

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund

Prospektive Ergonomie beim Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz – Unterstützungspotential virtueller Realität

Dietmar Gude

Dietmar Gude: *Prospektive Ergonomie beim Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz – Unterstützungspotential virtueller Realität*. Zbl Arbeitsmed 54 (2004) 000-00

Schlüsselwörter: Virtueller Prototyp – Bildschirmarbeitsplatz – Laborexperiment – Projektionstisch – head-mounted display

Zusammenfassung: In der Praxis des Arbeitsschutzes dominiert noch immer der Ansatz der korrektiven Ergonomie, bei dem Gestaltungsdefizite von Arbeitssystemen nachträglich behoben werden, was mit hohen Aufwendungen verbunden ist. In der Produktentwicklung setzt sich statt dessen zunehmend der Ansatz der prospektiven Ergonomie durch. Dabei werden bereits in frühen Phasen der Entwicklung verschiedene Gestaltungsaspekte anhand digitaler Prototypen beurteilt. Um diese in einer realitätsnahen Form zu präsentieren, werden Projektions- und Interaktionstechniken der Virtuellen Realität (VR) eingesetzt.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Übertragung dieses Ansatzes auf den Arbeitsschutz. Es werden die Ergebnisse eines Laborexperiments vorgestellt, in dem ein mit der Produktentwicklung vergleichbares Anwendungsszenario realisiert wurde. In dem Experiment hatten die Probanden die Aufgabe, einen Bildschirmarbeitsplatz auf ergonomische Gestaltungsmängel hin zu analysieren, der als Virtuelle Realität dargestellt war. Dabei wurden drei Bedingungen mit unterschiedlichen stereoskopischen Projektionssystemen realisiert, einem Projektionstisch und zwei Head-Mounted Displays (HMDs). Die in diesen VR-Bedingungen erzielte Beurteilungsleistung wurde mit der einer vierten Gruppe von Probanden verglichen, die einen äquivalenten realen Bildschirmarbeitsplatz analysierte (gegenständliche Bedingung).

Im Hinblick auf die Güte der Beurteilungsleistung wurden zwischen den vier Bedingungen keine systematischen Unterschiede festgestellt. Der Zeitbedarf für die Beurteilung war in den VR-Bedingungen größer als in der gegenständlichen Bedingung, wobei der Unterschied in der Projektionstisch-Bedingung ausgeprägter war als in den beiden HMD-Bedingungen. Die Größenordnungen dieser Unterschiede bewegten sich jedoch in einem Rahmen, der den praktischen Nutzen des VR-Einsatzes nicht in Frage stellt.

Aus den Ergebnissen wird die Schlussfolgerung gezogen, dass VR-Techniken geeignet sind, die Umsetzung des prospektiven Ansatzes in der Praxis des Arbeitsschutzes zu unterstützen. Neben positiven Auswirkungen auf die Arbeitsbedingungen kann auf diese Weise auch ein wirtschaftlicher Nutzen realisiert werden, der den Einsatz von VR-Techniken in der Produktentwicklung wesentlich vorangetrieben hat.

Prospective ergonomics in occupational health protection – supporting potential of virtual reality

Dietmar Gude: *Prospective ergonomics in occupational health protection – supporting potential of virtual reality*. Zbl Arbeitsmed 54 (2004) 326-334

Key words: Virtual prototype – computer workstation – laboratory experiment – projection table – head-mounted display

Summary: In the practice of occupational safety, corrective ergonomics is still the dominating approach, which means that deficits in the design of work systems are cor-

Ergonomie prospective dans la protection de la santé sur le lieu de travail – potentiel de support de la réalité virtuelle

Dietmar Gude: *Ergonomie prospective dans la protection de la santé sur le lieu de travail – potentiel de support de la réalité virtuelle*. Zbl Arbeitsmed 54 (2004) 326-334

Mots clés: Prototype virtuel – poste de travail avec écran – expérience de laboratoire – table de projection – visio-casque

Résumé: Dans la pratique de la protection du travail, on constate encore aujourd'hui une domination de l'ergonomie correctrice qui permet de supprimer ultérieurement

Anschrift des Autors:

Dr. rer. nat. Dietmar Gude

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund ■ Ardeystrasse 67 ■ D-44139 Dortmund

rected retroactively, resulting in high effort and expense. In product development, however, the approach of prospective ergonomics is gaining more and more acceptance. Here, already in early development phases, design aspects are evaluated on the basis of digital prototypes. To represent these aspects in a realistic way, the projection and interaction techniques of Virtual Reality (VR) are applied.

The present paper deals with the application of this approach to occupational safety. The paper presents the results of a laboratory experiment where an application scenario comparable to the typical product development processes was realised. Participants in the experiment were given the task to analyse a computer workstation represented in Virtual Reality with respect to ergonomic design deficiencies. In doing so, three conditions were realised using different stereoscopic projection systems: a projection table and two head-mounted displays (HMDs). The evaluation results achieved under these VR conditions were compared to those of a fourth group of participants that analysed an equivalent real-world computer workstation (real-world condition).

With regard to the accuracy of the evaluation results, no systematic differences between the four conditions could be observed. The time required for the performance of the evaluation was longer under the VR conditions, compared to that in the real-world condition, with a more pronounced difference for the projection table condition than for the two HMD conditions. However, the magnitude of these differences was of an order that did not challenge the practical value of applying VR techniques.

From the results it is concluded that VR techniques are appropriate to support the implementation of the prospective approach in the practice of occupational safety. Besides positive effects on the working conditions, also economical benefits can be realised – one of the main incentives that spurred the application of VR techniques in product development.

1. Einleitung

Nach dem Konzept der prospektiven Ergonomie ist die Berücksichtigung entsprechender Gestaltungskriterien umso wirkungsvoller, je frühzeitiger sie in die Entwicklung von Arbeitssystemen einfließen (Laurig 1984). Im Vergleich dazu ist ein korrekatives Vorgehen, bei dem erst in der Nutzungsphase nach dem Auftreten von Beeinträchti-

gungen korrigerende Maßnahmen initiiert werden, wenig effizient, da die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu diesem Zeitpunkt in der Regel keine grundlegenden Änderungen mehr zulassen (Ehrlenspiel et al. 2002).

