



FAKULTÄT FÜR GEISTES-,  
SOZIAL- UND ERZIEHUNGS-  
WISSENSCHAFTEN

# Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität – Psychologische Korrelate und exemplarisches Forschungsdesign

---

Prof. Dr. Klaus Jenewein & Dipl.-Psych. Danica Hundt

IBBP-Arbeitsbericht Nr. 67

Juli 2009

ISSN 1437-8493



**ViERforES**



## **Arbeitsberichte des Instituts für Berufs- und Betriebspädagogik**

### *Herausgeber:*

Institut für Berufs- und Betriebspädagogik (IBBP)  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Prof.'en Dr. Dietmar Frommberger, Dr. Klaus Jenewein, Dr. Sibylle Peters

### *Anschrift:*

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Fakultät für Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften  
Institut für Berufs- und Betriebspädagogik (IBBP)  
Zschokkestr. 32  
D-39104 Magdeburg

Tel.: +49 391 6716623

Fax: +49 391 6716550

Email: [ibbp@ovgu.de](mailto:ibbp@ovgu.de)

ISSN 1437-8493

# Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität – Psychologische Korrelate und exemplarisches Forschungsdesign

---

Prof. Dr. Klaus Jenewein & Dipl.-Psych. Danica Hundt

IBBP-Arbeitsbericht Nr. 67

Juli 2009

ISSN 1437-8493

## Vorwort

Das Projekt „Wahrnehmung und Orientierung in virtueller und erweiterter Realität“ ist Teil des interdisziplinären Forschungsvorhabens „Virtuelle und erweiterte Realität für höchste Sicherheit und Zuverlässigkeit in eingebetteten Systemen“ (ViERforES) im Rahmen des BMBF-Programms „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“. Hier arbeiten Wissenschaftler der Otto-von-Guericke-Universität gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg und Kollegen aus Kaiserslautern an Konzepten, die Hersteller künftig bei der Optimierung ihrer Produkte durch virtuelle Realitäten unterstützen sollen.

Die Vernetzung von Methoden und Technologien mit verschiedenen Anwendungsbereichen soll dazu beitragen, Wissen zu transferieren und für andere Anwendungen nutzbar zu machen. Dabei kommt der Gestaltung der Mensch–Maschine–Schnittstelle wesentliche Bedeutung zu. Erst die Optimierung von Wahrnehmung, Orientierung und Interaktion in unterschiedlichen VR-basierten Systemen, Interaktionsumgebungen und virtuellen Handlungsräumen erlaubt deren gezielten Einsatz im Rahmen der Wissensvermittlung. An dieser Stelle setzt das Projekt „Wahrnehmung und Orientierung in virtueller und erweiterter Realität“ an.

Es verfolgt zunächst das Ziel der Entwicklung und Erprobung eines forschungsmethodischen Ansatzes, der exemplarisch an einem vorhandenen VR-System – einem so genannten Basisszenario – im Magdeburger Virtual Development and Training Centre VDTC und den dort vorhandenen Validierungsumgebungen und -technologien erarbeitet wird. Die zu Grunde liegenden theoretischen Annahmen und Modelle sowie das entwickelte Forschungsdesign stellt dieser Arbeitsbericht vor.

In einem zweiten Schritt wird dieser Forschungsansatz mit dem gewählten Basisszenario getestet, empirisch ausgewertet und konzeptionell optimiert. Das so entwickelte und getestete Forschungsdesign wird schließlich für eine Entwicklungsoptimierung hinsichtlich der Aspekte Wahrnehmung, Orientierung und Interaktion und für eine Validierungsforschung für die in den ViERforES-Anwendungsbereichen Energietechnik, Materialflusstechnik/Logistik, Medizin-, Produktions- und Fahrzeugtechnik entwickelten eingebetteten VR-Modelle zur Verfügung gestellt.

Die Autoren freuen sich über eine umfassende und kritische Diskussion sowohl in dem gemeinsam mit dem Fraunhofer IFF Magdeburg getragenen Projektteam als auch innerhalb des interdisziplinären Forschungsverbunds ViERforES der Universitäten und Fraunhofer Institute Magdeburg und Kaiserslautern.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität .....</b>	<b>4</b>
1.1 Virtuelle Realität .....	4
1.2 Wahrnehmung .....	6
1.3 Lernen in virtueller Realität .....	6
<b>2. Psychologische Einflussgrößen .....</b>	<b>8</b>
2.1 „Sense of Presence“ – Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft .....	8
2.2 Usability – Gebrauchstauglichkeit .....	11
2.3 Simulator Sickness .....	13
2.4 Individuelle Merkmale .....	14
<b>3. Forschungsdesign zur Evaluation von Wahrnehmung in VR-basierten Systemen.....</b>	<b>14</b>
3.1 Hypothesen .....	14
3.2 Virtuelles Basisszenario.....	17
3.3 Das exemplarische Forschungsdesign .....	18
3.4 Beispiel für einen Prätest.....	20
<b>4. Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>21</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>22</b>

## 1. Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität

Insbesondere in Zeiten des Hyperwettbewerbs mit stagnierenden Märkten und stetem Konkurrenz- und Kostendruck ist es für langfristig erfolgsorientierte Unternehmen essentiell, sich durch Innovativität und Knowhow einen Vorsprung am Markt zu sichern. Fachkompetenz durch adäquate Aus- und Weiterbildung gewinnt in diesem Kontext ebenso an Bedeutung wie die Lernende Organisation als Organisation des Wandels. Doch nicht allein der Stellenwert beruflichen Lernens hat sich verändert, sondern auch der Lernprozess selbst. Im Zeitalter Neuer Medien erlauben technische Systeme (bspw. Laserprojektionen oder Darstellungen via HMD<sup>1</sup>, Cave und stereoskopische 3D-Arbeitsplätze) den unmittelbaren und spontanen Zugriff auf ein Höchstmaß an Informationen. So ist der Einsatz virtueller Technologien zur Schulung von Mitarbeitern heute schon gängige Praxis in der Luftfahrt, der Medizin oder beim Militär. Eine stete Weiterentwicklung der notwendigen Hard- und Softwarekomponenten und die in der Folge sinkenden Anschaffungskosten für die technische Grundausstattung tragen ihrerseits dazu bei, dass VR<sup>2</sup>-basierte Lernsysteme auch für andere Wirtschaftszweige an Attraktivität gewinnen.

