalysen begünstigende Gefährdungsbedingungen identifiziert werden. Mit Expertenrunden und virtuellen Probefahrten mit einer einfachen Ausführung einer virtuellen HAB wurden geeignete Szenarien in gemischter Realität für die Untersuchungen abgestimmt [23]. Das Projekt zeigt neue Wege der Arbeitsschutzforschung, da eine zukünftige Umsetzung der Maßnahmen frühzeitig gefördert werden kann.

### Mit VR Gefahren untersuchen, ohne Menschen tatsächlich zu gefährden

Der Einsatz von VR ermöglicht einen virtuellen Einblick in Gefahrensituationen. Da sich Menschen auch bei virtueller Gefährdung realitätsnah verhalten, können in VR Gefahrenwirkungen demonstriert

werden, ohne tatsächliche Gefahr. Bereits laufende Aktivitäten des IFA bei der Entwicklung von Schutzkonzepten für neuartige Arbeitsplätze, an denen Menschen direkt mit Robotern zusammenarbeiten [24], sollen nun mithilfe von VR-Projekten erweitert werden.

Durch Untersuchungen im SUTAVE-Labor mit Probanden kann ermittelt werden, wie sich Roboterauslegung und -bewegung auf die menschliche Wahrnehmung von Gefahren auswirken. Durch eine Pilotstudie konnten Erhebungsinstrumente erprobt werden, die zur Bewertung des menschlichen Verhaltens in Mensch-Maschine-Schnittstellen herangezogen werden können. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass sich mit dem SUTAVE-Labor Untersuchungen zu den hier vorgestellten Fragestellungen grundsätzlich bearbeiten lassen [25]. Es wird erwartet, dass Ergebnisse aus VR-Projekten für Normungsgremien nutzbar werden und die UVT bei der Beratung zur Mensch-Roboter-Interaktion unterstützen können. Eines der Forschungsprojekte wurde vom IFA initiiert<sup>4)</sup>. Ein anderes Projekt wird im Forschungsverbund durchgeführt, von der Bayerischen Forschungsförderung [26] finanziert und zielt auf die sichere und effiziente Einbindung von Aufgabe und Mensch in Mensch-Roboter-Interaktionen<sup>5)</sup>. **Bild 3** zeigt einen virtuellen Versuchsarbeitsplatz, an dem Mensch und Roboter zusammenarbeiten sollen.

### Mit VR im Design Review zur Gefährdungsbeurteilung

In VR können verschiedene Arbeitsabläufe für einen Design-Review [27] simuliert, animiert und nachgestellt werden. Dazu wird gerade ein Vorhaben mit Interessenten abgestimmt. Dabei sollen Risiko- und Gefährdungsbeurteilungen mit einem interdisziplinären Expertenteam bereits in der Planungsphase einer großtechnischen Anlage ermöglicht werden.

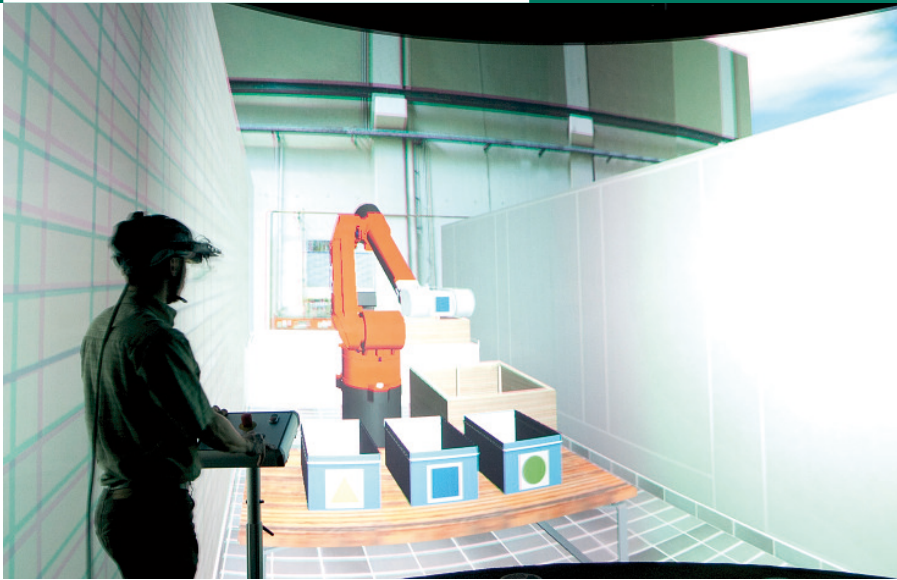
Aufbauend auf vorhandenen Planungsinformationen und Konstruktionsdaten (z. B. aus CAD-Software) wird eine virtuelle technische Anlage im Nutzungskontext im Maßstab 1 : 1 im SUTAVE-Labor visualisiert. Für eine zentralisierte Überwachung der Anlagensicherheit soll eine sicherheitsgerechte und gebrauchstaugliche Auslegung von Kamerasystemen bei verschiedenen Betriebszuständen und -bedingungen in der virtuellen Anlage ermittelt werden. Dabei sollen potenzielle Gefährdungen, die im realen Einsatz einer solchen Anlage auftreten können, berücksichtigt werden<sup>6)</sup>.