Allerdings wird der prospektive Ansatz im betrieblichen Arbeitsschutz bislang selten in die Praxis umgesetzt: „Er-
tout déficit d'aménagement de systèmes de travail, ce qui entraîne toutefois des dépenses importantes. L'ergonomie prospective commence par contre à s'imposer de plus en plus dans l'élaboration de produits proprement dite. Divers aspects d'aménagement sont ainsi évalués dès les premières phases de la mise au point d'un produit au moyen de prototypes numériques. Afin de présenter ceux-ci sous une forme proche de la réalité, on a recours à des techniques de projection et d'interaction de la réalité virtuelle.
Cet article traite de la transposition de cette approche dans la protection du travail et présente les résultats d'une expérience de laboratoire dans laquelle un scénario d'application comparable au développement d'un produit a été réalisé. Dans cette expérience, les sujets avaient pour tâche d'analyser les déficits ergonomiques d'un poste de travail avec écran représenté de manière virtuelle. On a placé les étudiants dans trois situations avec des systèmes de projection stéréoscopiques différents, une table de projection et deux visiocasques (HMD). L'évaluation obtenue dans ces conditions de réalité virtuelle a été comparée avec celle d'un quatrième groupe de sujets chargés d'analyser un poste de travail avec écran concret équivalent (situation concrète).

D'un point de vue de la qualité de l'évaluation, aucune différence systématique n'a été constatée entre les quatre situations. Le temps nécessaire pour cette évaluation était plus important dans les situations de réalité virtuelle que dans la situation concrète, la différence étant plus marquée dans le premier groupe travaillant avec la table de projection que dans les deux autres travaillant avec le visiocasque. L'ordre de grandeur de ces différences se situait toutefois dans des limites qui ne remettent pas en question l'utilité pratique de l'emploi de la réalité virtuelle.

Les résultats obtenus permettent de conclure que les techniques de la réalité virtuelle sont adéquates pour favoriser la transposition de l'approche prospective dans la pratique de la protection du travail. Outre des effets positifs sur les conditions de travail, il est possible de cette manière de réaliser un profit économique qui a considérablement accéléré l'utilisation de techniques de la réalité virtuelle dans le développement d'un produit.

gungen korrigerende Maßnahmen initiiert werden, wenig effizient, da die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu diesem Zeitpunkt in der Regel keine grundlegenden Änderungen mehr zulassen (Ehrlenspiel et al. 2002).

Allerdings wird der prospektive Ansatz im betrieblichen Arbeitsschutz bislang selten in die Praxis umgesetzt: „Er-

gonomics is usually applied in a too late stage and with a too limited scope“ (Koningsveld et al. 2003, S. 33). Eine wesentlich größere Bedeutung wird ihm in der Produktentwicklung zugemessen. Hier hat er sich speziell in solchen Feldern etabliert, in denen Rückrufaktionen und nachträgliche Korrekturen mit besonders hohen Aufwendungen verbunden sind – etwa dem Fahr- und Flugzeugbau.

Die Umsetzung des Konzepts wird dabei durch den Einsatz von Projektions- und Interaktionstechniken der Virtuellen Realität (VR) unterstützt. Mit diesen Techniken werden digitale Prototypen in realitätsnaher Form wiedergegeben, so dass bereits in der Entwurfsphase eingehende Beurteilungen von verschiedenen Gestaltungsaspekten durchgeführt werden können. War ein solches Virtuelles *Prototyping* aufgrund der damit verbundenen Aufwendungen bislang Großunternehmen vorbehalten, so hat sich der Kreis möglicher Anwender inzwischen wesentlich erweitert: *„PC technology of today is equivalent to the high-end graphics workstations of a couple of years ago – and this trend shows no sign of flattening off, implying that only extreme cases require a large investment“* (Davies 2002, S. 1099).

Deshalb befasst sich der vorliegende Beitrag mit der Frage, in welcher Form VR-Techniken für die Unterstützung des prospektiven Ansatzes im betrieblichen Arbeitsschutz genutzt werden können. Ausgangspunkt ist der Einsatz in der Produktentwicklung, wobei einführend die dabei verwendeten Projektionssysteme und Interaktionsgeräte sowie ein Anwendungsbeispiel zur Gestaltung von Nutzfahrzeugen beschrieben werden. Darauf aufbauend wird ein Laborexperiment vorgestellt, in dem ein vergleichbares Anwendungsszenario zur Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen realisiert wurde. Gegenstand des Laborexperiments war die Frage, ob mit VR-Techniken in diesem Kontext eine Beurteilungsleistung erzielt werden kann, die mit der bei der Analyse eines äquivalenten gegenständlichen Arbeitsplatzes vergleichbar ist. Abschließend werden die Implikationen der Ergebnisse für einen erfolgreichen Einsatz dieser Techniken im betrieblichen Arbeitsschutz diskutiert.

2. Technische Grundlagen und Optionen

Allgemein zielen VR-Techniken darauf ab, dem Anwender einen möglichst hohen Grad der Eingebundenheit (Immersion) zu vermitteln, so dass er den Eindruck erhält, in die vom Rechner simulierte Umgebung eintauchen und mit den dargestellten Objekten wie unter realen Bedingungen interagieren zu können. Für die Produktentwicklung ist insbesondere die realitätsnahe Darstellung der virtuellen Prototypen von Bedeutung, wozu stereoskopische Projektionssysteme eingesetzt werden. Über die Visualisierung hinaus erfordert die Beurteilung ergonomischer Gestaltungsaspekte die Möglichkeit zur realitätsnahen Interaktion mit den Prototypen, die mit speziellen Eingabegeräten unterstützt

wird. Die verfügbaren Projektions- und Interaktionstechniken sind recht vielfältig, so dass im folgenden nur eine kurze Übersicht gegeben werden kann, für eine ausführlichere Darstellung sei auf Gude (im Druck 2004) verwiesen.