Die Vorteile virtueller Trainingsprogramme sind vielfältig. Und Transfereffekte vom virtuellen Raum in die reale Umgebung, als wesentliches Kriterium erfolgreichen Lernens sowie den Nutzen virtueller Lernprogramme, wurden bereits vielfach nachgewiesen (Akiyoshi, Miwa & Nishida, 1996; Kashiwa, Mitani, Tezuka & Yoshikawa, 1995; McLin & Chung, 1996). Dabei stellt sich die Frage, auf welche Weise virtuelle Settings die Wahrnehmung der Anwender beeinflussen und wie sie strukturiert sein sollten, um maximalen Lernerfolg im Sinne einer spezifischen Verbesserung der trainierten Reaktionen zu erzielen. Resultierende Leistungssteigerungen können nur dann erwartet werden, wenn die Mensch-System-Schnittstelle hinsichtlich Wahrnehmung, Orientierung und Interaktion derart optimiert ist, dass kognitive Ressourcen tatsächlich für den Lernprozess an sich zur Verfügung stehen, anstatt für die Bedienung des jeweiligen Systems in Anspruch genommen zu werden.

### 1.1 Virtuelle Realität

Virtuelle Realität kann als „Sammelbegriff für neuartige Techniken [verstanden werden], die eine realitätsnahe Wahrnehmung von und in Interaktion mit rechnergestützten Simulationen in Echtzeit gestatten“ (Gude, 2007, S. 287).

In diesem Sinne scheinen virtuelle Lernumwelten für den Transfer von Wissen ideal geeignet zu sein. Ihr wesentlicher Vorteil besteht in der Fähigkeit zur *Verräumlichung*. Dadurch wird dem Lernenden der Eindruck vermittelt, sich innerhalb einer künstlichen Welt zu befinden, was wiederum sein Präsenzerleben steigert. Zudem lassen sich mit kaum einem anderen Medium gleichzeitig so viele verschiedene Sinneskanäle auf einmal ansprechen, wie mit VR-basierten Systemen (Schwan & Buder, 2006). Gerade diese Verteilung der Informationen über diverse multimodale Wahrnehmungskanäle erhöht jedoch die Wahrnehmungsleistung des Nutzers (Pfeffer, 2007). Ein weiterer, wesentlicher Vorteil virtueller Lernumwelten ist ihre vielseitige Einsetzbarkeit. Besonders dann, wenn ein Training unter realen Bedingungen unverzichtbar, aber trotz allem mit hohen Kosten oder Gefahren verbunden ist, bietet sich VR-basiertes Lernen an. Davon abgesehen besteht die Möglichkeit, virtuelle Umgebungen dem jeweiligen Kompetenzniveau des Lernenden anzupassen oder sie bedarfsgerecht zu individualisieren und sie weitestgehend zeit- und ortsunabhängig zu nutzen. Die Erinnerung an Lern-

---

<sup>1</sup> HMD: Head Mounted Display

<sup>2</sup> VR: Virtuelle Realität

inhalte, die mittels VR-Technik dargeboten werden, ist zudem umfassender als die Erinnerung an Inhalte, die rein textuell vermittelt werden (Schwan & Buder, 2006). Virtuelle Lernwelten erlauben exploratives Vorgehen im Sinne von Versuch-Irrtum-Lernen (Thorndike, 1914) und fördern auf diesem Wege den Wissenstransfer und die Behaltensleistung.

Die Darstellung der Wissensinhalte kann in virtuellen Umgebungen auf völlig unterschiedliche Weise geschehen (Schwan & Buder, 2006). Wird ganz bewusst auf strenge Abbildungstreue und irrelevante Lernaspekte verzichtet und so der Lernende in seiner Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Inhalte ausgerichtet, spricht man von *schematisierender Veranschaulichung*. Ein entscheidendes Prinzip dieses Vorgehens ist die Größenskalierung. Dadurch gelingt die Illustration real sehr großer oder kleiner Lernobjekte (z. B. des Sonnensystems oder von Zellstrukturen) ebenso wie die Raffung oder Dehnung zeitlicher Vorgänge. Außerordentlich effektiv sind schematisierende Veranschaulichungen, wenn schematische und abbildungstreue Elemente in Form von Überlagerungen zusammengesetzt werden und dadurch eine multiple Repräsentation des Sachverhalts möglich wird. Eine weitere Form der Darstellung erlauben *konkretisierende Veranschaulichungen*. Hierbei werden abstrakte Sachverhalte in bildlich-analoger Weise erläutert. Dadurch wird dem Lernenden eine zusätzliche Kodierungsform zur Verfügung gestellt und der Aufbau mentaler Repräsentationen gefördert. Zur Anwendung kommen in diesem Zusammenhang das Prinzip der Sinnesskalierung und das Prinzip der Verinnerlichung. Im Rahmen des Prinzips der Sinnesskalierung werden nicht direkt wahrnehmbare Sinneseindrücke (z. B. Schall) für Probanden direkt erlebbar gemacht, indem sie in wahrnehmbare Stimuli umgewandelt werden (z. B. durch Vertonung). Das Prinzip der Verinnerlichung beinhaltet die Überführung abstrakter Konzepte (z. B. Theorien) in Objektform. Ein Nachteil der konkretisierenden Veranschaulichung besteht darin, dass recht hohe Anforderungen an den Lernenden gestellt werden. Dieser ist gezwungen, korrespondierende Vorkenntnisse zu aktivieren, um eine Verbindung zwischen mentalem Modell und abstraktem Sachverhalt herzustellen. Schließlich besteht auch die Möglichkeit zur *metaphorischen Veranschaulichung*. Ähnlich wie bei schematisierenden Darstellungen wird gezielt die Aufmerksamkeit des Lernenden gelenkt. In kreativer Weise können die verwendeten Analogien vom Lernenden genutzt werden und Interferenzen sowie analogen Transfer ermöglichen. Schwierig gestaltet sich lediglich die Auswahl geeigneter Metaphern (Schwan & Buder, 2006).

