

Erschienen 2005 in *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 59(3-4), 281-290

Dietmar Gude, Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund

Evaluierung des Einsatzes von Darstellungstechniken der virtuellen Realität in einem eLearning-Modul zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen

eLearning, virtuelle Realität, Evaluierung, Akzeptanz, Nutzung, Nachhaltigkeit

Evaluation of the Application of Virtual Reality Presentation Techniques in an eLearning Module on the Ergonomic Design of Work Systems

eLearning, virtual reality, evaluation, acceptance, usage, sustainability

Zusammenfassung

Am Beispiel einer eLearning-Anwendung zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen werden die Möglichkeiten zum Einsatz von Darstellungstechniken der virtuellen Realität vorgestellt. Zudem werden die Ergebnisse einer Evaluierung dieser Anwendung berichtet, aus denen hervorgeht, dass sowohl im universitären Bereich als auch in der betrieblichen Praxis ein nachhaltiger Bedarf für entsprechende Lernangebote besteht. Aus der Analyse des Interaktionsverhaltens ergaben sich Hinweise, dass die Anwender häufig eine explorative gegenüber einer systematischen Lernstrategie bevorzugten, wie dies nach der konstruktivistischen Lerntheorie zu erwarten ist.

Praktische Relevanz

Im Kontext der Initiative der Europäischen Union, zur führenden wissenschaftsgestützten Wirtschaft der Welt zu werden, ist das Konzept des eLearning ein wichtiges Instrument zur Modernisierung der Bildungssysteme. Mit dem Einsatz von Techniken der virtuellen Realität (VR) können Lerninhalte in anschaulicher und interaktiver Form vermittelt werden, mit positiven Auswirkungen auf die Nutzungshäufigkeit und -intensität von eLearning-Angeboten. Aus der Evaluierung prototypischer Anwendungen lassen sich Hinweise ableiten, wie das mit VR-Technologien verbundene Potential in geeigneter Weise für dieses Anwendungsfeld erschlossen werden kann.

Summary

The interest in providing learning services via the World Wide Web, in the form of eLearning applications, has increased greatly during recent years. Shortcomings of traditional text-oriented applications, especially with regard to low completion rates, have led to the proposal to apply techniques from the field of virtual reality (VR), to present learning content in a more vivid and interactive way. To test the validity of this proposal, the acceptance and usage of such a VR-enhanced eLearning application on the ergonomic design of work systems was investigated.

The purpose of this application was to familiarize the users with the systematic evaluation of work systems. In this context, the rationale of introducing VR techniques was to provide a training setting that mimics the conditions under which real-world work systems are commonly evaluated. That is, the user is presented a three-dimensional model, in which he or she can navigate and interact with its components, to find out the ergonomic deficiencies. In doing so, the user is guided by a number of questions covering the requirements relevant to the work system under consideration. Answering these questions, the user is provided with feedback whether his or her assessment was correct and how to verify this feedback in the model. Currently, the application contains five learning units, two utility vehicle scenarios and three computer workstation scenarios.

To determine the acceptance and usage of the application, the course of interaction and its time structure were recorded. These data allowed to ascertain, e.g., the time the application was used, the frequency with which the different scenarios were accessed, and to what degree the corresponding learning units were completed. The users were identified by a login mechanism, the required user-

name and password were defined during an initial registration procedure, in which general personal data were recorded (age, gender, occupation, nationality, and previous knowledge in the fields of ergonomics and virtual reality), in addition. These data were utilized to differentiate a number of user groups and to compare their ways of interacting with the application. The results reported here are based on data recorded during 600 days, 300 days before and after the end of the funding period of the underlying project, to determine the sustainability of demand for this eLearning service.

During this period of time, 587 people registered to use the eLearning application. Despite the initial expectation, the majority of the users were not students, but rather the largest group comprised professionals from the service sector. Moreover, while most of the users were from Germany, more than one-third came from other countries, underlining that the service was of interest for a wide and international audience.

On the average, the users interacted with the application for about 20 minutes. This value can serve as a benchmark for the adequate size of learning units in eLearning applications. The standard deviation of usage time indicates a high level of interindividual variability, suggesting to provide units of different sizes and allowing the users to select those matching their individual requirements.

Each user accessed about two of the scenarios, with those on computer workstations being much more popular than those concerned with utility vehicles. On the average, about 0.3 scenarios were completed, by answering all accompanying questions. This finding is in line with the international literature, in which the completion rates of eLearning applications are reported as being 'notoriously low'. In this respect, there were no systematic differences between the two scenario types.

The method applied here allowed to determine at which stage the drop outs occurred. It became apparent that the crucial stages were located at the beginning of working with a scenario. One-fourth of the drop outs occurred while the users were waiting for the VR-models to be downloaded on their computer, pinpointing a bandwidth problem which overstrained the patience of several users. If the download was completed successfully, in almost all cases the users started to interact with the model. However, with a much lower frequency the users answered the first question, accounting for another quarter of the drop outs, and this trend continued to the stage that the first 25% of the questions were answered. In the following stages drop outs were rather infrequent, i.e., after answering the first 25% of the questions in most cases the learning unit was completed. The contrast between the frequencies with which the users interacted with the VR-model and answered the accompanying questions – originally provided to guide them through the systematic evaluation of the work system under consideration – indicates that often they preferred an explorative rather than a systematic learning strategy, which is in line with the constructivist theory of learning.

Finally, there were no substantial systematic differences between the user groups on how they handled the eLearning application. This implies, i.a., that it can be used in an adequate way even without previous knowledge in the fields of ergonomics and virtual reality. This finding indicates that the range of application of VR presentation techniques is not restricted to academic education, but rather includes the field of lifelong learning. In addition, most usage aspects remained stable after the end of the funding period, with the exception that there was a moderate decline of the number of new users that registered to access the service. In sum, this provides evidence for the sustainability of demand, but also indicates some need to reinforce marketing-related activities.

Practical Relevance

In the context of the initiative of the European Union of becoming the world's most dynamic knowledge-based economy, the concept of eLearning is an important instrument to modernize the educational systems. The utilization of virtual reality (VR) techniques allows to present learning content in a vivid and interactive way, thereby contributing to the frequency and intensity with which eLearning services are used. The evaluation of prototypical applications allows to derive suggestions on how to tap the potential associated with VR technologies in a suitable way for this field of application.

1 Einführung

Die Europäische Union hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2010 zur führenden wissenschaftlich-gestützten Wirtschaft der Welt zu werden. Zu diesem Zweck wurde das Programm „eEurope“ initiiert (Europäische Kommission 2002). Mit seinen Teilprogrammen eLearning, eHealth, eBusiness und eGovernment sollen die Bildungssysteme modernisiert und der Wandel zu einer wissenschaftlich-gestützten Wirtschaft und Gesellschaft gesteuert werden.

Der Begriff des eLearnings in seiner ursprünglichen Bedeutung verweist auf Formen des Lernens, bei denen die Inhalte mit Hilfe elektronischer Medien vermittelt werden. Mit der zunehmenden Bedeutung des Internet wird eLearning aber inzwischen mit online-gestützten Lernformen gleichgesetzt. Sie weisen gegenüber traditionellen Lernformen eine Reihe von Vorteilen auf, etwa die Möglichkeit zur schnellen und häufigen Aktualisierung der Lerninhalte sowie die Abstimmung von Ort, Zeitpunkt, Geschwindigkeit und Verlauf des Lernprozesses auf die individuellen Bedürfnisse (Daniel 1998).