Inzwischen hat sich für CAD-Programme die Visualisierung von 3D-Szenen auf konventionellen Bildschirmen in Echtzeit als Standard etabliert. Eine naheliegende Weiterentwicklung besteht darin, die räumliche Wahrnehmung durch stereoskopische Projektionstechniken zu unterstützen. Dabei werden vom Rechner zwei verschiedene Ansichten berechnet, die dem rechten bzw. linken Auge dargeboten werden. Dadurch entsteht der Eindruck, einzelne Elemente der Szene würden vor der Projektionsfläche im Raum schweben bzw. in die Tiefe hineinreichen. Ein Beispiel sind sogenannte Projektionstische, in deren Gehäuse sich ein Projektor befindet, der die vom Rechner erzeugten Ansichten von hinten auf eine spezialbeschichtete Acrylglasfläche projiziert. Der stereoskopische Eindruck wird dabei über *Shutter*-Brillen vermittelt. Bei diesen Brillen können die Gläser (transparente Flüssigkristallanzeigen) getrennt voneinander kurzzeitig verdunkelt werden. Die Bilder für das linke und rechte Auge erscheinen in schneller Folge abwechselnd auf der Projektionsfläche, wobei das Glas für das rechte Auge verdunkelt wird, wenn die Perspektive für das linke Auge gezeigt wird, und umgekehrt. Aufgrund der Trägheit des Auges wird damit ein stereoskopischer Eindruck vermittelt. Ein höherer Grad der Immersion kann mit *Head-Mounted Displays* (HMDs) erzielt werden. An einem helm- oder brillenähnlichen Gestell sind an der Vorderseite zwei kleine Bildschirme angebracht, über die perspektivisch leicht versetzte Bilder für das linke und das rechte Auge projiziert werden. HMDs werden in der Regel zusammen mit *Tracking*-Systemen eingesetzt, um die Position und Orientierung im realen Raum zu bestimmen. Dabei wird an dem Gerät ein Sensor angebracht, über den die Kopfbewegungen gemessen werden. Auf dieser Grundlage wird die Perspektive an die jeweilige Blickrichtung des Anwenders angepasst, womit die Darstellung zusätzlich an Realitätsnähe gewinnt.

Mit speziellen Eingabegeräten wird die Interaktion mit Virtuellen Prototypen unterstützt. Ein Beispiel sind sogenannte 3D-Mäuse, bei denen die sechs Freiheitsgrade einer Bewegung im Raum – die drei Translations- und die drei Rotationsachsen – mit einem einzelnen Stellteil manipuliert werden können. Ein weiteres Beispiel sind Datenhandschuhe, bei denen über Sensoren die Bewegungen der Hand sowie die Krümmung und Spreizung der Finger registriert werden. Auf dieser Grundlage wird vom Rechner ein virtuelles Gegenstück erzeugt, mit dem die dargestellten Objekte manipuliert werden können. Zusätzlich sind Interaktionsgeräte verfügbar, die den Tastsinn ansprechen. Damit wird vom Rechner eine haptische Rückmeldung



Abbildung 1: Virtuelle Umgebung zur Analyse eines Seitenlader-Abfallsammelfahrzeugs

Figure 1: Virtual Environment for the analysis of a side loader refuse collection vehicle

Illustration 1: Environnement virtuel pour l'analyse d'un véhicule collecteur de déchets à chargeur latéral

erzeugt, so dass man den Eindruck erhält, dass die Oberfläche der Objekte einen Widerstand leistet, wobei auch Informationen über z.B. Flexibilität und Rauigkeit vermittelt werden.

3. Anwendungsbeispiel zur Gestaltung von Nutzfahrzeugen

Der Einsatz dieser Techniken in der Produktentwicklung wird im folgenden am Beispiel einer Analyseumgebung für Nutzfahrzeuge dargestellt. Diese Umgebung wird anhand eines Anwendungsbeispiels zur Gestaltung eines Seitenlader-Abfallsammelfahrzeugs (Abbildung 1) beschrieben, das auf der Arbeit von Hillecke (2001) aufbaut. Diese Fahrzeuge verfügen über einen Auslegerarm, der auf der rechten Seite angebracht ist und vom Fahrer mit Hilfe eines *Joysticks* gesteuert wird. Mit dem Auslegerarm werden die Gefäße fixiert, an das Fahrzeug herangeführt und schließlich in den hinter dem Führerhaus gelegenen Schüttraum entleert.

Das Fahrzeug kann in zwei Formen projiziert werden, auf einem Projektionstisch und in einem HMD. Auf dem Projektionstisch können die Gestaltungsaspekte von einer Gruppe von Anwendern gemeinsam analysiert und beurteilt werden. Die Navigation in der virtuellen Umgebung erfolgt dabei mit Hilfe einer 3D-Maus. Mit der Projektion über das HMD wird ein einzelner Anwender in die Situation des Fahrers versetzt. Damit werden verschiedene Aspekte subjektiv erfahrbar gemacht, z.B. die Sehbedingung oder die Körperhaltung beim Verfolgen des Auslegerarms während des Entleerungsvorgangs. Die Analyse

wird darüber hinaus durch Interaktionsoptionen unterstützt, die über Schaltflächen aufgerufen werden. Auf diese Weise kann z.B. die Bewegung des Auslegerarms gesteuert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Menschmodellen zu wechseln, für die kleine Frau (5. Perzentil) und den großen Mann (95. Perzentil), um die räumliche Gestaltung beispielsweise in Bezug auf Bewegungsfreiheit sowie Greif- und Sehbedingungen für verschiedene Anthropometrien zu überprüfen. Ergänzend hierzu stehen verschiedene Hilfsgeometrien zur Verfügung, mit denen z.B. Freiräume, Sehbedingungen, Greifräume und Bequemlichkeitsbereiche visualisiert werden.