Neben der Darstellung der Inhalte unterscheiden sich virtuelle Lernwelten auch hinsichtlich der Handlungsmöglichkeiten der Lernenden (Schwan & Buder, 2006). Während in *Explorationswelten* die Lernarrangements für den Lernenden flexibel ansteuerbar sind und der Sachbereich eigenständig erkundet werden kann, zeichnen sich *Trainings-* oder *Experimentalwelten* dadurch aus, dass das Training aufgrund der Aufgabenstellung und durch die Kontrolle des Lehrers weniger selbstgesteuert erfolgt. Sie ermöglichen allerdings neue Formen des Feedbacks und fördern so die Ausbildung mentaler Modelle über dynamische Gegenstandsbereiche. Zudem erlauben Experimentalwelten die Überprüfung von Hypothesen, indem bestimmte Modellparameter individuell festgesetzt werden können. Darüber hinaus existieren noch sogenannte *Konstruktionswelten*, die es dem Lernenden ermöglichen, Objekte oder ganze Welten selbst zu schaffen. Voraussetzung hierbei ist die selbstständige Erarbeitung vorab festgelegter Prinzipien und Konzepte, die sich durch die Implementierung in die virtuelle Welt überprüfen lassen. So können Lernenden mentale Modelle auch über eher komplexe Sachverhalte erwerben.

Nicht nur die Lerninhalte können auf verschiedene Arten in VR-basierten Lernsystemen veranschaulicht werden, auch die Darstellung des Nutzers und dessen Interaktionsweise unterscheiden sich je nach Programm voneinander (Schwan & Buder, 2006). So lässt sich die Person des Lernenden in der

Ich-Perspektive in die virtuelle Welt integrieren oder als Avatar, d. h. als graphisches Pendant des Nutzers in der virtuellen Welt. Die Darstellung als Avatar fördert das Präsenzerleben des Lernenden (Slater & Usoh, 1993). Einfluss auf das Präsenzerleben hat des Weiteren auch die Interaktion. Diese kann direkt oder indirekt erfolgen in Form von Navigation, Konstruktion, Selektion, Transport, Zugriff oder Interpretation.

## 1.2 Wahrnehmung

Wahrnehmung umfasst die Interpretation von Informationen der Umwelt auf eine solche Weise, dass sie für das Individuum einen Sinn ergeben (Malim, 1994) und entsprechende Reaktionen auf die Umwelt erlauben. Vom Reiz bis zur Reaktion laufen in chronologischer Folge verschiedene Schritte innerhalb des Individuums ab (Abbildung 1). Der auslösende Stimulus wird über die Sinnesorgane aufgenommen, anschließend vom Individuum bewertet und interpretiert. Die primäre Sinneswahrnehmung des Reizes wird allgemein als Empfindung bezeichnet. Empfinden bezieht sich demnach auf das Sammeln von Informationen aus der Umwelt durch die Sinne. Top-down-Prozesse kennzeichnen die Vorverarbeitung des Perzepts. Die eigentliche Wahrnehmung beinhaltet schließlich die Interpretation der Informationen unter Einbeziehung der in der Erinnerung gespeicherten Erfahrungen, dem Kontext, in dem die Empfindung auftritt, und des internalen Zustands mit den vorherrschenden Emotionen und Motivationen (Malim, 1994). Die Sinneswahrnehmung wird dem Individuum bewusst und erhält zugleich eine subjektive Bedeutung. Diese ist entscheidend für die jeweilige Reaktion, die als Resultat des Wahrnehmungsvorgangs vom Individuum gezeigt wird.

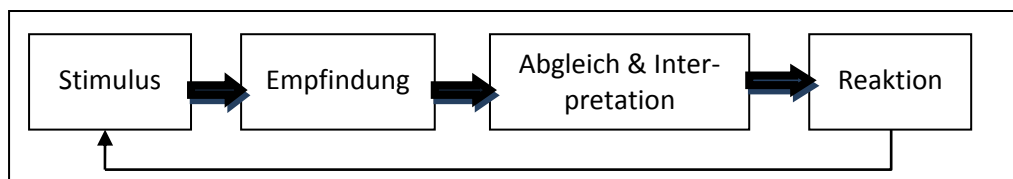


Abbildung 1: Stufen des Wahrnehmungsprozesses

Die Reaktionen des Individuums beruhen auf einem sogenannten „response set“ - einer Grundausstattung von Reaktionsmöglichkeiten. Dieses „Set“ umfasst emotionale, motivationale, soziale und kulturelle Faktoren, die Einfluss auf kognitive Aspekte (Verhaltensbereitschaft, Aufmerksamkeit, Selektionsprozesse, Interpretation u.a.) haben. In modernen Theorien wird übereinstimmend davon ausgegangen, dass die Wahrnehmung zusätzlich durch Merkmale des Stimulus sowie des Kontextes, in dem dieser auftritt, beeinflusst wird (Malim, 1994).

