

Evaluationsstudien zur Tiefenwahrnehmung in realer und virtueller Roboterzelle

Peter NICKEL, Andy LUNGFIEL, Michael HUELKE und Michael SCHAEFER

*Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin*

Kurzfassung: Erkenntnisse aus Studien, in denen virtuelle Realität als Simulationstechnik und Methode eingesetzt wird, sind dann für die betriebliche Praxis relevant, wenn sie solchen aus realen Arbeitssystemen entsprechen bzw. darauf übertragbar sind. In einer Evaluationsstudie wurden an denselben Aufgaben in einer realen und einer virtuellen Roboterzelle Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von VR im und für den Arbeitsschutz untersucht. Die Ergebnisse zeigen einige Unterschiede in der Tiefen-, Größen- und Farbwahrnehmung insbesondere dann, wenn der Kontrast zwischen Merkmalsausprägungen geringer wird. Maßnahmen zur Verbesserung der Übertragbarkeit von Erkenntnissen konnten abgeleitet werden.

Schlüsselwörter: Roboterzelle, virtuelle Realität, Tiefenwahrnehmung, Größenwahrnehmung, Farbwahrnehmung.

1. Einleitung

Zur Gestaltung von Produkten und Prozessen, zum Training und zur Visualisierung ist virtuelle Realität (VR) in Industrie und Dienstleistung weit verbreitet (Stanney & Cohn 2006). Die Nutzung technischer Entwicklungen zur Umsetzung ergonomischer Anforderungen der Interaktionsqualität und zur Anpassung an Prozesse menschlicher Informationsverarbeitung konnte das Präsenz-Empfinden und die Immersion in virtuellen Welten steigern. VR bietet sich mittlerweile als Simulationstechnik und Methode auch im und für den Arbeitsschutz an z.B. zur sicheren und gebrauchstauglichen Gestaltung und Evaluation von Mensch-Maschine-Schnittstellen (Nickel et al. 2011).

Für die betriebliche Praxis sind Erkenntnisse aus VR-Studien dann relevant, wenn sie solchen aus realen Arbeitssystemen entsprechen bzw. darauf übertragbar sind. Damit wird das in der Evaluations- und Simulationsforschung diskutierte Thema der externen Validität angesprochen (Nickel & Nachreiner 2010). Die vorliegende Evaluationsstudie ist Teil eines Forschungsprojektes (www.arbeitsschutz-forschung.de; IFA5110) des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), das Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von VR im und für den Arbeitsschutz aufzeigen soll.

Auswirkungen der Mensch-Roboter-Interaktion auf menschliches Verhalten und Prozesse der Informationsverarbeitung und -umsetzung wurden im Rahmen des Projektes bereits an anderer Stelle berichtet (Nickel et al. 2010). In der vorliegenden Studie liegt der Fokus auf der Informationsaufnahme (z.B. Tiefen-, Größen-, und Farbwahrnehmung) bei Aufgabenprozessen in einer realen und einer virtuellen Roboterzelle. Diese Ausrichtung des Anwendungsbereichs ist gleichzeitig für vielfältige Vorhaben des IFA zur Analyse und Gestaltung von Mensch-Roboter-Interaktion in aktuellen und zukünftigen Arbeitsprozessen förderlich (z.B. Hoyer et al. 2011; Huelke

et al. 2010; Naber et al. 2011; Ostermann et al. 2011).

2. Methode

Ein Industrie-Roboter in einer Arbeitsumgebung wurde nach realem Vorbild im SUTAVE-Labor des IFA (www.dguv.de/ifa/sutave) so modelliert und simuliert, dass das Erscheinungsbild vergleichbar war, die Abmessungen maßstabsgetreu übernommen wurden und die Funktionalitäten erhalten blieben (siehe Abbildung 1). Das SUTAVE-Labor bietet für die Bearbeitung von Studien zur Gestaltung und Evaluation auch der Mensch-Roboter-Interaktion eine angemessene Ausstattung: mit einer Präsentationsleinwand von 3 x 8 m, aufgespannt auf ein 164° Kreissegment von 2,80 m Radius, drei Infitec™ Stereo-Rückprojektionspaaren und einer dynamischen Anpassung der Projektion auf Bewegung und Blickrichtung des Probanden in Echtzeit.