4. Anwendungsbeispiel zur Gestaltung von Büroarbeitsplätzen

Inzwischen finden sich erste Ansätze, diese Methoden auf Anwendungsfelder des betrieblichen Arbeitsschutzes zu übertragen, etwa die Planung von Produktionsanlagen oder im Bereich Architektur und Innenraumgestaltung. Allerdings wird dabei das Unterstützungspotential von VR-Techniken für eine prospektive Gestaltung bislang nur unzureichend genutzt. So spielen in entsprechenden Projekten zur Planung von Produktionsanlagen ergonomische im Vergleich zu technischen Gestaltungsaspekten eine eher untergeordnete Rolle (Shewchuk et al. 2002). Ähnlich ist die Situation der Innenraumgestaltung, hier dominiert die Visualisierung der Form- und Farbgestaltung gegenüber der Analyse der vorhandenen Büro- und Bildschirmarbeitsplätze (Davies 2002).

Ein Grund für den bislang geringen Stellenwert von VR-Techniken im Arbeitsschutz dürfte darin bestehen, dass das Verhältnis von Aufwand und Nutzen eher skeptisch eingeschätzt wird. Mit dem Einsatz dieser Techniken sind nennenswerte Investitionen verbunden; andererseits wurde bislang nicht empirisch nachgewiesen, dass die auf diese Weise erzielte Beurteilungsleistung die Investitionen zu rechtfertigen erlaubt. Deshalb wurde ein Laborexperiment durchgeführt, in dem die Frage von Aufwand und Nutzen am Beispiel der ergonomischen Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen untersucht wurde.

4.1 Experimenteller Vergleich unterschiedlicher Beurteilungsbedingungen

In diesem Experiment wurde der technische Aufwand durch den Einsatz drei verschiedener Projektionssysteme variiert. Für diese Bedingungen wurde untersucht, welche Leistung bei der Identifikation ergonomischer Gestaltungsmängel eines simulierten Bildschirmarbeitsplatzes erzielt wird, im Vergleich zu der bei der Analyse eines äquivalenten gegenständlichen Arbeitsplatzes. Bei der Quan-

tifizierung der Beurteilungsleistung wurde auf Konzepte der Signalentdeckungstheorie (Velden 1982) zurückgegriffen.

In der Signalentdeckungstheorie werden vier verschiedene Reaktionskategorien differenziert. Zunächst wird zwi-

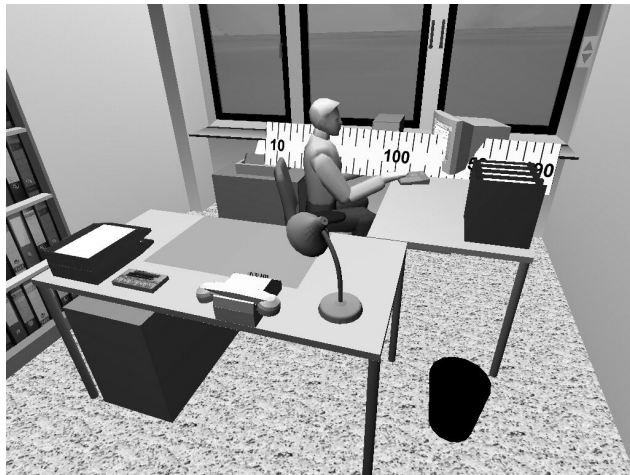


Abbildung 2: Virtuelle Umgebung zur Analyse eines Bildschirmarbeitsplatzes

Figure 2: Virtual environment for the analysis of a computer workstation

Illustration 2: Environnement virtuel pour l'analyse d'un poste de travail avec écran

schen Durchgängen mit und ohne Signal unterschieden, was im vorliegenden Kontext Situationen mit und ohne ergonomischem Gestaltungsmangel entspricht. In jeder dieser beiden Situationen kann eine richtige oder falsche Reaktion erfolgen. Liegt ein Gestaltungsmangel vor, wird die richtige Antwort als ‚Treffer‘ und die falsche als ‚Verpasser‘ klassifiziert. Für die Situation ohne Gestaltungsmangel werden die entsprechenden Ausgänge als ‚korrekte Zurückweisung‘ bzw. ‚falscher Alarm‘ bezeichnet. Innerhalb dieser Klassifikation liegt dann eine gute Beurteilungsleistung vor, wenn möglichst häufig tatsächlich vorhandene Gestaltungsmängel entdeckt (Treffer) und gleichzeitig möglichst selten geeignet gestaltete Aspekte irrtümlich als mangelhaft eingeordnet werden (falscher Alarm). Als weiterer Leistungsaspekt wurde in dem Experiment der Zeitbedarf für die verschiedenen Urteilkategorien analysiert.

4.2 Untersuchungsmethoden

4.2.1 Stichprobe

Probanden waren 60 Studierende, 26 Frauen und 34 Männer. Das Alter lag zwischen 19 und 36 Jahren, mit einem Mittelwert von $23,6 \pm 3,9$ Jahren. Für ihre Teilnahme an dem Experiment erhielten die Probanden 20 €.

Frage	Korrekte Antwort
Sind die Oberflächen der Arbeitsmittel matt und hell?	Ja
Sind Unfallgefahren, beispielsweise Stolpern und Stoßen, ausgeschlossen?	Nein
Ist der Flächenbedarf berücksichtigt?	Nein
Ist ausreichend Platz zur Ablage vorhanden?	Ja
Steht der Monitor komplett auf dem Tisch und ragt nicht über die Tischplatte hinaus?	Ja
Beträgt der Sehabstand zwischen Auge und Bildschirm, Auge und Tastatur sowie Auge und Vorlagenhalter (falls vorhanden) jeweils ungefähr 45 bis 60 cm?	Nein
Verläuft die Blickrichtung zum Bildschirm parallel zum Fenster?	Nein
Ist der Stuhl der Körpergröße angepasst?	Nein
Sind die Schreibtische der Körpergröße angepasst?	Ja
Ist vor der Tastatur genügend Platz vorhanden, um die Hände aufzulegen?	Nein
Beträgt die Bildschirmgröße mindestens 38 cm (15 Zoll)?	Ja
Liegt die oberste Zeile des Bildschirms in Augenhöhe oder darunter?	Ja
Ist der Bildschirm frei von Reflexionen, Spiegelungen oder Blendungen?	Nein
Sind die dargestellten Zeichen ausreichend groß und gut lesbar?	Ja
Ist der Kontrast zwischen Zeichen und Hintergrund angenehm?	Ja
Ist die Beleuchtung ausreichend?	Nein
Ist die Beleuchtung individuell regelbar?	Ja
Verursacht die Beleuchtung keine direkte oder indirekte Blendung?	Nein
Sind wirksame Lichtschutzvorrichtungen vorhanden?	Nein
Sind die Fenster zu öffnen und wird eine eventuell vorhandene Klimaanlage regelmäßig gewartet?	Ja

