

Gebrauchstauglichkeit einer interaktiven virtuellen Umgebung zur Evaluation von Mensch-Maschine Schnittstellen

Peter NICKEL, Preethy PAPPACHAN, Andy LUNGFIEL,
Georg NISCHALKE-FEHN, Michael HUELKE, Michael SCHAEFER

*Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA),
Fachbereich 'Unfallverhütung und Produktsicherheit',
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin*

Kurzfassung: Da zur Gestaltung von Arbeitssystemen virtuelle Realität (VR) vielfältig genutzt wird, empfiehlt sie sich auch als effektives Werkzeug im präventiven Arbeitsschutz. Im Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) soll ein VR-System zukünftig zur Analyse und Evaluation der kognitiv-ergonomischen Schnittstellen-Gestaltung von Anlagen und Bauteilen eingesetzt werden. Daher wird zunächst die Gebrauchstauglichkeit des Systems selbst untersucht. Erste Ergebnisse lassen gute Einsatzmöglichkeiten im Bereich Unfallverhütung und Produktsicherheit erwarten.

Schlüsselwörter: Virtuelle Realität, Usability, Arbeitsschutz, Validierung.

1. Einleitung und Problemstellung

Virtuelle Realität (VR) ist eine Methode zur Analyse und Evaluation der kognitiv-ergonomischen Gestaltung von Mensch-Maschine Systemen in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses. VR ist ebenso eine Simulationstechnik, die dem Benutzer direkte Interaktionen mit virtuellen Repräsentationen tatsächlicher und/oder künstlicher Arbeitsumgebungen erlauben (Nickel & Nachreiner 2010). Die steigende Verbreitung von VR in Bereichen wie z.B. Produktion, Prozessindustrie, Medizintechnik oder Verkehr lässt auf den vielseitigen Einsatz von VR als Methode und Technik sowie auf eine mögliche hohe Qualität der Repräsentation tatsächlicher Arbeitsprozesse schließen (z.B. Stanney & Cohn 2006). Fortschritte in den Möglichkeiten zur Unterstützung von Prozessen der Informationsverarbeitung in der Mensch-Maschine Interaktion machen VR auch attraktiv für Anwendungen im Arbeits- und Gesundheitsschutz (z.B. Training und Produktgestaltung; Gude 2005, Määttä 2003). VR erscheint im Arbeitsschutz insbesondere nutzbar zur präventiven Unfallverhütung und Produktsicherheit. Mit VR können Sicherheitskonzepte bereits frühzeitig entwickelt, erprobt und integriert werden. Die forderungsgerechte Gestaltung der Aufgaben- und Interaktions-Schnittstellen kann mit VR formativ evaluiert und verbessert werden (Marc et al. 2007).

Der Aufbau und die (erstmalige) Nutzung eines VR-Systems sollten mit einer sorgfältigen Planung und Untersuchung seiner Gebrauchstauglichkeit (Usability) beginnen. Ein VR-System wird spezifisch für Anforderungen geplanter Anwendungen oder Einsatzgebiete ausgelegt. Das Zusammenwirken der Systemfunktionen und -eigenschaften ist daher – anders als bei bekannten Standardprodukten – noch unbekannt. Die Erfüllung von Systemanforderungen sollten daher überprüft und die Repräsentation tatsächlicher Arbeitsprozesse validiert werden (Marc et al. 2007).

Die Validierung zielt auf Vergleiche von Anforderung bzw. Ist-Zustand mit dem Ziel-Zustand der Gestaltung des Mensch-Maschine-Systems (Pejtersen & Rasmussen 1997). Dieser Vergleich fokussiert auf die Gestaltung des tatsächlichen Mensch-Maschine Systems und nicht nur seiner Simulation in VR. Es ist dabei günstig, wenn die simulierten Arbeitsbedingungen und die (Verhaltens-)Auswirkungen jenen am tatsächlichen Arbeitsplatz entsprechen. Zur Validierung sollten zunächst spezifizierte Anforderungen an das System überprüft werden (z.B. mit Dokumentenanalysen, Heuristiken und Expertenurteile) und dann die Übereinstimmung simulierter mit tatsächlichen Arbeitsprozessen getestet werden (z.B. mit experimentellen Studien).