## 1.3 Lernen in virtueller Realität

In Zusammenhang mit virtuellen Lernumgebungen erfolgt relativ häufig der Verweis auf konstruktivistische Instruktionstheorien (Kontogiannis, 1999; Schaper, 2000). Demnach gelten Lernende als aktive Informationsverarbeiter (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1998) und der Wissens- bzw. Fähigkeitserwerb als Resultat einer gezielten Auseinandersetzung mit den Lerninhalten. Mittels VR-Technik lassen sich Lernwelten schaffen, die mit herkömmlichen Strategien nicht umzusetzen wären und sich folglich gerade deshalb von traditionellen pädagogischen Vorgehensweisen abheben (Kozma, 1991). Kennzeichnend für virtuelle Lernumgebungen sind:



- Eine anschauliche Darstellung komplexer Themen und Anwendungsbezug (Schwan & Buder, 2001)
- Die Möglichkeit direkter Erfahrungen in der ersten Person (Bricken, 1990)
- Selbststeuerung des Lernens als Garant für Lernerfolg (Schiefele & Pekrun, 1996)

Realitätsbereiche	Reale Arbeitsumgebung (RA)	Virtuelle Arbeitsumgebung (VA)	Didaktische Konsequenzen
<b>Sachverhalte</b>			
<b>Komplexität</b>	Immer 100 % Reduzierung oft unmöglich	Immer < 100 % Reduzierung i. d. R. möglich	Didaktische Reduktion komplexer Umgebungen
<b>Dynamik</b>	Einflussnahmemöglichkeiten stark begrenzt	Prinzipiell unbegrenzte Einflussnahme	Anschaulichkeit durch Zeitraffung und -streckung
<b>Vernetztheit</b>	Oft unanschaulich und begrenzt beeinflussbar	Vernetzungsgrad beeinflussbar	Gezielte Orientierung an Lernvoraussetzungen
<b>Transparenz</b>	Abhängig von Sichtbarkeit und Zugänglichkeit	Zugänglichkeit und Sichtbarkeit künstlich erweiterbar	Bessere Verständlichkeit und Anschaulichkeit
<b>Lernhandlungen</b>			
<b>Reversibilität</b>	Selten ohne Folgen (Kosten, Zeit, Material) möglich	Immer ohne Folgen möglich	Möglich: Lernen aus Fehlern
<b>Kostenabhängigkeit</b>	Lernhandlungen verursachen immer Kosten	Geringer Nutzungs-, hoher Entwicklungsaufwand	Je nach Teilnehmerzahl und Anwendungsfall
<b>Zeitabhängigkeit</b>	Arbeitsprozess und -system z. T. nur begrenzt verfügbar	Prinzipiell unbegrenzte Verfügbarkeit	Individualisierung und Flexibilisierung von Lernzeiten
<b>Ortsabhängigkeit</b>	Gebunden an Arbeitsumgebungen		

**Abbildung 2: Realitätsbereiche des Lernens in realen und virtuellen Arbeitssystemen**

Dabei werden Lernprozessen in virtueller Realität erhebliche Potentiale zugeschrieben, die gegenüber „klassischen“ Lernkonzepten erschließbar sind. Jenewein & Schulz (2007) stellen – in Anlehnung an Dörner (1987) – Realitätsbereiche von realen und virtuellen Lernumgebungen vergleichend gegenüber (vgl. Abbildung 2) und kommen zu dem Ergebnis, dass durch virtuelle Lernsysteme

- sich Gestaltungspotentiale durch didaktische Reduktionen besser erschließen lassen,
- die Anschaulichkeit durch Zeitraffung und –streckung erhöht werden kann,
- die Darstellung komplexer Systeme durch einen weitgehend beeinflussbaren Vernetzungsgrad gezielter an den Lernvoraussetzungen heterogener Lerngruppen orientiert werden kann,
- durch den Einsatz von Transparenzen bessere Verständlichkeit erreichbar ist,
- das Lernen aus Fehlern leichter realisierbar wird und

- eine weitgehende Flexibilisierung und Individualisierung von Lernzeiten und –orten gewährleistet ist.

Darüber hinaus wird in Blümel & Jenewein (2005) darauf hingewiesen, dass in neueren VR-Systemen durch die Entwicklung unterschiedlicher so genannter Trainingsmodi die bestehenden Freiheitsgrade des Lernenden erweitert werden und damit erhebliche zusätzliche Potentiale für Lernhandlungen erschließbar sind.

Virtuelle Lernumgebungen bergen jedoch auch das Risiko, sich in der Vielfalt von Möglichkeiten zu verlieren (Heiß, Eckhardt & Schnotz, 2003; Schwan & Buder, 2006). Besonders bei geringen Vorkenntnissen droht eine „kognitive Überlastung“ des Lernenden, da der Lernprozess selbst bereits die Kapazitäten beansprucht, die für die Orientierung und gelungene Anwendung von Lernhilfen benötigt werden. Allerdings gelten diese Einschränkungen auch für das Lernen in realen Arbeitsumgebungen durch deren oftmals außerordentlich hohe Komplexität und Vernetztheit.

## 2. Psychologische Einflussgrößen

Um die Mensch-System-Schnittstelle VR-basierter Systeme hinsichtlich Wahrnehmung, Orientierung und Interaktion zu optimieren und dadurch erwünschte Verhaltensänderungen auf Seiten des Nutzers zu erzielen, ist es unabdingbar, gerade diejenigen psychologischen Konstrukte zu erfassen, die ihrerseits als Korrelate der Wahrnehmung gelten und das Lernen in virtuellen Umgebungen beeinflussen. Dies erscheint umso relevanter vor dem Hintergrund, dass Wahrnehmungsprozesse selbst nicht direkt beobachtbar sind.

### 2.1 „Sense of Presence“ – Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft

Als eine der wichtigsten Einflussgrößen in Hinblick auf das Lernen in virtuellen Systemen gilt das Präsenzerleben. Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass ein höheres Präsenzerleben eine stärkere Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf lernrelevante Stimuli bedingt. Umso konzentrierter erfolgt demnach die Bearbeitung der Aufgaben und desto größer ist schließlich der Lernerfolg (Moreno & Mayer, 2002, Stanney, Kingdon, Graeber & Kennedy, 2002, Stanney & Salvendy, 1998). Präsenzerleben führt dazu, dass kognitive Ressourcen nicht auf das Interface, sondern vielmehr auf Lerninhalte ausgerichtet werden können (Hoffman, Prothero, Wells & Groen, 1998). Dennoch finden sich in der Literatur diesbezüglich auch entgegengesetzte Befunde und Vermutungen dahingehend, dass Präsenz eventuell sogar negative Auswirkungen auf das Lernen in virtueller Realität haben kann.