Tabelle 1: Prüfliste zur Beurteilung des Bildschirmarbeitsplatzes

Table 1: Checklist for the evaluation of the computer workstation

Tableau 1: Liste de contrôle pour l'évaluation d'un poste de travail avec écran

4.2.2 Versuchsaufgabe

Die Aufgabe der Probanden bestand darin, ergonomische Aspekte eines Bildschirmarbeitsplatzes zu beurteilen, der in Abbildung 2 wiedergegeben ist. Dabei wurden sie durch



Abbildung 3: Projektionstisch Barco Baron

Figure 3: Barco Baron projection table

Illustration 3: Table de projection Barco Baron



Abbildung 4: Head-Mounted Display Sony LDI-D100BE

Figure 4: Sony LDI-D100BE head-mounted display

Illustration 4: Visiocasque Sony LDI-D100BE



Abbildung 5: Head-Mounted Display ProView XL 50

Figure 5: ProView XL 50 head-mounted display

Illustration 5: Visiocasque ProView XL 50

eine Prüfliste angeleitet, anhand der sie insgesamt 20 Merkmale des Arbeitsplatzes analysierten (Tabelle 1). Zu jeder Frage wurde ihnen ein Erläuterungstext angeboten. Aufgrund der vorhandenen Gestaltungsmängel waren je zehn Fragen mit „ja“ bzw. „nein“ zu beantworten.

4.2.3 Versuchsanordnung

Im Experiment wurden vier Darstellungsbedingungen mit jeweils 15 Probanden realisiert. Drei Gruppen wurde der Bildschirmarbeitsplatz in stereoskopischer Form als Virtuelle Realität präsentiert (VR-Bedingungen). Eine Gruppe beurteilte einen äquivalenten realen Bildschirmarbeitsplatz, wobei die Arbeitsperson durch eine Gliederpuppe repräsentiert wurde (gegenständliche Bedingung). In den VR-Bedingungen wurde die Szene von einem Personal Computer unter Windows NT 4.0 präsentiert, der mit zwei Pentium III 600 MHz-Prozessoren, 1GB RAM und einer Evans & Sutherland Tornado 3000-Grafikkarte ausgestattet war. Die Probanden bewegten sich in dem Arbeitsplatz mit einer 3D-Maus (3Dconnexion SpaceMouse Classic). Darüber hinaus enthielt die Szene verschiedene interaktive Elemente, die Eigenschaften eines realen Büros nachbildeten. So konnten die Probanden die Türen, Schubladen und Fenster öffnen, die Jalousien in verschiedene Stellungen bringen oder die Raum- und Schreibtischbeleuchtung an- und ausschalten. Die räumliche Anordnung der Arbeitsmittel konnte mit Hilfe eines virtuellen Zollstocks überprüft werden.

Zentralblatt Themenvorschau Heft 10/2004

- **Biomechanische Prinzipien zur arbeitsmedizinischen Belastungsanalyse**
- **Vorsorgeuntersuchung für Feuerwehrleute**

In den drei VR-Bedingungen wurden unterschiedliche Projektionssysteme eingesetzt, ein Projektionstisch (Barco Baron, Abbildung 3), ein Brillen-HMD (Sony LDI-D100BE, Abbildung 4) und ein Helm-HMD (Kaiser Pro-View XL 50, Abbildung 5). In den beiden HMD-Bedingungen wurde ein *Tracking*-System (Ascension Flock of Birds) verwendet, wobei der Sensor am HMD angebracht war und die Kopfbewegungen an den Rechner übertrug, der die Sicht auf den Arbeitsplatz entsprechend anpasste.

4.2.4 Versuchsablauf

Jeder Proband wurde nach Zufall einer der vier Bedingungen zugeordnet. Zunächst bearbeiteten sie einen Fragebogen zu allgemeinen persönlichen Daten. Danach durchliefen die Probanden der VR-Bedingungen eine Übungsphase, in der sie die Navigation mit Hilfe der 3D-Maus und die Handhabung des virtuellen Zollstocks anhand eines Fahrzeug-Modells trainierten. Anschließend hatten alle Probanden die Gelegenheit, die Prüfliste zum Bildschirmarbeitsplatz mit den Erläuterungstexten zu studieren. Nachdem sie dies abgeschlossen hatten, wurde in den VR-Bedingungen das Programm zur Darstellung des Bildschirmarbeitsplatzes gestartet, in der gegenständlichen Bedingung wurden sie vom Versuchsleiter in den Raum mit dem realen Bildschirmarbeitsplatz geleitet. Der Versuchsleiter las den Probanden jeweils eine Frage der Prüfliste mit dem Erläuterungstext vor, wartete auf ihre Antwort, trug sie in die Prüfliste ein und wechselte dann zur nächsten Frage. Nachdem die Beurteilung abgeschlossen war, erhielten die Probanden eine Rückmeldung über die tatsächlich vorhandenen Gestaltungsmängel.