An der hier vorgestellten Evaluationsstudie nahmen 10 männliche Mitarbeiter des IFA (M = 45,9 Jahre, SD = 10,3) teil. Die Aufgabe der Probanden bestand darin relative und absolute Größen, Lagen und Distanzen von Objekten sowie Muster von Farb- und Grautönen in der realen und der virtuellen Roboterzelle zu analysieren. So konnten bewertete Ist-Zustände der Tiefen-, Größen- und Farbwahrnehmung (Goldstein 1997) ermittelt werden und mit Soll-Zuständen nach gesetzten Parametern aus der virtuellen und der realen Roboterzelle verglichen werden.

Während jedes zweistündigen Versuchsdurchgangs der Evaluationsstudie waren dieselben Aufgaben zur Informationsaufnahme nacheinander (matched samples) in der virtuellen und in der realen Roboterzelle zu bearbeiten. Vor, zwischen und nach den Abschnitten zur Aufgabenbearbeitung wurden Informationen u.a. zum Beanspruchungs- und Präsenz-Empfinden sowie zur Immersion mithilfe von standardisierten Fragebogen erfasst. Die erhobenen Daten wurden aufbereitet und statistischen Analysen unterzogen.

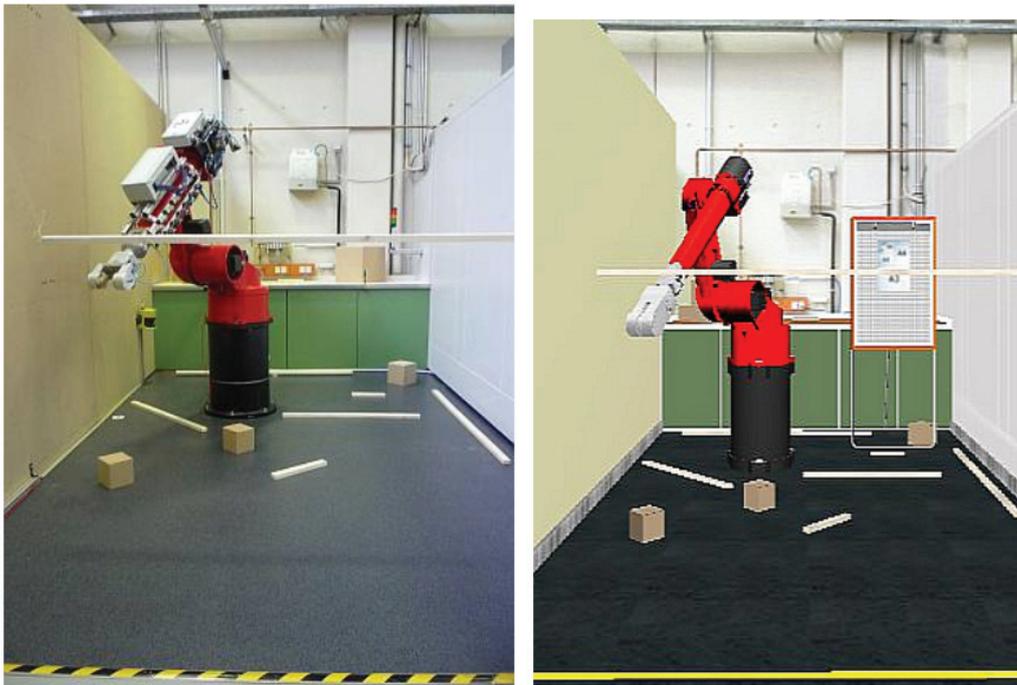


Abbildung 1: Versuchsaufbau in realer (links) und virtueller (rechts) Roboterzelle

3. Ergebnisse

Ein Start mit der Aufgabenbearbeitung in der realen oder in der virtuellen Roboterzelle hatte auf die Ergebnisse dieser Evaluationsstudie keinen bedeutsamen Einfluss. Die Probanden empfanden die Aufgabenbearbeitung insgesamt zwar unterdurchschnittlich beanspruchend ($M = 33,3$, $SD = 10$, NASA-TLX: Hart & Staveland 1988), bewerteten sie in der virtuellen im Vergleich zur realen Roboterzelle dennoch signifikant beanspruchender ($F(1,8) = 9,88$, $p < 0,05$). Detailanalysen weisen auf eine höhere Unzufriedenheit mit der eigenen Leistung und auf höhere Frustration während der Aufgabenbearbeitung in der virtuellen Roboterzelle hin. Das Präsenz-Empfinden der Probanden in der Roboterzelle (hier als Maß des PSAM, Wissmath et al. 2010), wurde insgesamt als überdurchschnittlich eingeschätzt ($M = 4,2$, $SD = 0,94$) und war erwartungsgemäß in der realen Roboterzelle höher als in der virtuellen ($F(1,8) = 42,67$, $p < 0,01$).