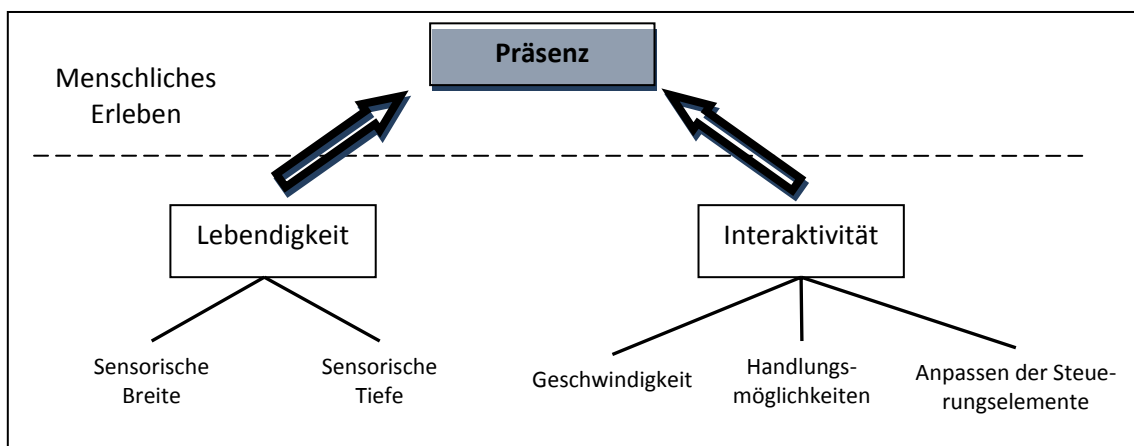
„Sense of presence“ bzw. Präsenzerleben definieren Witmer und Singer (1998, S. 225, frei übersetzt) als „... die subjektive Erfahrung an einem Ort oder in einer Umgebung zu sein, sogar wenn man sich körperlich anderswo befindet. [...] Bezogen auf virtuelle Umwelten bedeutet Präsenz, dass die computersimulierte Umgebung eher wahrgenommen wird als die physikalische Örtlichkeit.“. Lombard und Ditton (1997<sup>xviii</sup>) verstehen Präsenz als „die perzeptuelle Illusion der Unmittelbarkeit.“ Diese illusionäre Unmittelbarkeit äußert sich darin, dass das Medium für den Benutzer subjektiv verschwindet, so dass die Interaktion als nicht vermittelt, d.h. als unmittelbar wahrgenommen wird. Das „Verschwinden“ des Mediums erfolgt dabei auf zwei Wegen:

1. Sensorische Reichhaltigkeit und das Vorhandensein von Objekten und Personen in der virtuellen Umgebung tragen als formale und inhaltliche Variablen dazu bei, dass das

Medium für den Nutzer transparent wird. In diesem Zusammenhang sprechen die Autoren von „vividness“.

2. Formale Variablen (z. B. das Ausmaß an Interaktivität, Größe und Format des Mediums) sowie inhaltliche Variablen (z. B. sozialer Realismus) tragen dazu bei, dass das Medium wie eine autonome Einheit agiert – die Ereignisse in der virtuellen Umwelt laufen ähnlich dynamisch ab wie in der realen Welt.

Im Modell von Steuer (1992) wird ebenfalls auf den Aspekt „vividness“ als einer von zwei medialen Einflussfaktoren auf das Erleben von Präsenz eingegangen. Neben der Lebendigkeit des Mediums, die durch die sensorische Breite und Tiefe erzeugt wird („vividness“), kommt dem Ausmaß an Interaktivität (z. B. die Handlungsbreite, die Anpassungsmöglichkeiten der Steuerungselemente und die Geschwindigkeit der Interaktion) wesentliche Bedeutung für das Präsenzerleben zu (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Modell der Einflussfaktoren auf Präsenz (Steuer (1992); in Anlehnung an Heers (2005, S. 51))**

Bei detaillierter Betrachtung lassen sich hinsichtlich des Präsenzerlebens ganz verschiedene Formen unterscheiden. IJsselsteijn, Ridder, Freeman und Avons (2000) separieren zwischen der Empfindung, physikalisch anwesend („physically presence“) und dem Gefühl, mit anderen zusammen zu sein („social presence“). Physikalische und soziale Präsenz lassen sich nach Ansicht der Autoren klar voneinander abgrenzen, beeinflussen sich dennoch wechselseitig. Eine ebenfalls zweigeteilte Differenzierung stammt von Schloerb (1995). Dabei stehen sich „subjective presence“ als die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Person sich selbst als physikalisch präsent in der virtuellen Umwelt erlebt und „objective presence“ als die Wahrscheinlichkeit, erfolgreich Aufgaben in der virtuellen Realität auszuführen, gegenüber. Die physikalische Präsenz nach IJsselstein et al. (2000) scheint demnach mit der subjektiven Präsenz nach Schloerb (1995) identisch zu sein. Heeter (1992) unterscheidet hingegen sogar drei Formen von Präsenz. Sie differenziert zwischen dem Ausmaß, mit dem sich eine Person in eine virtuelle Welt hineinversetzt fühlt („personal presence“) - „being inside a virtual world“ (S. 3), dem Umfang, mit dem andere ebenfalls in der Welt zu existieren scheinen und auf den Akteur reagieren („social presence“) und dem Ausmaß, in dem die Umwelt selbst zu wissen scheint, dass der Akteur vorhanden ist und dementsprechend auf diesen reagiert („environmental presence“). Dabei gilt bezugnehmend auf die soziale Präsenz: „... if other people are in the virtual world, that is more evidence that the world exists. If they ignore you, you begin to question your own existence.“ (Heeter, 1992, S. 4). Die Differenzierung kann faktisch noch tiefgreifender erfolgen. So werden im Konzept der „Big Three“ allein für die physikalische Präsenz drei verschiedene Komponenten beschrieben (Laarni, 2003): (1) die Echtheit der virtuellen Umwelt („presence as realism“), (2) die Empfindung räumlichen

Bewusstseins („presence as transportation“) und (3) das psychologische Eintauchen des Nutzers („presence as immersion“).