Deshalb wird die Initiative der Europäischen Union durch nationale und regionale Förderprogramme unterstützt. Ein Beispiel ist das Programm „Neue Medien in der Bildung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, in dessen Rahmen die Entwicklung und der nachhaltige Einsatz von eLearning-Anwendungen gefördert wird (DLR 2004). In Ergonomie und Arbeitswissenschaft wurden diese Förderprogramme von verschiedenen entsprechend ausgerichteten Lehrstühlen und Instituten dazu genutzt, eine internetgestützte Lernplattform aufzubauen. Waren es im Verbundprojekt INTEGRAL (I), gefördert durch den Universitätsverbund Multimedia NRW, noch vier Projektpartner (Rötting & Bruder 2000), so umfasste das Nachfolgeprojekt INTEGRAL II, gefördert durch das Programm „Neue Medien in der Bildung“, bereits 15 Partner (Luczak & Schmidt 2005). Von diesen wurden 17 Lernmodule zur ergonomisch-technischen Arbeitssystemgestaltung entwickelt.

Das didaktische Konzept von INTEGRAL II zielt darauf ab, ein wissenschaftlich fundiertes Lernangebot bereitzustellen, das zugleich einen klaren Praxisbezug aufweist, so dass für die Studierenden sowohl der Nutzen für das Studium selbst als auch für die spätere Berufstätigkeit deutlich wird. Deshalb kommt der anschaulichen Darstellung von Praxisbeispielen eine besondere Bedeutung zu, wozu beispielsweise im Lernmodul „ErgoScenes“ auf Darstellungstechniken der virtuellen Realität zurückgegriffen wird, um Kenntnisse auf dem Gebiet der ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen zu vermitteln. Hierzu werden Fallbeispiele von Nutzfahrzeugen und Bildschirmarbeitsplätzen in dreidimensionaler und interaktiver Form präsentiert, die von den Anwendern auf Gestaltungsmängel hin untersucht werden.

Virtuelle Realität (VR) ist ein Sammelbegriff für neuartige Techniken, die eine realitätsnahe Wahrnehmung von und Interaktion mit rechnergestützten Simulationen in Echtzeit gestatten. Diese Techniken werden inzwischen in einem vielfältigen Spektrum von Anwendungsfeldern genutzt, wobei insbesondere der Bereich der Aus- und Weiterbildung hervorzuheben ist: „Virtual Environments embody many characteristics of an ideal training medium“ (Rose et al. 2000, S. 494). Um die visuelle Wahrnehmung zu unterstützen, werden häufig stereoskopische Projektionssysteme eingesetzt, z.B. Head-Mounted-Displays oder autostereoskopische Bildschirme. Zur realitätsnahen Interaktion wurden neuartige Eingabegeräte entwickelt, wie Datenhandschuhe oder 3D-Navigationsinstrumente. Da diese speziellen Projektions- und Interaktionsgeräte nicht allgemein verfügbar sind, dominiert zurzeit noch der Einsatz im Rahmen von laborgestützten Anwendungen, so dass allenfalls ein kleiner Kreis von Personen auf diese Weise ausgebildet werden kann. Andererseits sind seit längerem verschiedene Techniken zur Realisierung von internetgestützten VR-Anwendungen verfügbar (Hughes et al. 2002), so dass die Möglichkeit besteht, diesen Ansatz in angepasster Form auch für eLearning-Angebote zu nutzen. Erste positive Erfahrungen mit einem solchen VR-gestützten eLearning wurden im Vorläuferprojekt INTEGRAL (I) gesammelt (Gude et al. 2003), die den Ausgangspunkt für die Entwicklung von ErgoScenes bildeten.

Hughes et al. (2002) machen aber auch deutlich, dass sich aus dem Einsatz von VR-Techniken in internetgestützten Anwendungen substantielle Probleme ergeben können. So müssen dabei in der

Regel zunächst größere Dateien auf die Rechner der Anwender übertragen werden, was – je nach Bandbreite der Netzwerkanbindung – zu längeren Wartezeiten führen kann. Zudem unterscheidet sich die Interaktion mit VR-Modellen von der mit konventionellen Hypertext-Applikationen, durch eine geeignete Gestaltung ist also sicherzustellen, dass diese Interaktionsmöglichkeiten von den Anwendern intuitiv nachvollzogen werden können.

Deshalb wurde ErgoScenes einer Evaluierung unter Praxisbedingungen unterzogen, die auf verschiedene Aspekte der Akzeptanz und Nutzung des Lernmoduls abhob. So wurde der Umfang und die Zusammensetzung der Anwenderpopulation bestimmt, wobei Variablen wie die Vorerfahrungen mit VR-Anwendungen und die Vorkenntnisse auf den Gebieten Ergonomie und Arbeitswissenschaft in die Analyse eingingen. Zudem wurde anhand von Verhaltensdaten geprüft, ob diese Gruppen das Lernmodul in unterschiedlicher Weise verwendeten. Dabei war von besonderem Interesse, mit welcher Häufigkeit die Lerneinheiten vollständig bearbeitet wurden – diese wird z.B. in einem Bericht der American Society of Training and Development und dem MASIE Center als „notoriously low“ charakterisiert (ASTD & MASIE Center 2001) und ist entsprechend ein zentrales Problem des eLearning-Ansatzes. Die Gründe für Abbrüche (*drop outs*) sind bislang weitgehend ungeklärt, da von Webservern zwar detaillierte Protokolldateien angelegt werden, diese Daten erlauben es aber nicht, einzelne Personen eindeutig zu identifizieren und ihren Pfad durch eine Internet-Anwendung zu verfolgen (Turner 2004). Zur Evaluierung von ErgoScenes wurde deshalb auf Methoden der Online-Forschung (Batinic et al. 2002) zurückgegriffen, indem in die Anwendung spezielle Funktionen zur Aufzeichnung der Interaktionen integriert wurden, die insbesondere darauf abzielten, den genauen Zeitpunkt von Abbrüchen zu bestimmen, um auf diese Weise Anhaltspunkte für die zugrundeliegenden Ursachen zu erhalten.

Ein weiteres Problemfeld ist die nachhaltige Nutzung von eLearning-Anwendungen. Dieser Aspekt gehört zu den zentralen förderungspolitischen Zielen, die in den Richtlinien zum Programm „Neue Medien in der Bildung“ formuliert wurden. Damit wird die Erwartung verknüpft, dass die Projektergebnisse über die Förderphase hinaus Impulse auf die universitäre Lehre und Weiterbildung ausüben. In einem Audit-Bericht zu dem Förderprogramm wird jedoch dieser Punkt als „äußerst kritisch“ beurteilt (Baumgartner 2003). Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen deshalb auf Daten, die sowohl während als auch nach dem Ende der Förderung des Verbundprojektes INTEGRAL II aufgezeichnet wurden, um aus einem Vergleich dieser Analysezeiträume Aussagen über die Nachhaltigkeit der Nutzung von ErgoScenes abzuleiten. Vor der Darstellung der Ergebnisse wird zunächst das Lernmodul selbst eingehender vorgestellt.

2 Das Lernmodul „ErgoScenes“

Mit ErgoScenes soll Studierenden die Möglichkeit gegeben werden, Kenntnisse auf dem Gebiet der ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen zu erwerben. Insbesondere sollen sie in die Lage versetzt werden, eine systematische Beurteilung von Arbeitsbedingungen durchzuführen. Bei der Formulierung des didaktischen Konzepts wurde auf die konstruktivistische Lerntheorie zurückgegriffen. Im Gegensatz zum instruktionstheoretischen Ansatz, der den Lernenden eine weitgehend passive Rolle zuweist, sollen nach der konstruktivistischen Lerntheorie aktive Erkenntnis- und Konstruktionsprozesse ermöglicht werden, um den Transfer des erworbenen Wissens in die Praxis zu fördern (Mandl et al. 2002). Eine Methode zur Umsetzung dieser Forderung ist die Unterstützung des fallbasierten Schließens: Ein Großteil der Prozesse des Entscheidens bzw. Problemlösens findet über den Versuch statt, sich an Erfahrungen in der Vergangenheit zu erinnern, die in der Gegenwart als Vorlage dienen können. Für die Gestaltung einer fallbasierten Lernumgebung ergeben sich aus der konstruktivistischen Lerntheorie folgende grundlegende Anforderungen:

- **Anregung der intrinsischen Motivation:** Die Fälle sollen die Lernenden dazu anregen, sich aktiv mit ihnen auseinander zu setzen.
- **Authentizität:** Mit einer realitätsnahen Darstellung und Behandlung der Fälle ist die Anwendbarkeit des Wissens in der Praxis sicherzustellen.