<sup>3)</sup> www.arbeitsschutz-forschung.de; IFA5118

<sup>4)</sup> www.arbeitsschutzforschung.de; BGIA5110

<sup>5)</sup> www.arbeitsschutzforschung.de; IFA5115

<sup>6)</sup> Zu weiteren Entwicklungen dieses geplanten Vorhabens wird im Internet unter www.arbeitsschutzforschung.de und unter den Fachinformationen zu VR im IFA (www.dguv.de/ifa/sutave) berichtet werden.



**Bild 3** Mensch-System-Interaktion während der Steuerung eines virtuellen Roboters am Arbeitsplatz mit berührungslos wirkender Schutzeinrichtung.



**Bild 4** Virtuelle berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen mit links zwei- und rechts dreidimensionalem Überwachungsbereich. Bilder 1 bis 4: IFA

### Mit VR Mensch-System-Interaktionen systematisch erforschen

Gestaltungsvarianten von oder Veränderungen an Produkten und Prozessen können in VR effektiv und effizient umgesetzt und Auswirkungen auf die Mensch-System-Interaktion ermittelt werden. Damit ist die empirische und systematische Analyse, Gestaltung und Evaluation von Produkten und Prozessen möglich, mit der belastbare Ergebnisse für die weitere nationale und internationale Verwendung im Arbeitsschutz (z. B. bei der Normung) bereitgestellt werden können. Darüber hinaus kann durch den Einsatz von VR der Aufwand für physikalische Umbauten reduziert und der Umfang an aufwendigen Feldstudien gesenkt werden.

Bei einem laufenden Projekt<sup>7)</sup> im Auftrag des Fachausschusses „Maschinenbau, Hebezeuge, Hütten- und Walzwerksanla-

gen“ werden beispielsweise durch Untersuchungen im SUTAVE-Labor Entscheidungshilfen gegeben. Bisherige Anwendungen und Untersuchungen zu berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen beziehen sich auf zweidimensionale Überwachungsbereiche (**Bild 4**, links). Viele Erkenntnisse dazu sind bereits in Normen [28] berücksichtigt. Bedarf an neuen Erkenntnissen gibt es für den Bereich von Schutzeinrichtungen mit dreidimensionalen Überwachungsbereichen (Bild 4, rechts). Einerseits bieten diese Einrichtungen neue Möglichkeiten für die Absicherung von Schutzbereichen. Andererseits

<sup>7)</sup> www.arbeitsschutz-forschung.de; IFA5116

<sup>8)</sup> Die weiteren Entwicklungen zu VR im Arbeitsschutz können im Internet unter den Fachinformationen des IFA (www.dguv.de/ifa/sutave) verfolgt werden.

sind Auswirkungen auf das Benutzerverhalten durch einen nun dreidimensionalen Überwachungsbereich und eine andere Funktionsweise bisher nur unzureichend bekannt. Daher soll im Projekt auch ermittelt werden, welchen Einfluss die Sichtbarkeit der Schutzräume bei beiden Typen von Schutzeinrichtungen auf die Gebrauchstauglichkeit haben kann und ob sich durch die Raum- im Vergleich zur Flächensicherung neue Anforderungen an den Einsatz ergeben. Aus den Studien mit VR-Methoden könnten sich auch Hinweise ergeben, inwieweit geltende normative Sicherheitsabstände zu Gefahrenbereichen übertragen werden können.