Der Grad der Präsenz beschreibt, wie stark Anwender ihre Aufmerksamkeit auf die virtuelle Umgebung ausrichten und hat Einfluss auf das Ausmaß, mit dem sie in die dargebotene Umwelt involviert sind (Witmer & Singer, 1998). Wenn Distraktoren die Aufmerksamkeit auf die reale Umwelt lenken, nimmt das Präsenzerleben ab. Je besser aber die Ausblendung der realen Umwelt gelingt, desto höher ist die Präsenz. Schließlich bleibt es dem Anwender überlassen, „seine Aufmerksamkeit auf die reale Umgebung oder die virtuelle Umgebung zu fokussieren und sich in diese ‚hineinzubegeben‘.“ (Heers, 2005, S. 50).

Abgesehen von der Fähigkeit der virtuellen Umgebung, durch Immersion das Erleben von Präsenz zu ermöglichen, bedarf es einer grundlegenden Offenheit seitens des Individuums, sich auf die virtuelle Welt einzulassen, um tatsächlich Präsenzerleben zu realisieren. Heeter (1992) spricht in diesem Kontext von der Bereitschaft des Nutzers, das Wissen um die Künstlichkeit der Umgebung aufzugeben („willing suspension of disbelief“). Grundsätzlich gilt, je geübter eine Person im Umgang mit virtuellen Umgebungen ist, desto leichter erlebt sie Präsenz, denn umso eher ist sie bereit, die virtuelle Welt für sich anzunehmen (Heers, 2005).

Die Bereitschaft des Anwenders vorausgesetzt, spielen folglich zahlreiche verschiedene Faktoren eine entscheidende Rolle für das Ausmaß des Präsenzerlebens. Dazu gehören, wie bereits dargelegt, Umfang und Wiedergabetreue sensorischer Informationen und die damit verbundene Möglichkeit der Technik, sensorisch reichhaltige Umwelten zu produzieren, um so „vividness“ zu erzeugen. Eingeschlossen ist darin auch die Passung zwischen den Sensoren und der Bilddarstellung im Sinne einer zusammenhängenden Wiedergabe der Aktionen des Anwenders und den korrespondierenden Veränderungen im virtuellen Raum. Zudem bedarf es sogenannter Inhaltsfaktoren, z. B. Objekte, Akteure und Ereignisse, die durch das Medium veranschaulicht werden. Eine weitere Voraussetzung ist diesbezüglich die Möglichkeit zur Interaktion und Modifikation (Sheridan, 1992). Interaktivität gilt nach von Boxberg (2004, S. 50) als „Die hilfreichste Technik auf dem Weg zur realistischen Wahrnehmung und einem Gefühl der Präsenz in Virtuellen Umgebungen [...]. Durch Interaktion gewinnt der Anwender die Kontrolle über die Virtuelle Welt [...]. Durch Interaktion wird auch die Fiktion der Virtuellen Welt aufgehoben.“ Generell können zwei Arten der Nutzer-System-Interaktion unterschieden werden: (1) *Navigation* – „erlaubt dem Nutzer, sich in der Virtuellen Umgebung umzuschauen oder zu bewegen“ (von Boxberg, 2004, S. 51) und (2) *Manipulation* - „erlaubt [...], etwas in der Virtuellen Umgebung zu ändern [...]“ (von Boxberg, 2004, S. 51). Auch die persönlichen Merkmale des Nutzers, wie perzeptuelle, motorische und kognitive Fähigkeiten sowie bisherige Erfahrungen, Erwartungen und Bereitschaft haben, abhängig von Alter und Geschlecht des Lernenden, unterschiedlichen Einfluss auf das Präsenzerleben. Ebenso wichtig für das Empfinden von Präsenz sind des Weiteren Immersion und Involviertheit.

Bezugnehmend auf das Konstrukt „Sense of presence“ kann festgehalten werden, dass bisher keine allgemein gültige Theorie existiert. Jedoch gelten viele derjenigen Faktoren, die das Präsenzerleben zu beeinflussen scheinen, gleichfalls als essentiell für den Lernprozess (Witmer & Singer, 1998). So konnten Bailey und Witmer (1994) in diesem Sinne bspw. zeigen, dass zwischen dem erfassten Präsenzerleben und der Aufgabenleistung in virtueller Realität für einfache psychomotorische Aufgaben und räumliches Wissen eine signifikante positive Korrelation besteht. Die Messung von Präsenz ist auf verschiedene Weise möglich. IJsselsteijn, Ridder, Freeman und Avons (2000) unterscheiden gene-