- Bezug zu Vorwissen: Die Fälle müssen an den Kenntnissen der Lernenden anknüpfen, so dass sie die Lerninhalte in ihren Erfahrungsschatz integrieren können.
- Selbstgesteuertes Lernen: Die Fälle sollen aus sich heraus nachvollziehbar sein, damit die Lernenden die Möglichkeit haben, sie eigenständig zu bearbeiten.

Aus diesen Anforderungen wurde das Konzept abgeleitet, in Fallbeispielen den in der Praxis üblichen Ablauf einer Beurteilung der Arbeitsbedingungen in einer möglichst realitätsnahen Form nachzubilden, im Sinne eines computergestützten „learning by doing“.


Die Fälle werden als dreidimensionale Szenarien dargestellt, in denen verschiedene Gestaltungsmängel „versteckt“ sind. Um die aktive Auseinandersetzung mit den Szenarien anzuregen, haben die Anwender die Aufgabe, die Gestaltungsmängel durch geeignete Navigation und Interaktion selbst herauszufinden. Dabei werden sie durch eine Menge von Gestaltungskriterien angeleitet, zu denen sie jeweils angeben, ob sie in dem Szenario erfüllt sind oder nicht. Nach der Überprüfung eines Kriteriums erhalten sie eine Rückmeldung, ob ihre Einschätzung zutreffend war. Nachdem die Bearbeitung eines Szenarios abgeschlossen wurde, meldet die Anwendung die Beurteilungsleistung in Form von verschiedenen Zeit- und Fehlerkennwerten zurück. Diese Kennwerte können bei späteren Besuchen wieder aufgerufen werden, um eine Rückmeldung über den Lernfortschritt zu erhalten. Zusätzlich werden die entsprechenden Werte der anderen Anwender angegeben, um eine Einordnung der individuellen Leistungsdaten zu ermöglichen.

Derzeit stehen fünf Szenarien zur Verfügung, zwei zur Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen und drei zur Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen. Die Szenarien zu den Fahrerarbeitsplätzen behandeln Nutzfahrzeuge, einen Gabelstapler sowie ein Abfallsammelfahrzeug, bei dem über einen seitlich angebrachten Auslegerarm die Entleerung der Abfallgefäße vorgenommen wird. Die Szenarien zu den Bildschirmarbeitsplätzen behandeln Einzelbüros und ein Computer-Labor. In der Regel sind jeweils zwischen 10 und 12 Gestaltungskriterien zu überprüfen, wovon aufgrund der in den Fallbeispielen vorhandenen Mängel 50% nicht erfüllt sind. Inhaltliche Grundlage der Szenarien sind reale Arbeitsplätze (z.B. Computer-Labor der California State University Northridge, U.S.A.), die teilweise auch Gegenstand von Forschungsprojekten waren (z.B. Abfallsammelfahrzeug, siehe Hill-ecke et al. 2000). Die Szenarien sind im Shockwave-Format realisiert, dem zurzeit am weitesten verbreiteten Zusatzmodul für Browser zur Darstellung von 3D-Inhalten, die entsprechenden Dateien haben einen Umfang von 805 bis 1928 KB.

Im Vergleich zu textorientierten eLearning-Anwendungen setzt sich die Benutzeroberfläche von ErgoScenes aus relativ wenigen Elementen zusammen, der Eingangsseite, der Übersichtsseite und der Seite zur Darstellung der Szenarien. Die Eingangsseite enthält im wesentlichen drei Elemente, eine Vorschau, ein Login- und ein Anmeldeformular. Die Vorschau umfasst eine kurze Einführung in die Inhalte sowie die didaktische und technische Umsetzung. Bei der Anmeldung sind Angaben zu allgemeinen persönlichen Daten zu machen. Darüber hinaus vereinbaren die Anwender hier einen Benutzernamen und ein Kennwort, mit denen sie sich bei zukünftigen Besuchen einloggen. Auf dieser Seite befindet sich schließlich auch ein Hyperlink, mit dem auf die englischsprachige Version umgeschaltet werden kann, die ansonsten mit der deutschen Fassung identisch ist.

Nach Eingabe der Login- bzw. Anmeldungsdaten wird eine Übersicht der verfügbaren Szenarien dargestellt, in der sie durch eine einheitlich gestaltete Menge von Metadaten beschrieben werden (Bild 1). Neben einer kurzen Beschreibung des Gegenstands befinden sich Daten, auf deren Grundlage die Anwender den mit der Bearbeitung verbundenen Aufwand abschätzen können, im Hinblick auf den Umfang des erforderlichen Datentransfers und den Zeitbedarf zur vollständigen Bearbeitung des Szenarios. In der Tabelle zum Ergebnis-Verlauf wird für jeden individuellen Abruf des Szenarios angegeben, ob es vollständig bearbeitet wurde oder nicht. Bei einer vollständigen Bearbeitung werden verschiedene Leistungskennwerte zurückgemeldet. Die Kennwerte „Treffer“ und „falsche Alarmer“ beruhen auf Konzepten der Signalentdeckungstheorie zur Quantifizierung von Beurteilungsleistungen (z.B. Velden 1982). Der Wert für die Treffer beschreibt denjenigen Prozentsatz der Antworten, in denen ein tatsächlich vorhandener Gestaltungsmangel entdeckt wurde, bei

falschen Alarmen wurden geeignet gestaltete Aspekte irrtümlich als mangelhaft eingeschätzt. In der Tabelle werden zudem zwei Zeitwerte angegeben, für die Beantwortung der Fragen und den Gesamtaufwand zur Bearbeitung des Szenarios, der die Zeit einschließt, während der die Rückmeldungen zu den Antworten studiert wurden. Um eine Einordnung dieser individuellen Leistungsdaten zu ermöglichen, werden schließlich die Mittelwerte aller anderen Anwender bei der vollständigen Bearbeitung dieses Szenarios aufgeführt.



Szenario starten...

Beschreibung

Obwohl **Gabelstapler** eine etablierte und weitverbreitete Gruppe von Nutzfahrzeugen sind, ist es bis heute nicht gelungen, eine unter allen Gesichtspunkten ergonomische Gestaltungslösung zu finden. In diesem Szenario werden ihre zentralen Schwachstellen veranschaulicht.

Technische Daten

- Modellgröße: 1928 KB
- Anzahl Fragen: 10
- Mittlere Bearbeitungszeit: 32.0 min

Ergebnis-Verlauf

Datum	Status	Treffer (%)	Falsche Alarme (%)	Antwortzeit (min)	Gesamtzeit (min)
03.05.2005 07:32:35	abgebrochen nach 3 Fragen				
03.05.2005 07:34:10	abgeschlossen	20	40	3.1	4.1
03.05.2005 07:39:14	abgeschlossen	100	20	8.9	11.4
Andere Anwender/innen	abgeschlossen	53	33	35.1	38.0

Bild 1: Szenariospezifische Informationen in der Übersicht am Beispiel des Szenarios „Gabelstapler“ (Die individuellen Daten in der Tabelle des Ergebnis-Verlaufs sind fiktiv)

Figure 1: Scenario-specific information in the overview, referring to the example of the „Forklift Truck“ scenario (The individual data in the table of the results history are fictitious)

Die Szenarien werden über den Hyperlink „Szenario starten...“ aufgerufen. Daraufhin öffnet sich eine Seite, auf der im oberen Bereich das VR-Modell dargestellt ist, der untere Bereich dient der Präsentation der Fragen bzw. Rückmeldungen mit entsprechenden Erläuterungstexten (Bild 2). Jede Frage ist mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten, wobei eine negative Antwort signalisiert, dass ein Gestaltungsmangel vorliegt. Der Erläuterungstext zur Frage weist auf die verschiedenen Aspekte hin, die in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen sind. Im Erläuterungstext zur Rückmeldung wird eine Begründung für die Einordnung der Antwort als richtig oder falsch gegeben, zusammen mit einer Anleitung, wie man diese Rückmeldung anhand des Modells nachvollziehen kann.