Im Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) wurde eine Cave Automatic Virtual Environment (CAVE[®]) aufgebaut. Mit Usability-Studien soll untersucht werden, inwieweit die CAVE für potentielle zukünftige Analysen und Evaluationen der kognitiv-ergonomischen Gestaltung von Mensch-Maschine Schnittstellen genutzt werden kann. Ein Arbeitsplatz mit kollaborierendem Roboter wird als spezifische Anwendung aufgebaut um Arbeitsbedingungen und –auswirkungen in der CAVE im VR/Usability-Labor mit denen am tatsächlichen Arbeitsplatz im Umwelt/Usability-Labor des IFA zu vergleichen. Im Folgenden wird zum Stand der Umsetzung von Anforderungen beim Aufbau der CAVE und zu ersten Erfahrungen mit erforderlichen experimentellen Studien berichtet.

2. Erste Erfahrungen mit der CAVE

Um zukünftige Vorhaben mit der CAVE auch an großen Anlagen und Maschinen mit Sicherheitseinrichtungen durchzuführen ist eine große Projektionsfläche erforderlich. Gleichzeitig benötigt dabei der Anlagenbediener Bewegungsraum und während der Mensch-Maschine Interaktion sollte Immersion (Wahrnehmung des Eintauchens in die virtuelle Umgebung) gewährleistet bleiben. Im IFA wurde daher ein VR/Usability-Labor geschaffen, in dem eine CAVE von 3 m Höhe und 8 m Breite in einem 164° Kreissegment mit 2,80 m Radius ausgelegt werden konnte. Bereits beim Aufbau der CAVE auffällige Beeinträchtigungen der Wahrnehmung durch Licht- und Schallreflexionen konnten durch einen matt schwarzen Anstrich aller Laborflächen außerhalb der Projektionswand und eine Schalldämmung zur Absorption eines Echos beseitigt werden. Benutzungstests frontal zur gebogenen Projektionswand zeigten, dass der maximale Bereich für Tiefenwahrnehmung im menschlichen Gesichtsfeld abgedeckt wird und dass Immersion nicht durch Blicke über die Projektionswand hinaus beeinträchtigt wird. Der Benutzer kann sich vor der Projektionswand auf einer Fläche von 7 m² bewegen und ein virtueller Arbeitsplatz z.B. an einer großen Drehmaschine oder mit einem kollaborierenden Roboter kann im Gesichtsfeld vollständig projiziert werden (Abb. 1). Wie stark Immersion beeinträchtigt wird, wenn in der CAVE Arbeitsplätze simuliert werden, die tatsächlich einen weiteren Bewegungsradius erfordern, ist im Bedarfsfall mit verschiedenen Hilfsmitteln zur Bewegungssteuerung durch experimentelle Studien zu klären. Zur weitergehenden Beurteilung der Immersion sind in Studien (s.u.) auch Benutzerbefragungen zu Präsenz und zur Simulatorkrankheit sowie die Erfassung von Leistungsdaten zur Tiefenwahrnehmung vorgesehen.

Weitere Anforderungen an die CAVE sind z.B. die ergonomische Ausgestaltung sowie die angemessene Informationsdarstellung. Zur Bewertung der ergonomischen Gestaltung konnte auf ein speziell für VR entwickeltes Screening-Verfahren (McCaughey Bell, 2002) zurückgegriffen werden, das keine Defizite oder Beeinträchtigungen

aufzeigte. Die Kriterien bezogen sich z.B. auf die Beseitigung von Stolperfallen, vorhandene Notbeleuchtung und Vermeidung beeinträchtigender statischer Muskelarbeit. Grundlegende Voraussetzung der Informationsdarstellung in der CAVE ist eine homogene Projektion mit angemessener Ausleuchtung, Bildwiederholungsfrequenz und Auflösung. Darüber hinaus sind u.a. die Erkenn- und Lesbarkeit von Zeichen oder Arbeitsobjekten relevante Kriterien. Die in der CAVE des IFA umgesetzte VR-Projektion mit drei Infitec™ Stereo-Rückprojektionspaaren und einer Anpassung der Projektion auf Bewegung und Blickrichtung des Benutzers in Echtzeit führt zu einer zunächst vorläufig positiven Bewertung der Informationsdarstellung. Die tatsächliche Bewertung ist jedoch abhängig von den Aufgaben der Benutzer und den dazu projizierten VR-Szenarien. Und in die Bewertungen müssen ebenso Vergleiche zwischen simulierten und tatsächlichen Arbeitsplätzen eingehen. Bei der Erkenn- und Unterscheidbarkeit von Objekten verschiedener Größe und Form deutet sich an, dass die VR-Projektion für feine Detaildarstellungen nicht ausgelegt ist. Anhand von Benutzungstests wäre ggf. anwendungsspezifisch zu untersuchen, inwieweit auf die bereits vorgesehene Möglichkeit z.B. der Integration eines Monitors in die VR i.S.e. gemischten Realität zurückzugreifen ist.