rell zwei Messkategorien: subjektive und objektive Messungen. Zu den *subjektiven Verfahren* gehören sogenannte „Post-test rating scales“, die nach dem virtuellen Ereignis appliziert werden und relativ einfach anzuwenden sind. Jedoch können Erinnerungseffekte die Daten beeinträchtigen und auch Verlaufsveränderungen lassen sich nicht beobachten. Verzerrungen der Ergebnisse aufgrund fehlerhafter Erinnerungen lassen sich vermeiden durch fortwährende Präsenz-Untersuchungen zeitgleich zum virtuellen Erlebnis (z. B. durch das Bewegen eines Schiebers während des Versuchsablaufs entsprechend dem Ausmaß wahrgenommener Präsenz). Hier liegt ein wesentliches Problem darin, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit teilen müssen. Alternativ bieten sich psychophysiologische Messungen an. Bei der „Magnitude Estimation“ sind die Probanden angehalten, jeden Stimulus einer Serie mit einem Wert zu versehen, der der mit dem Stimulus einhergehenden Präsenz entspricht. Das „Cross-Modality Matching“ beinhaltet, dass die wahrgenommene Präsenz in ihrer Stärke durch andere Modalitäten ausgedrückt wird. „Paarweise Vergleiche“ dienen der Unterscheidung zwischen zwei Settings (real vs. virtuell) durch den Probanden. Präsenzerleben führt dazu, dass virtuelle und reale Ereignisse analog verarbeitet werden. Demgemäß sollte auch die Erinnerung daran vergleichbar ausfallen. *Objektive Messungen* legen den Schwerpunkt auf Reaktionen des Lernenden, die üblicherweise automatisiert ablaufen. Im Rahmen der „Behavioral realism approach“ wird davon ausgegangen, dass der Lernende umso natürlicher in einer virtuellen Umgebung reagiert (z. B. Reflexe, soziales Verhalten), je besser und realistischer eine Umwelt repräsentiert wird. Die Forschung zu „haltungsbedingten Reaktionen“ geht von einem positiven Zusammenhang zwischen Vektion (dem Gefühl, sich selbst zu bewegen) und Präsenzzempfinden aus (Prothero, 1998, Ohmi, 1998). Handlungsreaktionen gelten aber nicht als direktes Substitut subjektiver Präsenzeinschätzung. Physiologische Messungen werden allgemein eher selten eingesetzt. Jedoch wird vermutet, dass Präsenzerleben im Herzschlag, der Atmung, dem Hautleitwiderstand und der Augenbewegungen sowie in hedonischen Komponenten Ausdruck findet. Ein weiteres Verfahren ist die Messung von Präsenz mittels dualer Aufgaben. Dabei wird angenommen, mit stärkerem Präsenzzempfinden steigt die Aufmerksamkeit, die einer ersten Aufgabe in einer virtuellen Umgebung beigemessen wird. Die Anstrengung, die erforderlich ist, um diese Aufgabe zu bewältigen, verringert ihrerseits den Umfang an Ressourcen, die schließlich für die Lösung einer zweiten Aufgabe verbleiben. Reaktionszeit und Anzahl der Fehler erhöhen sich dadurch. Die Anwendung dualer Aufgaben ist ideal zur unterstützenden Messung subjektiver Einschätzungen. Auch soziale Reaktionen geben Aufschluss über das Präsenzerleben in virtuellen Umwelten mit sozialem Charakter. Soziale Präsenz zeigt sich unter anderem in sozialem Verhalten (z. B. Mimik: Lächeln) sowie dem aufeinander Zugehen und der Kommunikation (Ijsselstein, Ridder, Freeman und Avons, 2000).

## **2.2 Usability – Gebrauchstauglichkeit**

„Die Nutzbarkeit eines Lernprogramms ist [...] entscheidende Voraussetzung dafür, dass das System möglichst komplikationslos bzw. überhaupt zum Lernen verwendet wird.“ (Niegemann, 2008, S. 420). Diese Nutzbarkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit wird in der Literatur unter dem Begriff Usability geführt. „Mit Usability wird [...] ein Konstrukt bezeichnet, das beschreibt, wie adäquat ein Produkt in der Handhabung zu den Bedürfnissen, Fähig- und Fertigkeiten sowie Wünschen seiner Nutzer passt.“ (Niegemann, 2008, S. 421).

Usability umfasst zwei aufeinander aufbauende Ebenen, von denen übergeordnete Ebene Bezug nimmt auf die Attribute Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit. *Effektivität* beschreibt in diesem Zusammenhang die Möglichkeit des Lernenden aufgrund der Gestaltung des Lernprogramms sein Arbeitsziel zu erreichen. Als Kriterien der Effektivität gelten einerseits die Zielerreichung selbst und

andererseits die Angaben darüber, welche und wie viele relevante Informationen abgerufen wurden bzw. welche Informationen keinen Eingang in die Lösung der Aufgabe fanden. Die Erfassung der Effektivität empfiehlt sich erst, wenn der Nutzer das entsprechende Programm relativ sicher handhabt. Durch das Attribut *Effizienz* wird das „Verhältnis von Ressourcen zu Ergebnissen“ (Niegemann, 2008, S. 421) beschrieben. Die Ermittlung von Effizienz erfolgt zumeist über die Zeit, in der mit Qualität gelernt wurde. Zusätzlich wird die Fehlerrate berücksichtigt. Wenn die Erwartungen des Anwenders an das Lernangebot erfüllt sind und ihm keine Beeinträchtigungen im Arbeitsprozess entstehen, stellt sich *Zufriedenheit* als drittes Attribut der Usability ein. Dieser Aspekt wirkt sich auch auf die anderen Attribute aus. Erfassen lässt sich die Zufriedenheit anhand spontaner Äußerungen oder durch explizite Befragung der Lernenden. Auf der zweiten Ebene des Konstrukts Usability finden sich die Unterkriterien zur differenzierteren Erfassung jedes einzelnen Attributs. Diese Unterkriterien sind der internationalen Norm für die „Grundsätze der Dialoggestaltung“ DIN EN-ISO9241 entlehnt (Niegemann, 2008, Gediga & Hamborg, 2002).

Der Erfassung von Usability kann bereits im Entwicklungsstadium einer Anwendung erfolgen. In diesem Falle spricht man von einer prädiktiven Evaluation. Sie zielt darauf ab, durch formal-analytische Verfahren (z.B. Expertenleitfäden) und Inspektionsmethoden (z.B. Walkthrough) formative Schwächen zu identifizieren und anhand dieser Ergebnisse ein Verfahren zu optimieren. Die Basis hierfür bilden überwiegend qualitative Daten. Wenn ein System bereits fertiggestellt ist, kommen vielfach deskriptive Methoden zur Evaluation von Usability zum Einsatz. Diese forcieren eine objektive, reliable und valide Beschreibung des Status einer Anwendung aus Sicht des Benutzers. Durch Fragebogenverfahren (z.B. Questionnaire for User Interface Satisfaction, Shneiderman, 1987) und Usability-Tests (z.B. Eingabeprotokolle) werden empirisch vor allem quantitative Daten gesammelt, die eine summative Evaluation im Sinne einer globalen Bewertung möglich machen.