4.3 Ergebnisse

Zunächst wurden auf der Grundlage der Antworten die Prozentsätze von Treffern und falschen Alarmen bestimmt (Abbildung 6). Danach war der Anteil von Treffern in allen Darstellungsbedingungen größer als der von falschen Alarmen. Der Anteil falscher Alarme lag in den verschiedenen Bedingungen zwischen 5 und 7%. Entsprechend waren diese Unterschiede in einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit der Darstellungsbedingung (Projektionstisch, Brillen-HMD, Helm-HMD und Gegenständlich) als Gruppierungsfaktor statistisch nicht signifikant ($F[3, 56] < 1$). Der Anteil der Treffer lag zwischen 75 und 85% und wies somit eine größere Variationsbreite auf. Am höchsten war er in der gegenständlichen Bedingung, gefolgt von den Bedingungen Helm-HMD, Projektionstisch und Brillen-HMD. Aber auch in diesem Fall erwies sich der Faktor in der statistischen Analyse als nicht bedeutsam ($F[3, 56] = 1,35, p > 0,20$). Insgesamt bestanden also keine systematischen Unterschiede zwischen den Darstellungsbedingungen im Hinblick auf die Genauigkeit der Beurteilung.

Betrachtet man den Anteil von Verpassern als dem Komplement der Treffer, so lag dieser zwischen 15 und 25%. Diese Fehler traten somit häufiger auf als falsche Alarme. Konkret bedeutet dies, dass Gestaltungsmängel häufiger übersehen als korrekt gestaltete Aspekte irrtümlich als mangelhaft eingestuft wurden. Im Kontext der Signaldeckungstheorie kann dieses Ergebnis dahingehend interpretiert werden, dass die Probanden ein relativ konservatives Entscheidungskriterium wählten, also erst dann einen Gestaltungsmangel als gegeben ansahen, wenn sie sich dessen relativ sicher waren.

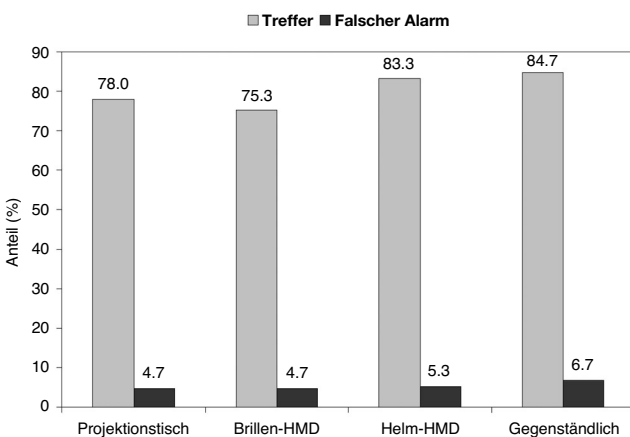


Abbildung 6: Prozentsatz von Treffern und falschen Alarmen in Abhängigkeit von der Darstellungsbedingung (HMD = Head-Mounted Display)

Figure 6: Percentage of hits and false alarms depending on the display condition (HMD = head-mounted display)

Illustration 6: Pourcentage de coups réussis et de fausses alertes en fonction de la situation de représentation (HMD = visiocasque)

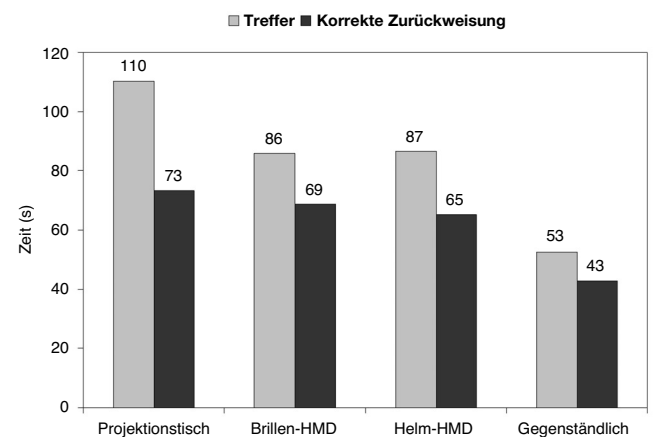


Abbildung 7: Zeit für Treffer und korrekte Zurückweisungen in Abhängigkeit von der Darstellungsbedingung (HMD = Head-Mounted Display).

Figure 7: Time for hits and correct rejections depending on the display condition (HMD = head-mounted display)

Illustration 7: Temps pour les coups réussis et les rejets corrects en fonction de la situation de représentation (HMD = visiocasque)

Als zweiter Leistungsaspekt wurde der Zeitbedarf für die Urteile analysiert. Dabei wurden neben den Zeiten für Treffer und falsche Alarmer zusätzlich die Werte für korrekte Zurückweisungen und Verpasser berücksichtigt. Die Mittelwerte für die richtigen Antworten (Treffer und korrekte Zurückweisung) sind in Abbildung 7 wiedergegeben. In allen Darstellungsbedingungen war der Zeitbedarf für Treffer größer als der für korrekte Zurückweisungen. Dieses Ergebnis stützt die oben formulierte Interpretation, dass die Probanden sich eines Gestaltungsmangels recht sicher sein wollten, bevor sie ihn als solches einstufen.

Ein Effekt der Darstellungsbedingung zeigte sich insbesondere für die Treffer ($F[3, 56] = 8,04$ mit $p < 0,001$), am Projektionstisch wurde die längste Zeit benötigt, gefolgt von den HMD-Bedingungen; in der gegenständlichen Bedingung erfolgte das Urteil am schnellsten. Für die korrekten Zurückweisungen konnte ebenfalls ein entsprechender Effekt abgesichert werden ($F[1, 56] = 3,59$ mit $p < 0,05$), wobei hier allerdings nur ein Unterschied zwischen den drei VR-Bedingungen und der gegenständlichen Bedingung bestand. Dieses Ergebnis impliziert, dass die höhere Immersivität der HMDs sich insbesondere dann positiv auswirkte, wenn es galt, einen Gestaltungsmangel zu identifizieren.

Fehlerhafte Urteile in Form falscher Alarmer und Verpasser wurden von 23 bzw. 51 Probanden abgegeben. Für diese Probanden wurden in analoger Weise die entsprechenden Zeiten analysiert, wobei in beiden Fällen kein Effekt der Darstellungsbedingung abgesichert werden konnte ($F[3, 19] = 2,65$ mit $p > 0,05$ bzw. $F[3, 47] < 1$). Somit wurden fehlerhafte Urteile in den vier Bedingungen mit vergleichbarer Geschwindigkeit abgegeben.