Die Szenarien beinhalten verschiedene Interaktionsmöglichkeiten. So kann man sich in ihnen mit Hilfe der Maus und/oder der Tastatur in allen sechs Achsen, den drei Translations- und den drei Rotationsachsen, bewegen. Die weiteren Interaktionsmöglichkeiten wurden in Abhängigkeit vom jeweiligen Gegenstandsbereich und den zu überprüfenden Gestaltungskriterien festgelegt. In den Szenarien zu Bildschirmarbeitsplätzen bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- Öffnen und Schließen von z.B. Türen, Schubläden, Schranktüren und Fenstern, zur Beurteilung von Freiräumen und Möbelfunktionsflächen.
- Variation der Lichtverhältnisse – z.B. durch Ein- und Ausschalten von Raumbeleuchtung oder Schreibtischlampe sowie Öffnen und Schließen der Jalousien – zur Beurteilung der Sehbedingungen.
- Ein- und Ausblenden eines virtuellen Zollstocks, der sich nach dem Prinzip von Head Up-Displays mitbewegt; dieser dient der genauen Bestimmung der räumlichen Anordnung, z.B. der Breite von Verkehrswegen oder des Abstands von Auge und Bildschirm.

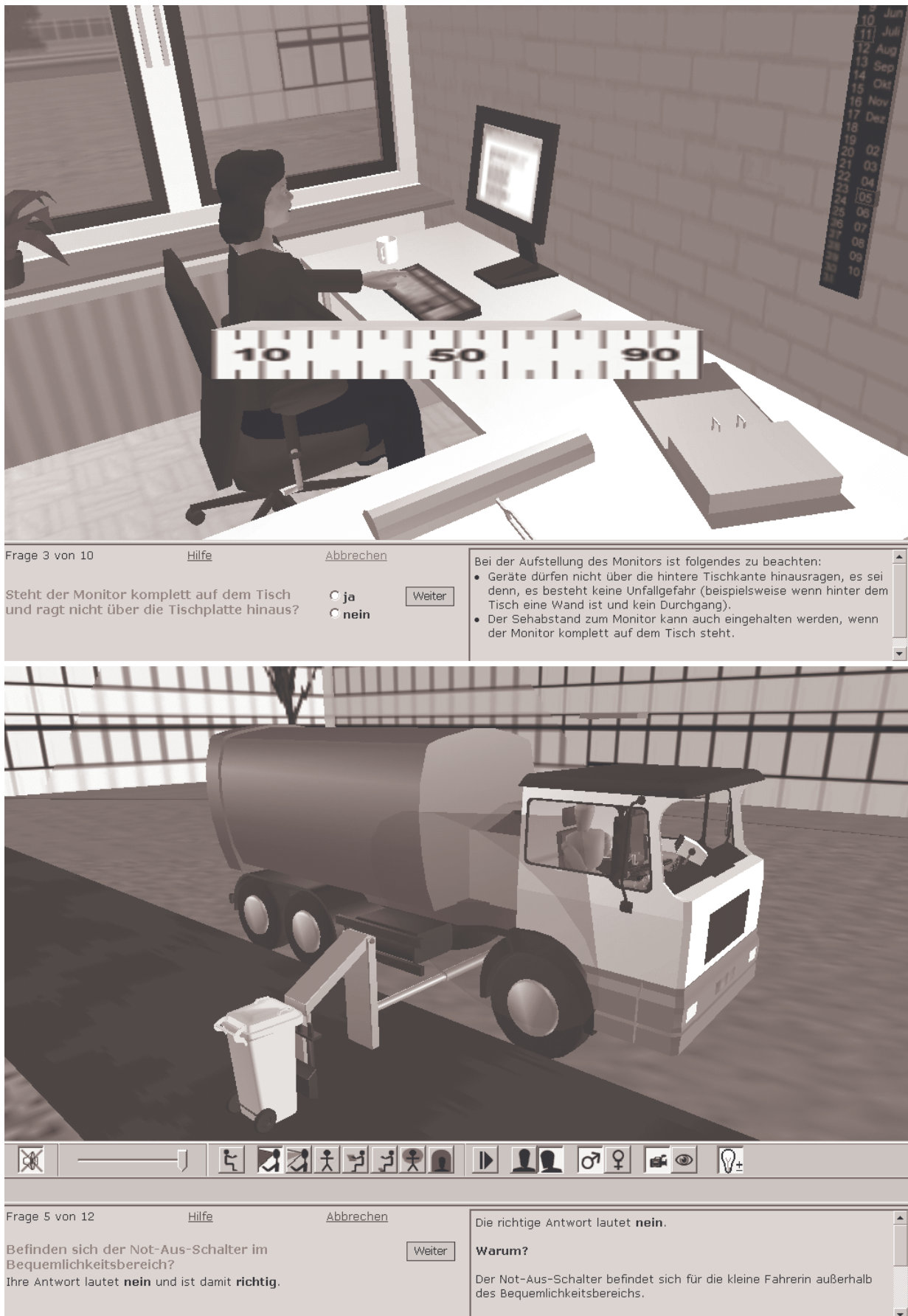


Bild 2: Szenario zu Bildschirmarbeitsplätzen mit aktuell bearbeitetem Gestaltungskriterium (oben) und Szenario zu Nutzfahrzeugen mit Rückmeldung (unten)

Figure 2: Scenario on computer workstations with presently treated design criterion (top) and scenario on utility vehicles with feedback (bottom)

In den Szenarien zu den Nutzfahrzeugen ist die Beurteilung durch eine vergleichsweise große Zahl von Interaktionsmöglichkeiten zu unterstützen. Um die Handhabung dieser Optionen zu erleichtern, sind sie in einer Schaltflächenleiste aufgeführt, deren Elemente im folgenden skizziert werden:

- Ein- und Ausblenden von Hilfsgeometrien, z.B. Schablone mit Darstellung der empfohlenen Körperhaltung, geeignete und empfohlene Sehbereiche, physiologisch maximaler Greifraum, Bequemlichkeitsbereiche für Hand- und Fußstellteile.
- Variation der Fahrereigenschaften: Umschalten zwischen kleiner Frau (5. Perzentil) und großem Mann (95. Perzentil), Einstellen verschiedener Körperhaltungen.
- Manipulation des Fahrzeugs: Bewegen einzelner Elemente (Hubeinrichtung bzw. Auslegerarm) oder des gesamten Fahrzeugs.
- Änderung der Ansicht: Stufenlose Regulierung der Transparenz einzelner Fahrzeugkomponenten; Wechsel in die Fahrerperspektive, in der die Kamera nur noch innerhalb der physiologischen Grenzen für Kopf- und Augenbewegungen rotiert werden kann.

3 Evaluierung

3.1 Methodik

ErgoScenes ist auf einem Webserver mit einer sogenannten LAMP-Architektur installiert, d.h. mit Linux-Betriebssystem, Apache-Webserver, MySQL-Datenbank und PHP-Skriptsprache. Bei der Anmeldung werden in einem Formular folgende allgemeine persönliche Daten registriert: Alter, Geschlecht, Beruf, Nationalität, Vorkenntnisse im Bereich Ergonomie / Arbeitswissenschaft (ja vs. nein) und Vorerfahrungen mit VR-Anwendungen (ja vs. nein). Mit Hilfe von PHP-Skripten werden die Seitenabrufe, zusammen mit Daten zu Zeitpunkt und Dauer, in einer Datenbank abgelegt. Die individuelle Zuordnung der Daten erfolgt über die Benutzernamen und Kennwörter, die die Anwender bei der Anmeldung für sich vereinbaren.