Zur Beurteilung der differentiellen Tiefen-, Größen- und Farbwahrnehmung in der Roboterzelle werden hier ausgewählte Ergebnisse vorgestellt. Das Schätzen relativer Volumen- und Längen-Verhältnisse war sowohl in der realen und in der virtuellen Roboterzelle mit einem Fehler behaftet ($M = 17,9\%$, $SD = 15,8$). Abbildung 2 legt zwar lediglich Unterschiede in den Schätzungen von Volumen-Dimensionen nahe, die statistischen Analysen weisen jedoch auf eine signifikant höhere Ausprägung des Fehlers für die virtuelle Roboterzelle hin ($F(1,8) = 7,59$, $p < 0,05$).

Abhängig von den Farbtönen waren Fehleinschätzungen in der realen und in der virtuellen Roboterzelle unterschiedlich ausgeprägt. Eine Beeinträchtigung der Wahrnehmung wurde insbesondere in der virtuellen Roboterzelle bei verschiedenen Farbtönen halber Intensität (z.B. orange, lila) und bei halber in Kombination mit maximaler Intensität (z.B. türkis, grün) deutlich. Für Farbtöne nur maximaler Intensität des RGB-Farbraums (z.B. rot, blau) zeigten sich keine Unterschiede (siehe Abbildung 3). Diese Ergebnisse bilden auch die statistischen Analysen ab mit signifikanten Haupteffekten auf den Faktoren Roboterzelle ($F(1,8) = 9,63$, $p < 0,05$) und Farbtönen ($F(2,16) = 29,69$, $p < 0,05$).

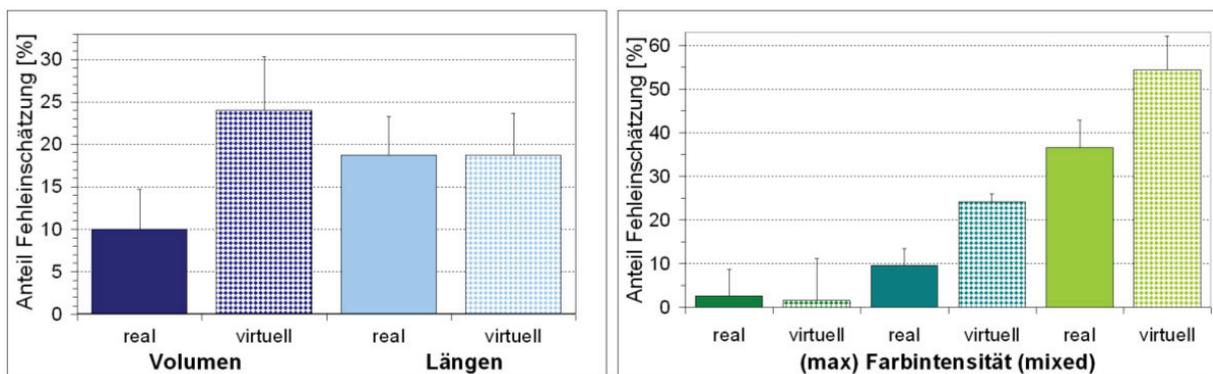


Abbildung 2/3: Fehleinschätzungen von Volumen und Längen (Abb. 2: links) und von Farbtönen (Abb. 3: rechts) in realer und virtueller Roboterzelle.

4. Diskussion

Trotz der sorgfältigen Vorbereitungen für die Aufgabenszenarien dieser Evaluationsstudie ergaben sich für die Bedingungen der realen und virtuellen Roboterzelle einige Unterschiede in der Tiefen-, Größen- und Farbwahrnehmung. Eine Übertra-

gung von Erkenntnissen aus VR-Studien, die sich auf diese Ausprägung von Prozessen der Informationsaufnahme beziehen, sollten somit nicht ohne Weiteres auf reale Arbeitsprozesse übertragen werden. Es besteht die Gefahr, Auswirkungen von Arbeitsbedingungen zu unterschätzen oder zu überschätzen. Durch die Ergebnisse konnten bereits Maßnahmen umgesetzt werden (z.B. bzgl. VR-Brille, Farbwahl, Hinweisreize zur Tiefenwahrnehmung), die eine bessere Deckung von Effekten aus realen und virtuellen Szenarien erwarten ließen.