Es ist davon auszugehen, dass Fehler insbesondere bei den schwereren Fragen der Prüfliste gemacht wurden. Beleg dafür ist, dass in diesen Fällen im Mittel mehr Zeit benötigt wurde als für richtige Antworten, was sowohl für Verpasser relativ zu Treffern (104 bzw. 84 s) als auch für falsche Alarmer im Vergleich zu korrekten Zurückweisungen (88 bzw. 63 s) gilt. Damit wird die Vermutung nahegelegt, dass der Effekt der Darstellungsbedingung in diesen Fällen von Aspekten der Aufgabenschwierigkeit überlagert wurde.

5. Diskussion

Insgesamt weisen die Ergebnisse des Experiments zur Beurteilung eines Bildschirmarbeitsplatzes darauf hin, dass die Methode des Virtuellen *Prototypings* nicht nur für den Bereich der Produktentwicklung von Bedeutung ist, sondern auch für den technischen Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz ein interessantes Potential aufweist. Im Hinblick auf die Güte der Beurteilung war in diesem Experiment

kein Unterschied zwischen der Analyse anhand einer VR-Simulation und der eines gegenständlichen Arbeitsplatzes festzustellen. Sowohl korrekt gestaltete Aspekte des Arbeitsplatzes als auch solche, bei denen ein Gestaltungs-mangel vorlag, wurden mit einer vergleichbaren Zuverlässigkeit beurteilt. Die Güte der Beurteilung hatte ein Niveau, das Betriebspraktiker bei der Analyse eines Bildschirmarbeitsplatzes unter herkömmlichen Bedingungen erzielten (Gude et al. 2003). Somit ist davon auszugehen, dass sich die Ergebnisse auf Anwendungssituationen außerhalb des Labors verallgemeinern lassen.

In dem Experiment fiel der Zeitbedarf für die Analyse in der gegenständlichen Bedingung günstiger aus als der in den VR-Bedingungen. Die Größenordnung dieses Unterschiedes bewegte sich jedoch in einem Rahmen, der die Praktikabilität von VR-Techniken nicht ernsthaft in Frage stellt. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass sich ein hoher Grad der Immersion positiv auf diesen Leistungsaspekt auswirkt, also auch von der Auswahl eines geeigneten Projektionssystems beeinflusst wird.

Die Praxisrelevanz der Ergebnisse wird dadurch unterstrichen, dass in dem Experiment ausschließlich solche VR-Techniken eingesetzt wurden, die mit herkömmlichen Personal Computern mit stereofähiger Grafikkarte betrieben werden können. Im Unterschied zu vielen Demonstrationsanwendungen wurden also gezielt Techniken eingesetzt, die im Hinblick auf den damit verbundenen finanziellen und technischen Aufwand für einen größeren Kreis von Anwendern geeignet sind. Hinzu kommt, dass mit den HMDs die beste Beurteilungsleistung erzielt werden konnte, die im Vergleich zum Projektionstisch oder ähnlichen großflächigen Projektionssystemen in Anschaffung und Betrieb wesentlich günstiger sind. Damit wird deutlich, dass beim Einsatz von VR-Techniken nur in Ausnahmefällen auf aufwendige Lösungen zurückgegriffen werden muss (Davies 2002).

Im Hinblick auf die Fragestellung des Experiments ist also aus den Ergebnissen die Schlussfolgerung zu ziehen, dass mit VR-Techniken ein angemessenes Verhältnis von Aufwand und Nutzen erzielt werden kann. Dies gilt umso mehr, als dass auf diese Weise in der Praxis zugleich die Änderungskosten in späteren Phasen der Entwicklung und vor allem während der Einsatzphase gesenkt werden können (Chaffin 2003). Die Erschließung dieses wirtschaftlichen Potentials hat den Einsatz von VR-Techniken in der Produktentwicklung wesentlich vorangetrieben.

Verschiedene Untersuchungen belegen zudem, dass ein nicht unerheblicher Bedarf besteht, diese Techniken zur Unterstützung des prospektiven Ansatzes einzusetzen, um Gestaltungsdefizite bereits in der Entwurfphase von Arbeitssystemen zu begegnen. Aus einer Literaturanalyse von Luttmann & Jäger (2003) geht hervor, dass die beiden wichtigsten aktuellen Fragestellungen die Themenbereiche

Körperhaltung und Belastungen des Muskel- und Skelettsystems sowie die Gestaltung von Fahrtätigkeiten und Büro- und Computerarbeit betreffen. So stellen Erkrankungen des Muskel- und Skelettsystems seit vielen Jahren die wichtigste Ursache für krankheitsbedingte Abwesenheit vom Arbeitsplatz dar (BKK, Hrsg. 2002). Eine vom Deutschen Büromöbel Forum (Hrsg. 2003) durchgeführte Studie zur Bildschirmarbeit in Deutschland ergab zudem, dass 88% der analysierten Arbeitsplätze Mängel aufweisen. Weit verbreitete Schwachstellen sind dabei die räumliche Anordnung der Arbeitsmittel, die Sehbedingungen sowie die fehlende Anpassung der Arbeitsmittel an die Arbeitsperson. Solche Defizite können mit VR-gestützten Analysemethoden bereits im Vorfeld identifiziert und behoben werden.

Das Konzept der prospektiven Ergonomie besagt, dass die Berücksichtigung entsprechender Gestaltungskriterien umso wirkungsvoller ist, je frühzeitiger sie in die Entwicklung einfließen können. Andererseits setzen VR-Techniken die Verfügbarkeit von CAD-Darstellungen voraus, die bislang erst in der Entwurfsphase erstellt wurden. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass sich der CAD-Einsatz zunehmend auch in vorgelagerten Entwicklungsphasen etabliert. In einer Befragungsstudie berufserfahrener Konstrukteure (Römer 2002) gaben 70% der Teilnehmer an, CAD teilweise oder ausschließlich zur Unterstützung in den Phasen der Anforderungsklä rung und Konzeptentwicklung zu nutzen. Damit erweitern sich zugleich die Möglichkeiten zu einem frühzeitigen Einsatz von VR-Techniken.