Beim Abruf eines Szenarios werden die Fragen zu den jeweils zu berücksichtigenden Gestaltungskriterien in einer zufälligen Reihenfolge dargestellt. Um den Verlauf der Szenarienbearbeitung nachzuvollziehen, wird registriert, zu welchem Zeitpunkt der Abruf erfolgt, das VR-Modell vollständig übertragen und betriebsbereit ist und der Anwender mit dem Modell zu interagieren beginnt. Zudem werden der zeitliche Ablauf der Fragenbearbeitung sowie die jeweiligen Antworten aufgezeichnet.

Hier werden die Ergebnisse zu den Daten dargestellt, die während eines Zeitraums von insgesamt 600 Tagen aufgezeichnet wurden, 300 Tage vor und 300 Tage nach dem Ende der Förderphase von INTEGRAL II (31.12.2003). Dabei wurden nur die Aufzeichnungen zu neu angemeldeten Anwendern berücksichtigt. In die Auswertung gingen also keine Daten von Anwendern ein, die sich vor dem Analysezeitraum angemeldet und während des Zeitraums einen Folgebesuch unternommen hatten. Nach dem gleichen Prinzip wurden die Daten von Anwendern behandelt, die sich in den 300 Tagen während der Förderphase neu angemeldet hatten, auch hier blieben die Daten aus Folgebesuchen in den 300 Tagen nach der Förderphase unberücksichtigt. Auf diese Weise war sichergestellt, dass die Personen in den beiden Bedingungen während und nach der Förderphase voneinander unabhängige Gruppen bildeten.

3.2 Ergebnisse

Im Analysezeitraum wurden 587 Neuanmeldungen registriert, wobei die Anwender aus 52 verschiedenen Ländern kamen. Es überwog der Anteil der Deutschen (63.9%), gefolgt von Personen aus anderen europäischen Ländern (24.4%), Nordamerika (4.6%), Asien (3.4%), Mittel- und Südamerika (1.7%), Afrika (1.0%) sowie Australien und Ozeanien (1.0%). Das Alter betrug im Mittel 30.0 Jahre, bei einer Standardabweichung von 12.4 Jahren. Der Anteil der Männer hatte einen Wert

von 63.4%, über Vorkenntnisse im Bereich Ergonomie / Arbeitswissenschaft verfügten 43.4%, Vorerfahrungen mit VR-Anwendungen waren bei 26.7% vorhanden.

Im Hinblick auf ihren beruflichen Hintergrund wurde die Zusammensetzung der Anwenderpopulation nicht – wie ursprünglich erwartet – von den Studierenden dominiert (16.9%). Statt dessen war die größte Gruppe dem Dienstleistungsbereich zuzuordnen (36.1%). Der Anteil der Studierenden wurde auch von dem der Schüler und Auszubildenden übertroffen (22.0%). Personen aus dem Gesundheitswesen waren mit einem Anteil von 11.8% vertreten, der Wert für die Kategorie der sonstigen Berufe lag bei 13.3%.

Die Häufigkeit von Neuanmeldungen während und nach der Förderphase unterschied sich signifikant (350 vs. 237; $\chi^2 = 21.75$, $df = 1$, $p < .001$), sie sank nach dem Auslaufen der Förderung um 32.3%. Davon relativ unbeeinflusst blieb die Zusammensetzung der Anwenderpopulation, so ergaben sich keine signifikanten Wechselwirkungen mit der Nationalität, dem Alter, dem Geschlecht und den Ergonomie-Vorkenntnissen. Allerdings stieg der Anteil von Anwendern, die Vorerfahrungen mit VR-Applikationen angaben, von 23.7 auf 31.2% ($\chi^2 = 4.05$, $df = 1$, $p < .05$). Und schließlich bestand eine signifikante Wechselwirkung mit dem beruflichen Hintergrund ($\chi^2 = 14.07$, $df = 4$, $p < .01$). Der Anteil von Studierenden, Schülern / Auszubildenden und Personen aus dem Gesundheitswesen blieb konstant, der Anteil von Personen aus dem Dienstleistungsbereich nahm signifikant zu (32.6 vs. 41.4%; $\chi^2 = 6.87$, $df = 1$, $p < .01$) und derjenige von Personen mit sonstigen Berufen nahm signifikant ab (16.9 vs. 8.0%; $\chi^2 = 7.23$, $df = 1$, $p < .01$).

Die Nutzungszeit des Lernmoduls betrug im Mittel 21.9 min, bei einer Standardabweichung von 32.6 min. Das Verhältnis dieser beiden Werte besagt, dass die Zeitdaten eine linksschiefe Verteilung aufweisen, weshalb in diesem Zusammenhang auf eine varianzanalytische Auswertung verzichtet wurde. Zugleich impliziert die Form der Verteilung, dass Anwender mit kürzeren Nutzungszeiten überwogen, so dass insgesamt eine erhebliche Ausfallquote für die Bearbeitung der Szenarien zu erwarten war.

Dieser Frage wurde in einer Analyse zum Verlauf der Szenarienbearbeitung nachgegangen, im Hinblick auf die Häufigkeiten, mit denen verschiedene markante Abschnitte von den Anwendern jeweils durchlaufen wurden. Die Daten wurden in einer sechsfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet, mit den unabhängigen Variablen Förderphase (während vs. nach), Geschlecht (männlich vs. weiblich), Ergonomie-Vorkenntnisse (ja vs. nein) und VR-Vorerfahrungen (ja vs. nein) sowie den Messwiederholungsfaktoren Szenariotyp (Bildschirmarbeitsplatz vs. Nutzfahrzeug) und Abschnitt (Szenario-Abruf, Szenario bereit, Interaktion mit Szenario, 1. Frage beantwortet sowie 25, 50, 75 und 100% der Fragen beantwortet).

In der Analyse zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Abschnitt ($F[7, 3997] = 125.32$, $p < .001$), die entsprechenden Mittelwerte sind in Bild 3 dargestellt. Von den Anwendern wurden durchschnittlich 2.1 Szenarien abgerufen. Davon wurden im Mittel 1.6 Szenarien vollständig geladen – in den anderen Fällen wurde der Prozess vorzeitig abgebrochen, was einer Ausfallquote von 24% entspricht. Diese Ergebnis weist darauf hin, dass die den Anwendern zur Verfügung stehende Bandbreite häufig nicht ausreichte, um das Szenario in einer für sie akzeptablen Zeitspanne auf ihren Rechner zu übertragen. In annähernd allen Fällen, in denen der Ladevorgang abgeschlossen wurde, begannen die Anwender, mit dem VR-Modell zu interagieren. Die erste Frage wurde im Mittel bei 1.1 Szenarien beantwortet. D.h., für diesen Abschnitt war eine ähnlich hohe Ausfallquote festzustellen wie für den Ladevorgang. Danach waren die Anwender häufiger nicht daran interessiert oder in der Lage, mit der systematischen Beurteilung der in dem Szenario dargestellten Arbeitsbedingungen zu beginnen. Dieser Verlauf setzt sich im folgenden Abschnitt fort. Nach der Beantwortung von 25% der Fragen nahm die Ausfallquote wieder deutlich geringere Werte an, und in der Regel wurde dann die Szenarienbearbeitung auch abgeschlossen. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass je Anwender im Mittel etwa 0.3 Szenarien vollständig bearbeitet wurden, was einer Ausfallquote von 84.2% entspricht, wobei sich Ausfälle ganz überwiegend in den frühen Abschnitten der Szenarienbearbeitung ereigneten.