Die Ergebnisse legen allerdings auch nahe, dass sich eine Vergleichbarkeit zwischen realer und virtueller Roboterzelle mit steigendem Kontrast in Merkmalen (z.B. Ausprägungen von Farbton, Größe) verbessert. Einerseits dürften auch für die hier ermittelten Unterschiede zwischen realen und virtuellen Aufgabenbedingungen gelten, dass sie mit dem Prüfniveau bzw. der Sensitivität des Prüfverfahrens zusammenhängen. So konnten z.B. differenzielle Unterschiede zwischen Farbtönen nur aufgedeckt werden, da nicht nur solche mit maximaler sondern auch jene mit halber Intensität einbezogen wurden. Andererseits zeigen die Ergebnisse, dass offensichtliche Unterschiede in Merkmalsausprägungen in einer virtuellen so gut bzw. schlecht wie in einer realen Roboterzelle differenzieren. Da grobe Kontraste zwischen Bedingungen nicht immer die Anforderungen aus der betrieblichen Praxis abdecken, sollten sie allerdings als alleiniger Maßstab für Planung und Durchführung von VR-Studien nicht leitend sein.

Schließlich deuten die Ergebnisse darauf hin, dass hohes Präsenz-Empfinden und hohe Immersion sicherlich günstige, aber noch keine hinreichenden Bedingungen für eine realitätsnahe Umsetzung von Arbeitsprozessen in virtueller Realität sind. Ergebnisse aus Evaluationsstudien in VR sollten nicht unhinterfragt in die betriebliche Praxis übertragen werden. Eine Validierung an den tatsächlichen Nutzungsbedingungen aus der betrieblichen Praxis erscheint zumindest empfehlenswert, da ansonsten die Praxisrelevanz von Erkenntnissen aus VR insofern begrenzt sein kann.

5. Literatur

1. Goldstein, B.E. 1997, Wahrnehmungspsychologie. Eine Einführung. Heidelberg: Spektrum.
2. Hart, S.G. & Staveland, L.E. 1988, Development of the NASA task load index (TLX): Results of empirical and theoretical research. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), Human mental workload. Amsterdam: North-Holland, 139-183.
3. Hoyer, G., Hauke, M., Lungfiel, A., Nickel, P., Huelke, M. & Bömer, T. 2012, Einfluss der Auslegung dreidimensionaler Schutzfelder in einer virtuellen Fertigungszelle auf menschliche Informationsverarbeitung, Leistung und Beanspruchung. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Dortmund: GfA Press, 643-646.
4. Huelke, M., Umbreit, M., & Ottersbach, H.J. 2010, Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter, MM Maschinenmarkt, 33, 32-34.
5. Naber, B., Lungfiel, A., Nickel, P. & Huelke, M. 2012, Einfluss von Geschwindigkeit und Nähe eines Roboters auf Leistung und Beanspruchung in virtueller Mensch-Roboter-Kollaboration. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Dortmund: GfA Press, 227-230.
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. Nickel, P., Lungfiel, A., Hauke, M., Nischalke-Fehn, G., Huelke, M. & Schaefer, M. 2011, Virtuelle Realität im Arbeitsschutz für mehr Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit, Technische Sicherheit, 1/4, 43-47.

8. Nickel, P., Lungfiel, A., Nischalke-Fehn, G., Pappachan, P., Huelke, M. & Schaefer, M. 2010, Evaluation of Virtual Reality for Usability Studies in Occupational Safety and Health. In Proceedings of the 6th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2010), June 14-15, 2010, Tampere, Finland. Helsinki: Finish Society of Automation, F6043, 1-6.
9. Ostermann, B., Huelke, M., & Kahl, A. 2011, Von Zäunen befreit - Industrieroboter mit Ultraschall absichern. *Automatisierungstechnische Praxis*, 9, 888-895.
10. Stanney, K.M. & Cohn, J. 2006, Virtual environments. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics*. Hoboken: Wiley, 1079-1096.
11. Wissmath, B., Weibel, D. & Mast, F.W. 2010, Measuring presence with verbal vs. pictorial scales: A comparison between online and ex post ratings, *Virtual Reality*, 14, 43-53.