Bei der Realisierung des prospektiven Ansatzes sind jedoch nicht nur technische, sondern auch organisatorische Aspekte zu berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Konzept der partizipativen Ergonomie (Haines et al. 2002). So weisen z.B. Koningsveld et al. (2003) auf der Grundlage einer Analyse von insgesamt zwölf Forschungs- und Beratungsprojekten darauf hin, dass sowohl die Beteiligung der Mitarbeiter als auch die Einbindung von Verantwortlichen aus dem Management eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg darstellen. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an eine anschauliche Darstellung von Konzepten und Entwürfen, wozu VR-Techniken einen unterstützenden Beitrag leisten können. Dies gilt insbesondere für großflächigere stereoskopische Projektionssysteme, wie dem im Experiment verwendeten Projektionstisch. Sie ermöglichen, gemeinsam eine Beurteilung vorzunehmen, was sich positiv auf die Transparenz der Entscheidungsprozesse und die Akzeptanz der Ergebnisse auswirkt.

6. Literatur

- BKK Bundesverband, Bundesverband der Betriebskrankenkassen (Hrsg. 2002) Krankheitsarten 2000. Essen
- Chaffin DB (2003) Improving digital human modeling for proactive ergonomics in design. In: Proceedings of the XVth Congress of the IEA, Band 1, 2-5
- Davies RC (2002) Applications of system design using virtual environments. In: Stanney KM (Hrsg.) Handbook of Virtual Environments 1079-1100. Lawrence Erlbaum, Mahwah / NJ
- Deutsches Büromöbel Forum (Hrsg. 2003) Bildschirmarbeit in Deutschland – was hat sich getan, wie ist die Situation? <http://www.buero-forum.de/>
- Ehrlenspiel K, Kiewert A, Lindemann U (2002) Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, 4. Aufl. Springer-Verlag, Berlin
- Gude D (2004) VR-Anwendungen im Design. In: Bruder R (Hrsg.) Ergonomie und Design 155-163. Ergonomia Verlag, Stuttgart
- Gude D, Branahl E, Kawalek P, Prions A, Laurig W (2003) Evaluation of a virtual reality-based ergonomics tutorial. In: de Waard D, Brookhuis KA, Sommer SM, Verwey WB (Hrsg.) Human factors in the age of virtual reality, 117-128. Shaker Publishing, Maastricht
- Haines H, Wilson JR, Vink P, Koningsveld EAP (2002) Validating a framework for participatory ergonomics. Ergonomics 45: 309-327
- Hillecke M (2001) Ergonomische Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen neuartiger Abfallsammelfahrzeuge. VDI Verlag, Düsseldorf
- Koningsveld EAP, Dul J, van Rhijn GW, Vink P (2003) Enhancing the impact of ergonomic interventions. In: Proceedings of the XVth Congress of the IEA, Volume 1, 33-36
- Laurig W (1984) Prospektive Ergonomie – Utopie oder Wirklichkeit? Arbeitgeberverband der Metallindustrie, Köln
- Luttmann A, Jäger M (2003) Ergonomie – Verbindung zwischen Technik und Humanwissenschaft. Zbl Arbeitsmed 53: 110-119
- Römer A (2002) Unterstützung des Design Problem Solving: Einsatz und Nutzen einfacher externer Hilfsmittel in den frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses. Dissertation, Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften, TU Dresden
- Shewchuk JP, Chung KH, Williges RC (2002) Virtual Environments in manufacturing. In: Stanney KM (Ed.) Handbook of Virtual Environments 1119-1141. Lawrence Erlbaum, Mahwah / NJ
- Velden M (1982) Die Signalentdeckungstheorie in der Psychologie. Kohlhammer, Stuttgart

Karsten Kluth - Hsiu-Chen Chung - Helmut Strasser

Verfahren und Methoden zur Prüfung der ergonomischen Qualität von handgeführten Arbeitsmitteln

Professionelle Schraubendreher im Test

Jeder Heim- und Handwerker weiß, dass man sich mit einem ergonomisch gestalteten Arbeitsmittel einfach „leichter tut“.

Mittlerweile sind auch Hersteller nach dem Arbeitsschutzgesetz verpflichtet, ihre Produkte unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien so zu gestalten, dass „Belastungen und Beanspruchung der Nutzer bei höchstmöglicher Arbeitseffizienz auf ein Mindestmaß reduziert werden“.

Mitunter allzu schnell wird Arbeitsmitteln die Qualifikation „ergonomisch“ zuerkannt, ohne dass sie sich schon im Arbeitseinsatz genügend bewährt haben. Kontrollierte und vergleichende Praxistests sind also unabdingbar.

Eine Vielzahl von Untersuchungen hat inzwischen dazu geführt, dass Werkzeuge und Arbeitsmittel unter ergonomischen Gesichtspunkten und Auflagen zertifiziert werden können.

Diese Studie aus der Praxis und unter Mitwirkung einer Anzahl maßgeblicher Produzenten von Schraubendrehern, von ein- und zweiseitigen Werkzeugen, zeigt deutlich die verfeinerten Methoden und Verfahren zur Beurteilung bei der Planung, Herstellung und Anwendung wirklich ergonomisch hochwertiger Arbeitsmittel. Die dargestellten Verfahren und Methoden sind selbstverständlich (in Abwandlungen) auch für andere Produkte und Arbeitsmittel anwendbar.



Die Studie mit einem Umfang von 156 Seiten ist in der „Schriftenreihe Ergo-Med“ erschienen und kostet € 25,00 zzgl. Versandkosten. ISBN 3-87284-050-9



Dr. Curt Haefner-Verlag GmbH

Postfach 10 60 60 · 69050 Heidelberg · Tel.: 0 62 21/64 46-0 · Fax: 0 62 21/64 46-40
E-Mail: info@haefner-verlag.de · Internet: <http://www.haefner-verlag.de>