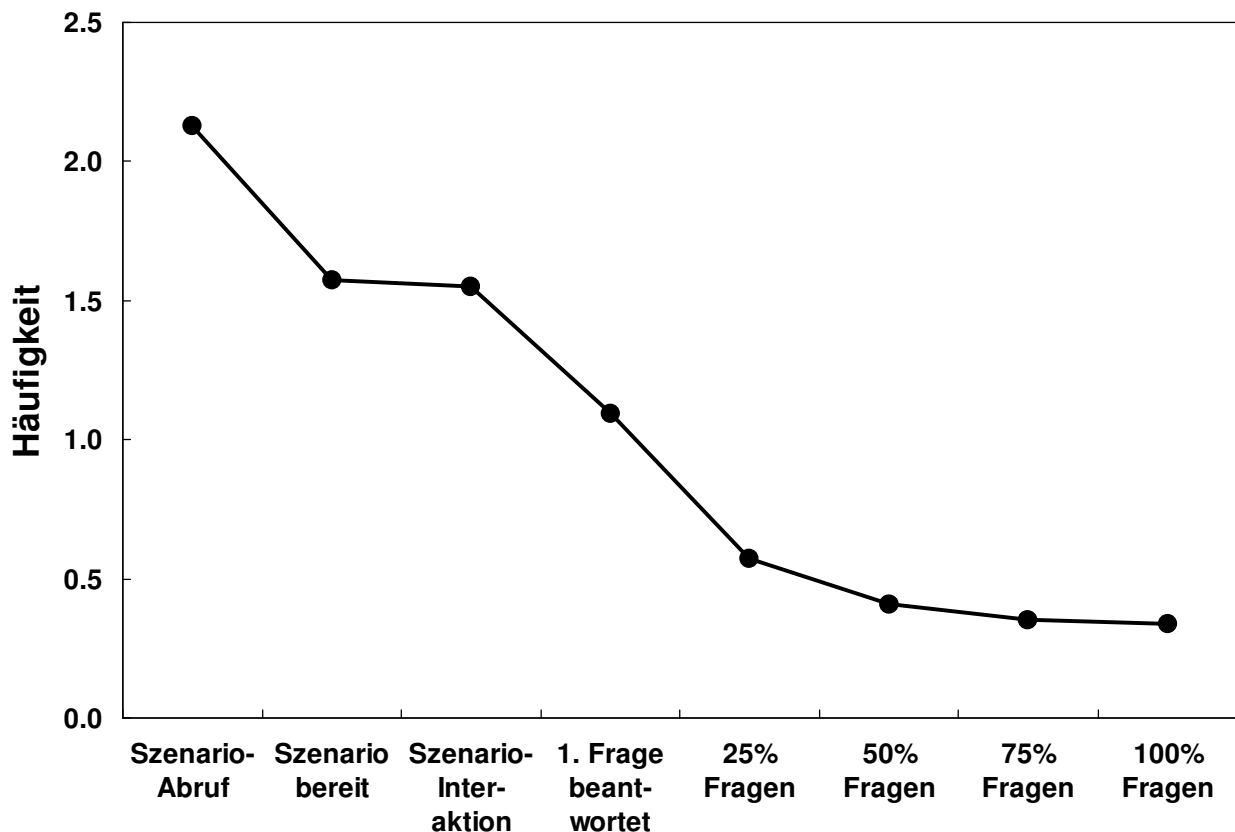


Bild 3: Mittlere Häufigkeit der Abschnitte der Szenarienbearbeitung

Figure 3: Mean frequency with which the stages of the scenarios were processed

Neben dem Haupteffekt des Bearbeitungsabschnitts waren auch die Haupteffekte der Förderphase und des Szenariotyps signifikant ($F[1, 571] = 4.28$ mit $p < .05$ bzw. $F[1, 571] = 85.78$ mit $p < .001$). Darüber hinaus ergaben sich signifikante Wechselwirkungen zwischen Abschnitt und Szenariotyp ($F[7, 3997] = 59.99$, $p < .001$), Förderphase und Szenariotyp ($F[1, 571] = 9.80$, $p < .01$) sowie Abschnitt, Förderphase und Szenariotyp ($F[7, 3997] = 6.82$, $p < .01$). Der Verlauf der Bearbeitung war also für die Szenarien zu Bildschirmarbeitsplätzen und Nutzfahrzeugen unterschiedlich, wobei zusätzlich zwischen dem Zeitraum während und nach der Förderphase zu differenzieren war. In Bild 4 sind die vier entsprechenden Funktionen wiedergegeben. Danach geht der Haupteffekt des Szenariotyps darauf zurück, dass diejenigen zu Bildschirmarbeitsplätzen häufiger abgerufen und bearbeitet wurden als die zu den Nutzfahrzeugen. Die Wechselwirkung von Abschnitt und Szenariotyp ist darauf zurückzuführen, dass die Funktion für die Szenarien zu den Bildschirmarbeitsplätzen stärker abfällt als diejenige für die Szenarien zu den Nutzfahrzeugen. Dies bedeutet aber nicht, dass die Anwender letztere Szenarien im Mittel vollständiger bearbeiten, die Ausfallquote hat hier einen Wert von 89.1%, während sie bei den Szenarien zu Bildschirmarbeitsplätzen bei 83.4% liegt.

Um die Grundlagen für die signifikanten Effekte mit Beteiligung des Faktors Förderphase zu bestimmen, wurden für die beiden Szenariotypen getrennte Analysen durchgeführt. Für die Szenarien zu den Bildschirmarbeitsplätzen ergab sich ein Haupteffekt der Förderphase ($F[1, 571] = 7.18$, $p < .01$), zudem wurde die Wechselwirkung von Abschnitt und Förderphase signifikant ($F[7, 3997] = 5.11$, $p < .05$). Wie Bild 4 zu entnehmen ist, wurden diese Szenarien nach der Förderphase weniger häufig und vollständig bearbeitet, wobei insbesondere die Werte für die frühen Bearbeitungsabschnitte ungünstiger ausfielen. Die entsprechenden Werte für die Nutzfahrzeug-Szenarien vermitteln den Eindruck, dass diese nach dem Auslaufen der Förderung statt dessen häufiger und vollständiger bearbeitet wurden. Dieser Eindruck wird durch die Ergebnisse der statistischen Analyse gestützt, wengleich der Haupteffekt der Förderphase und die Wechselwirkung von Abschnitt und

Förderphase jeweils nur ein marginales Signifikanzniveau erreichten ($F[1, 571] = 3.55$ mit $p = .060$ bzw. $F[7, 3997] = 2.56$ mit $p = .099$).