Abbildung 1: Arbeitsplatz mit kollaborierendem Roboter in der CAVE des IFA.

Schließlich soll die CAVE eine möglichst realitätsnahe Abbildung von Arbeitsbedingungen und -auswirkungen am Beispiel eines Arbeitsplatzes mit kollaborierendem Roboter ermöglichen (Abb. 1). Messungen zu den Beleuchtungsbedingungen an beiden Arbeitsplätzen im IFA ergaben vergleichbare Leuchtdichteverteilungen. Es

werden unterschiedliche Maßnahmen abgewogen das etwas niedrigere Leuchtdichtniveau im VR-Szenarium auszugleichen. Zunächst nur unsystematisch durchgeführte Tests zeigen, dass die Mensch-Roboter-Interaktion im VR-Szenarium selbst bei höheren Bewegungsgeschwindigkeiten des Roboters realistisch abgebildet wird. Bei VR-Demonstrationen des IFA auf der A+A 2009 ergaben sich bei diesem Szenarium z.B. realitätsnahe menschliche Verhaltensreaktionen in Störungssituationen und Benutzer zeigten sich von der Realitätstreue der Visualisierung beeindruckt. Es ist vorgesehen, die geplanten experimentellen Studien auf die Bedingungen Wahrnehmung von Größe und Form von Arbeitsobjekten, von Tiefe und Entfernung sowie Geschwindigkeit zu beziehen. In weiteren experimentellen Studien werden Szenarien der Mensch-Roboter Kollaboration zur Bearbeitung von Aufgaben am Arbeitsplatz eingesetzt. Untersucht werden sollen Auswirkungen auf Prozesse der Informationsverarbeitung anhand von Leistungsparametern und Benutzerbefragungen.

3. Diskussion

Erste Ergebnisse zur Usability der CAVE im VR/Usability-Labor des IFA weisen auf gute Voraussetzungen für vielseitige Einsatzmöglichkeiten der VR als Technik und Methode im präventiven Arbeitsschutz hin. Bisherige Erkenntnisse durch VR zur Unfallverhütung und Produktsicherheit lassen sich dadurch erweitern (Määttä 2003). Ergebnisse aus laufenden und noch ausstehenden Studien könnten auch für die Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern hilfreich sein (BG/BGIA 2009). VR ist dabei nicht als Alternative zu Feld-Studien sondern als hilfreiche Ergänzung zu sehen. VR kann grundsätzliche Vorteile einer Simulation potentiell gefährlicher oder noch unbekannter Situationen nutzen, ist aber auch mit deren Nachteilen behaftet. Die dreidimensionale Konstruktion von Maschinen wird voraussehbar eine Integration in VR-Szenarien erleichtern. Damit dürfte dann auch für die Unfallversicherungsträger und Betriebe die Durchführung von Usability-Studien mit VR für eine sehr breite Produktpalette und über den gesamten Produktlebenszyklus gegeben sein.

4. Literatur

1. BG/BGIA 2009, *BG/BGIA-Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie. Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern*. Sankt Augustin: IFA.
2. Gude, D. 2005, Evaluierung des Einsatzes von Darstellungstechniken der virtuellen Realität in einem eLearning-Modul zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen, *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 59(3-4), 281-290.
3. Määttä, T. 2003, *Virtual environments in machinery safety analysis*. Tampere: VTT Technical Research Centre of Finland.
4. Marc, J., Belkacem, N. & Marsot, J. 2007, Virtual reality: A design tool for enhanced consideration of usability 'validation elements', *Safety Science*, 45, 589-601.
5. McCauley Bell, P. 2002, Ergonomics in virtual environments. In: K.M. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments*. Mahwah: LEA, 807-826.
6. Nickel, P. & Nachreiner, F. 2010, Evaluation arbeitspsychologischer Interventionsmaßnahmen. In: U. Kleinbeck, & K. Schmidt (Hrsg.), *Arbeitspsychologie* (Enzyklopädie der Psychologie, D, III, 1). Göttingen: Hogrefe, 1003-1038.
7. Pejtersen, A.M. & Rasmussen, J. 1997, Effectiveness testing of complex systems. In: G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*. New York: Wiley, 1514-1542.
8. Stanney, K.M. & Cohn, J. 2006, Virtual environments. In: G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*. Hoboken: Wiley, 1079-1096.