### Weitere Entwicklungen

Das IFA beschreitet durch den Einsatz von VR im Arbeitsschutz mit dem Anwendungsbereich der sicheren und gebrauchstauglichen Entwicklung von Mensch-System-Interaktion einen innovativen Pfad der nationalen und internationalen Arbeitsschutzforschung. Mit VR lassen sich Arbeitsschutzlösungen bereits in frühen Entwicklungsstadien im geplanten Nutzungskontext evaluieren und damit die Praxiseinführung frühzeitig unterstützen. Gleichzeitig werden am Arbeitsschutz Interessierte über einen wirksamen Einsatz von Maßnahmen durch Demonstrationen und belastbare Untersuchungsergebnisse informiert. Das kann die Akzeptanz bei den Beteiligten und Betroffenen weiter fördern. Mithilfe von VR können auch potenzielle Unfallszenarien als relevanter Nutzungskontext für Produkte und Prozesse in Evaluationsstudien berücksichtigt werden, ohne Mitarbeiter dabei tatsächlich zu gefährden.

Ergebnisse aus Evaluationsstudien in VR sollten allerdings nicht ohne Hinterfragung in die betriebliche Praxis übertragen werden. Da VR eine Simulation ist, wird sie Feldstudien nicht ersetzen, aber den Umfang dafür reduzieren können. Erst wenn belastbare Informationen zur Übertragbarkeit verfügbar sind, können VR-Studien eine erste Bewertungsgrundlage für aktuelle und zukünftige Arbeits- und Unfallszenarien bieten und eine weitere Perspektive für effektive und effiziente Präventionsmaßnahmen geben<sup>8)</sup>. TS 123

**Peter Nickel, Andy Lungfiel, Michael Hauke, Georg Nischalke-Fehn, Michael Huelke, Michael Schaefer**, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

## Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung. Berlin: Beuth Verlag 2011.
- [2] DIN EN ISO 9241-11: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze. Berlin: Beuth Verlag 1999.
- [3] DIN EN ISO 26800 (Entwurf): Ergonomie – Allgemeine Vorgehensweise, Prinzipien und Konzepte. Berlin: Beuth Verlag 2009.
- [4] *Burdea, G. C.; Coiffet, P.*: Virtual reality technology. Hoboken: Wiley 2003.
- [5] *Stanney K. M.* (Hrsg.): Handbook of virtual environments. Mahwah: LEA 2002.
- [6] DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth Verlag 2004.
- [7] *Craig, A. B.; Sherman, W. R.; Will, J. D.*: Developing virtual reality applications: Foundations of effective design. Burlington: Elsevier 2009.
- [8] *Duffy, V. G.* (Hrsg.): Advances in applied digital human modeling. Boca Raton: CRC Press 2010.
- [9] *Stanney, K. M.; Cohn, J.*: Virtual environments. In: Salvendy, G. (Hrsg.): Handbook of human factors and ergonomics, S. 1079-1096. Hoboken: Wiley 2006.
- [10] *Bryson, S.*: Information visualization in virtual environments. In: *Stanney, K. M.* (Hrsg.): Handbook of virtual environments, S. 1101-1118. Mahwah: LEA 2002.
- [11] *Salas, E.; Oser, R. L.; Cannon-Bowers, J. A.; Daskarolis-Kring, E.*: Team training in virtual environments: an event-based approach. In: *Stanney, K. M.* (Hrsg.): Handbook of virtual environments, S. 873-892. Mahwah: LEA 2002.
- [12] *Kheddar, A.; Chellali, R.; Coiffet, P.*: Virtual environment – Assisted teleoperation. In *Stanney, K. M.* (Hrsg.): Handbook of virtual environments, S. 959-997. Mahwah: LEA 2002.
- [13] *Saulewicz, A.; Myrcha, K.; Skoniecki, A.; Kalwasinski, D.*: VR fork lift simulator – challenges and limitations. Presentation on the Virtsafe Workshop, July 4-6, 2005, CIOP-PIB, Warsaw, Poland.
- [14] *Leskinen, T.*: Improving safety by interactive design and simulation in immersive virtual work space. Presentation on the Virtsafe Workshop, July 4-6, 2005, CIOP-PIB, Warsaw, Poland.
- [15] *Marc J.; Belkacem N.; Marsot J.*: Virtual reality: A design tool for enhanced consideration of usability 'validation elements'. Safety Science 45 (2007), S. 589-601.
- [16] *Määttä, T. J.*: Virtual environments in machinery safety analysis and participatory ergonomics. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing 17 (2007) Nr. 5, S. 435-443.
- [17] *Barz, M.*: Mitmachaktionen für Arbeitssicherheitstage und Unterweisungen. BGETEM-Zeitschrift „tag für tag“ 02/2010, S. 30-31.
- [18] *Kutscher, J.; Radek, E.* (Hrsg.): Mensch-Sicherheit-Technik. Gestern, Heute, Morgen. Heidelberg: BG Chemie 2003.
- [19] *Göbel, C.*: Operation Safety – Gefahren erleben, um zu lernen. Steine + Erden (2004) Nr. 5, S. 6-7. [www.aktionsmedien-bg.de/index.php?category=expo&section=&expo\\_expoDetail=1](http://www.aktionsmedien-bg.de/index.php?category=expo&section=&expo_expoDetail=1)
- [20] *Borowski, T.*: Sicherheitsmöglichkeiten von Bedienpulten und Geländern. Einsatzmöglichkeiten für Sensor- und Steuerungstechnik. Fachtagung „Sichere Benutzung von fahrbaren Hubarbeitsbühnen“, MMBG Bildungsstätte Haus Nümbrecht, 12. Mai 2010, Nümbrecht 2010. [www.hw-bg.de/DIENSTL/FS01/vortraege05\\_2010\\_nuembrecht/06a\\_sicherungsmae\\_gelaeandern\\_sensortechnik.pdf](http://www.hw-bg.de/DIENSTL/FS01/vortraege05_2010_nuembrecht/06a_sicherungsmae_gelaeandern_sensortechnik.pdf)
- [21] *Nischalke-Fehn, G.; Borowski, T.; Nickel, P.*: Einsatz von Sensor- und Steuerungstechnik zur Vermeidung von Unfällen mit Hubarbeitsbühnen. Vortrag zum 20. Fachgespräch Maschinen- und Gerätesicherheit des IFA, 6.-17. November 2010, Sankt Augustin.
- [22] *Apfeld, R.; Huelke, M.*: Manipulation von Schutzeinrichtungen – eine Herausforderung für neue Technologien. In: BGIA-Handbuch. Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Kennzahl 330100. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt Verlag 2009.
- [23] *Nickel, P.; Lungfiel, A.; Hauke, M.; Nischalke-Fehn, G.; Huelke, M.*: Virtuelle Realität zur Verbesserung von Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit in der Arbeit mit Hubarbeitsbühnen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess. Dortmund: GfA-Press 2011.
- [24] *Huelke, M.; Umbreit, M.; Ottersbach, H.-J.*: Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter. Maschinenmarkt 33 (2010), S. 32-34.
- [25] *Nickel, P.; Lungfiel, A.; Nischalke-Fehn, G.; Pappachan, P.; Huelke, M.; Schaefer, M.*: Evaluation of Virtual Reality for Usability Studies in Occupational Safety and Health. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2010). F6043, S. 1-6. June 14-15, 2010, Tampere, Finland. Helsinki: Finish Society of Automation.
- [26] Bayerische Forschungsstiftung: Jahresbericht 2009. München: BFS 2009.
- [27] DIN EN IEC 61160: Entwicklungsbewertung. Berlin: Beuth Verlag 2009.
- [28] DIN EN ISO 13855: Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen. Berlin: Beuth Verlag 2010.

**SAFE L**<sup>®</sup>  
 Umwelt-Lagertechnik  
 von **saebu**

- Zur Lagerung Wasser gefährdender und brennbarer Medien
- Für die Außenlagerung
- Einwandig verzinkt oder doppelwandig isoliert



Säbu · Postfach 13 54 · 51591 Morsbach · Tel. (0 22 94) 6 94 59 · Fax (0 22 94) 6 94 38 · E-Mail [vitt@saebu.de](mailto:vitt@saebu.de)

[www.saebu.de](http://www.saebu.de)