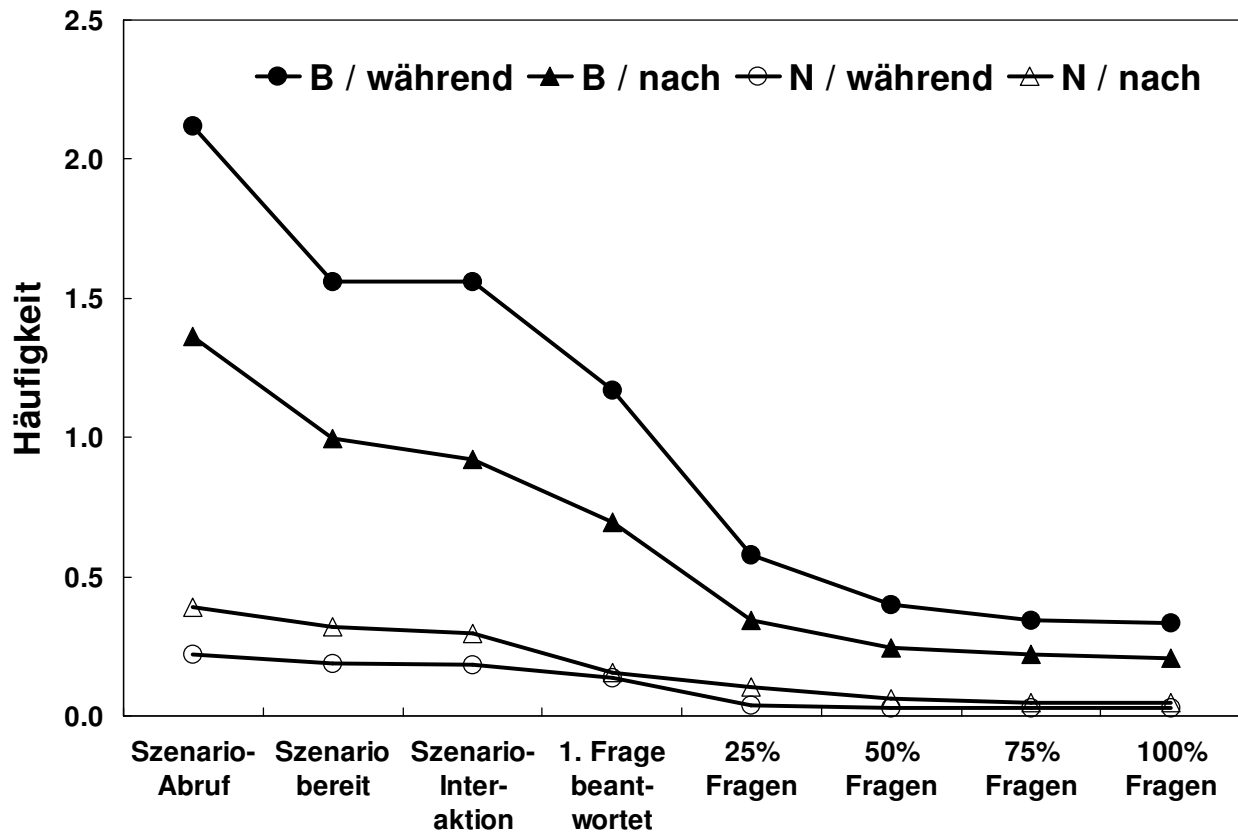


Bild 4: Mittlere Häufigkeit der Abschnitte der Szenarienbearbeitung, differenziert für den Typ des Szenarios (B = Bildschirmarbeitsplatz, N = Nutzfahrzeug) während bzw. nach der Förderphase

Figure 4: Mean frequency with which the stages of the scenarios were processed, differentiated for the scenario type (B = computer workstation, N = utility vehicle) during and after the funding period, respectively

Für die personenbezogenen Faktoren ergaben sich keine Haupteffekte, es gab also keine grundsätzlichen Unterschiede in der Art und Weise, in der die differenzierten Gruppen die Szenarien bearbeiteten. Einzig eine vierfache Wechselwirkung zwischen Förderphase, Szenariotyp, Geschlecht und VR-Vorerfahrungen wurde signifikant ($F[1, 571] = 4.90$, $p < .05$). Dieser Effekt geht auf die Gruppe von Frauen mit VR-Vorerfahrungen zurück, die sich nach dem Auslaufen der Förderung neu angemeldet hatten. Im Vergleich zu den anderen Gruppen beschäftigten sich diese Personen sehr viel seltener mit den Szenarien zur Gestaltung von Nutzfahrzeugen.

In einer zusätzlichen Analyse wurde der oben formulierten Frage nachgegangen, ob die Anwender häufiger nicht in der Lage waren, mit der systematischen Beurteilung zu beginnen, oder ob die hohe Ausfallquote in diesem Abschnitt der Szenarienbearbeitung darauf zurückzuführen ist, dass sie es vorzogen, sich mit dem VR-Modell vollkommen selbstständig auseinander zu setzen, und somit eine explorative gegenüber einer systematischen Lernstrategie präferierten. In dieser Analyse wurden diejenigen Anwender betrachtet, die mindestens einmal ein Szenario vollständig auf ihren Rechner übertragen hatten. Diese Personen wurden danach kategorisiert, ob sie (a) bei keinem oder (b) bei mindestens einem Szenarienabruf die erste Frage beantworteten, also zumindest einmal das systematische Vorgehen ausprobierten. In der Analyse zeigte sich, dass letztere Gruppe einen Anteil von 84.9% hatte, die ganz überwiegende Mehrheit der Anwender war also durchaus in der Lage, eine systematische Beurteilung durchzuführen. Andererseits war die Ausfallquote für diese Gruppe

(80.9%) nur geringfügig günstiger als die für die gesamte Anwenderpopulation (84.2%), es wurde also trotz der Fähigkeit zu einem systematischen Vorgehen eine explorative Lernstrategie präferiert. Für die mit 15.1% vergleichsweise kleine Gruppe von Anwendern, die bei keinem Szenarioabruf die erste Frage beantwortete, kann nicht abschließend geklärt werden, auf welche der beiden möglichen Ursachen ihr Verhalten zurückzuführen ist. In diesen Fällen muss also eine unzureichende Anleitung zur Durchführung der Beurteilung in Betracht gezogen werden. Die Zugehörigkeit zu den beiden hier differenzierten Gruppen wurde im Übrigen nicht durch die Variablen Förderphase, Geschlecht, Ergonomie-Vorkenntnisse und VR-Vorerfahrungen beeinflusst, eine entsprechende Analyse erbrachte keinerlei signifikante Wechselwirkungen mit diesen Faktoren.

4 Diskussion

Insgesamt lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass ErgoScenes von einem international zusammengesetzten Personenkreis genutzt wurde, der weit über die ursprünglich anvisierte Zielgruppe der Studierenden hinausreicht. Statt dessen besteht offensichtlich auch in der betrieblichen Praxis – und hier insbesondere im Dienstleistungsbereich – ein erheblicher und zugleich nachhaltiger Informationsbedarf zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen, speziell zum Thema Bildschirmarbeitsplätze.

Zudem ergaben sich keine Hinweise darauf, dass der Einsatz von Darstellungstechniken aus dem Bereich der virtuellen Realität auf Seiten der Anwender besondere technische Fachkenntnisse in Form von Vorerfahrungen mit VR-Anwendungen voraussetzt. So wurde die Häufigkeit und Vollständigkeit der Bearbeitung der Szenarien von diesem Faktor nicht in substantieller Weise beeinflusst. Entsprechend verhält es sich mit der Relevanz von Vorkenntnissen in den Bereichen Ergonomie und Arbeitswissenschaft. Insgesamt lässt sich daraus ableiten, dass das Lernmodul auch von Personen ohne technisches oder fachbezogenes Spezialwissen in geeigneter Weise genutzt werden kann.

Die mittlere Nutzungszeit – die etwas mehr als 20 Minuten betrug – gibt einen Anhaltspunkt zum zweckmäßigen Umfang von Lerneinheiten in eLearning-Anwendungen. Dabei ist anzumerken, dass dieser Wert eine beträchtlich Streuung aufwies, also die Nutzungszeit interindividuell stark variierte. Somit sollten sowohl kürzere als auch umfangreichere Lerneinheiten verfügbar gemacht und diese als solche für die Anwender kenntlich gemacht werden, damit sie eine gezielte Auswahl treffen können.

Die gefundenen Häufigkeiten für die vollständige Bearbeitung von Szenarien deckt sich mit Befunden aus der internationalen Literatur, wonach die Ausfallquote (*drop out rate*) bei eLearning-Anwendungen allgemein sehr hoch ist (z.B. ASTD & MASIE Center 2001). Mit der hier verwendeten Methodik konnte das Auftreten von Ausfällen einzelnen Bearbeitungsabschnitten einer Lerneinheit zugeordnet werden, woraus sich zugleich Hinweise auf die zugrundeliegenden Ursachen ergaben. Daraus geht hervor, dass Ausfälle insbesondere in den vorbereitenden und frühen Phasen der Bearbeitung auftraten. So ereigneten sich Ausfälle häufig während der Wartezeit bis zur vollständigen Übertragung der VR-Modelle auf den Rechner der Anwender. Allgemein gilt es also, diese Wartezeit auf das unbedingt erforderliche Maß zu beschränken, wie dies bereits Jacko et al. (2000) für den Einsatz von Grafiken in konventionell gestalteten Internet-Anwendungen feststellten.

Nach dem erfolgreichen Abschluss des Ladevorgangs wurde zwar in nahezu allen Fällen mit dem Modell interagiert, allerdings war eine weitere Häufung von Ausfällen während des ersten Viertels der zu beantwortenden Fragen festzustellen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Anwender häufig kein Interesse an einem systematischen Vorgehen hatten, sondern es statt dessen vorzogen, das Modell selbstständig zu explorieren, wie dies auch nach der konstruktivistischen Lerntheorie zu erwarten ist (Mandl et al. 2002). Allerdings konnte für eine kleine Gruppe von Anwendern nicht ausgeschlossen werden, dass sie Probleme hatten, das Konzept einer systematischen Beurteilung nachzuvollziehen. Diesen Personen sollte eine „Starthilfe“ zur Verfügung gestellt werden, etwa in

Form von Beispielen, wie die in den Fragen angesprochenen Gestaltungskriterien im VR-Modell geprüft werden können, um daraus ein entsprechendes Urteil abzuleiten.

Das Verhalten der Anwender erwies sich als weitgehend unabhängig davon, ob sie ErgoScenes während oder nach dem Ende der Förderung des Verbundprojektes INTEGRAL II erstmalig nutzten. Auch die Zusammensetzung der Anwenderpopulation war insgesamt relativ stabil. Ausnahmen waren der steigende Anteil von Personen mit VR-Vorkenntnissen und von Personen aus dem Dienstleistungsbereich. Dieser Befund kann dahingehend interpretiert werden, dass sich nach der Förderphase der Anteil von Anwendern aus dem Bereich der Informationstechnologien erhöhte. Allerdings verringerte sich die Häufigkeit von Neuanmeldungen. Um die nachhaltige Nutzung von eLearning-Anwendungen sicherzustellen, ist also eine kontinuierliche Ansprache der Zielgruppen erforderlich.

5 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der Evaluierung von ErgoScenes geht hervor, dass wesentliche Ziele realisiert werden konnten, die den Einsatz von Darstellungstechniken der virtuellen Realität im Rahmen eines arbeitswissenschaftlich ausgerichteten eLearning-Angebots motivierten. Das Lernmodul stellt keine besonderen Anforderungen an die inhaltlichen und technischen Vorkenntnisse der Anwender, weshalb es nicht nur als Ergänzung zu universitären Lehrangeboten, sondern auch zur Unterstützung eines lebenslangen Lernens dienen kann. Zwar sind die Anforderungen an die Bandbreite der Netzwerkanbindung beträchtlich, da es andernfalls bei der Übertragung der VR-Modelle zu unangenehmen Wartezeiten kommt. Es ist jedoch zu erwarten, dass der Trend zu breitbandigen Internetzugängen anhalten wird, womit sich zugleich neue Optionen für die realitätsnahe Gestaltung von VR-Anwendungen eröffnen.

Mit dem Ansatz können zentrale Kriterien der Nachhaltigkeit realisiert werden, sofern entsprechende Anwendungen in einen organisatorischen Kontext mit Ausstrahlung auf potentielle Nutzergruppen eingebettet sind. In diesem Zusammenhang kann auf ein Konzept zurückgegriffen werden, das von Schmidt und Luczak (2005) formuliert wurde. Sie weisen darauf hin, dass die Lernplattform von INTEGRAL II als Ergänzung zu dem von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft geplanten modularen Studienangebot „Professioneller Arbeitswissenschaftler“ angesehen werden kann. Ein entsprechender Entwurf von Strasser et al. (2002) hebt dabei insbesondere auf eine modulare Kombination einzelner regional verteilter Studienangebote der Präsenzlehre ab, während in INTEGRAL II die Erarbeitung multimedialer Lernmodule im Vordergrund steht, die standortübergreifend über die Internet-Lernplattform genutzt werden können, als Erweiterung der vorhandenen lokalen Studienangebote. Deshalb regen Schmidt und Luczak (2005) an, diese beiden kooperativen arbeitswissenschaftlichen Studienangebote synergetisch miteinander zu verbinden.

Literatur

ASTD & MASIE Center: If we build it, will they come? Online-Dokument 2001. Verfügbar unter: http://www.masie.com/masie/researchreports/ASTD_Exec_Summ.pdf [21.06.2005]

Batinic, B.; Reips, U.-D.; Bosnjak, M. (Eds.): Online Social Sciences. Hogrefe, Göttingen 2002

Baumgartner, P. (Hrsg.): Audit-Bericht zum Förderprogramm „Neue Medien in der Bildung“. Online-Dokument 2003. Verfügbar unter: http://www.dlr.de/pt_nmb/Foerderung/Bekanntmachungen/Audit_Bericht_2003.pdf [21.06.2005]

Daniel, Sir J.: Can you get my nose in focus? Universities, mass education and appropriate technology. In: Eisenstadt, M.; Vincent, T. (Eds.): The Knowledge Web (pp. 21-29). Kogan Page, London, UK 1998

DLR (Hrsg.): Kursbuch eLearning 2004 – Produkte aus dem NMB-Förderprogramm. Online-Dokument 2004. Verfügbar unter: http://www.medien-bildung.net/produkte/produkte_pdfs.php [21.06.2005]

Europäische Kommission: Auf dem Weg zur europäischen Wissensgesellschaft. Online-Dokument 2002. Verfügbar unter: <http://europa.eu.int/comm/publications/booklets/move/36/de.pdf> [21.06.2005]

Gude, D.; Branahl, E.; Kawalek, P.; Prions, A.; Laurig, W.: Evaluation of a virtual reality-based ergonomics tutorial. In: de Waard, D.; Brookhuis, K. A.; Breker, S. M.; Verwey, W. B.: Human Factors in the Age of Virtual Reality (pp. 117-128). Shaker Publishing, Maastricht, The Netherlands 2003

Hillecke, M.; Schütte, M.; Laurig, W.: Anthropometrische Analyse und Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes eines Seitenlader-Abfallsammelfahrzeugs. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 54, 249-257 2000

Hughes, C. E.; Moshell, J. M.; Reed, D.: Internet-based virtual environments. In: Stanney, K. M. (Ed.): Handbook of Virtual Environments (pp. 333-351). Lawrence Erlbaum, Mahwah N.J., USA 2002

Jacko, J. A.; Sears, A.; Borella, M. S.: The effect of network delay and media on user perceptions of web resources. Behaviour & Information Technology 19, 427-439 2000

Luczak, H.; Schmidt, L. (Hrsg.): E-Learning-Kooperation in der Arbeitswissenschaft. ergonomia Verlag, Stuttgart 2005

Mandl, H.; Gruber, H.; Renkl, A.: Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Ising, L. J.; Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia (3. Auflage, S. 138-148). Beltz, Weinheim 2002

Rose, F. D.; Attree, E. A.; Brooks, B. M.; Parslow, D. M.; Penn, P. R.; Ambihapahan, N.: Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. Ergonomics 43, 494-511 2000

Rötting, M.; Bruder, R.: Integral – Methodische Integration multimedialer und interaktiver Lernwerkzeuge zur Optimierung der Gestaltungskompetenz in der arbeitswissenschaftlichen Lehre. In: Uellner, S.; Wurlf, V. (Hrsg.): Vernetztes Lernen mit digitalen Medien (S. 37-51). Physica-Verlag, Heidelberg 2000

Schmidt, L.; Luczak, H.: Vernetzung arbeitswissenschaftlicher Hochschullehre. In: Luczak, H.; Schmidt, L. (Hrsg.): E-Learning-Kooperation in der Arbeitswissenschaft (S. 1-13). ergonomia Verlag, Stuttgart 2005

Strasser, H.; Irle, H.; Zink, K. J.: GfA-Akademie – Modulares Studienangebot zur Ausbildung „Professioneller Arbeitswissenschaftler“. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 56, 116-119 2002

Turner, S.: Analog 6.0: How the web works. Online-Dokument 2004. Verfügbar unter: <http://www.analog.cx/docs/webworks.html> [21.06.2005]

Velden, M.: Die Signalentdeckungstheorie in der Psychologie. Kohlhammer, Stuttgart 1982

Anschrift des Verfassers

Dr. rer. nat. Dietmar Gude
Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund
Ardeystrasse 67
44139 Dortmund
E-Mail: gude@ifado.de