Generell können bei der Evaluation von Usability auch Probleme auftreten. Zu den bekanntesten gehört beispielsweise der User- bzw. Anwendereffekt. Kennzeichnend für den Anwendereffekt ist, dass mit zunehmender Zahl von Nutzern auch die Anzahl der identifizierten Schwierigkeiten steigt. Schließlich hat jeder Anwender andere, ganz individuelle Ansprüche und Erwartungen an ein Programm. Demgegenüber steht der Experteneffekt. Dieser bezieht sich darauf, dass unterschiedliche Experten entsprechend ihrer Domäne auch eher verschiedene Probleme erkennen. Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, die einzelnen Probleme zu gewichten und entsprechend ihrer Priorität aufzulisten. Grundsätzlich unterscheiden sich Experten- und Nutzerurteile deutlich voneinander. Der Task-Selection-Bias oder Aufgabeneffekt bezieht sich schließlich auf die Annahme der Probanden, alle Aufgaben seien lösbar. Wenn sich die Nutzer aber darüber im Klaren sind, dass es durchaus Aufgaben gibt, auf die das nicht zutrifft, schlagen sie mitunter ganz andere Lösungswege ein. Die Schwierigkeiten in Hinblick auf die Evaluation von Gebrauchstauglichkeit sollten bereits in der Phase der Planung einer Erhebung berücksichtigt werden, um sie von vornherein zu umgehen oder sich gezielt darauf einzustellen (Gediga & Hamborg, 2002).

Allgemein gilt: verschiedene Evaluationsmethoden erzeugen unterschiedliche Informationen. Es empfiehlt sich deshalb im günstigsten Fall ihre Kombination. Gerade Benutzbarkeitstests liefern im direkten Vergleich zu prädiktiven Methoden eine größere Informationsmenge, bedürfen allerdings mehr Aufwand. Für eine rein summative Evaluation erweisen sich deskriptive Methoden als angebracht. Evaluationsmodelle mit praktischem Nutzwert sollten dagegen nicht allein aus deskriptiven Methoden bestehen. Neben der klassischen ergonomischen Bewertung fließen aktuell zunehmend auch affektive und motivationale Aspekte bei der Evaluation von Software ein (Niegemann, 2008).

### 2.3 Simulator Sickness

Ein nicht seltenes und durchaus ernstzunehmendes Problem in virtuellen Umgebungen stellt das Phänomen Cybersickness bzw. Simulator Sickness dar. Darunter wird Biocca (1992) zufolge eine „...Vielzahl von Symptomen [verstanden], die mit visuellen und vestibulären Störungen assoziiert sind, die einer Motion Sickness ähneln.“ Simulator Sickness tritt gelegentlich als direkte Folge der Konfrontation mit virtueller Realität auf und führt bei den betroffenen Personen zu gesundheitlichen und funktionalen Beeinträchtigungen. Die körperlichen Symptome lassen sich drei verschiedenen Kategorien zuordnen: (1) Übelkeit, (2) okulomotorische Beschwerden und (3) Desorientierung. In der Folge schränken sich Betroffene bezüglich der Nutzung von Simulationen zu Trainingszwecken ein. Sie sind demnach weniger gut auf reale Situationen vorbereitet. Zudem können die Symptome während des Trainings das Lernen unterbinden oder adaptive Verhaltensweisen bedingen, die, übertragen auf die Realität, negative Auswirkungen haben (Kolasinski, 1995). Abgesehen davon besteht zudem ein nachgewiesener negativer Zusammenhang zwischen Simulator Sickness und Präsenzerleben (Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993).

Simulator Sickness steht in direktem Zusammenhang mit Motion Sickness. Beide treten überwiegend in virtuellen Umgebungen auf und gelten als visuell induziertes Unwohlsein. Trotz Übereinstimmung hinsichtlich der Symptome meinen die Begriffe nicht dasselbe. „Motion Sickness ist eine spezifische Störung, die bei empfindlichen Personen und Tieren auftritt, wenn diese Bewegungen mit bestimmten Eigenschaften ausgesetzt sind.“ (frei übersetzt nach Tyler & Bard, 1949, S. 311). „Simulator Sickness ist [hingegen] ein Begriff zur Beschreibung einer Vielzahl von Symptomen, die mit visuellen und vestibulären Störungen assoziiert sind, die einer Motion Sickness ähneln.“ (Biocca, 1992). Simulator Sickness ist demgemäß überhaupt nur dann Motion Sickness, wenn sie in einem sich bewegenden Simulator auftritt (Kolasinski, 1995). Motion Sickness wird allein durch vestibuläre Stimulation verursacht (Money, 1970). Für Simulator Sickness gibt es hingegen keinen eindeutigen Grund. Vermutlich resultiert sie aus dem Zusammenspiel visueller Reize und Bewegungsstimuli, nicht aber allein aus der Bewegung (Kolasinski, 1995).

Zur Erklärung des Auftretens von Simulator Sickness existiert eine Reihe Theorien, von denen der „*Cue conflict*“-Theorie eine wesentliche Rolle zukommt. Demnach entsteht Simulator Sickness durch eine Diskrepanz zwischen den Sinnen zur Verarbeitung von Informationen über Lage und Bewegung des Körpers. Dennoch reicht es nicht aus, ursprünglich feststehende Simulationssysteme mit Bewegungsmöglichkeiten auszustatten, um so eine Übereinstimmung zwischen den entsprechenden Empfindungen zu erreichen. Das trotzdem aufkommende Unwohlsein lässt sich eventuell auf eine mangelnde Synchronität zwischen visuellen und Bewegungsreizen zurückführen. Für die Erklärung individueller Unterschiede im Erleben von Simulator Sickness ist diese allgemein akzeptierte Theorie gleichwohl hinreichend (Kolanski, 1995). So wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass Menschen unterschiedlich schnell an die Gegebenheiten der virtuellen Umgebung adaptieren und je nach dem, wie gut ihnen das gelingt, somit tatsächlich das Auftreten von Simulator Sickness vermeiden können (McCauley & Sharkey, 1992). Ein häufig kritizierter Nachteil der Theorie ist die Unmöglichkeit, Vorhersagen für zukünftiges Erleben von Simulator Sickness abzuleiten (Kolanski, 1995). Eine Alternative zur „*Cue-conflict*“-Theorie, die tatsächlich Voraussagen möglich macht, ist die *Theorie der Haltungstabilität* (Riccio & Stoffregen, 1991). Als verantwortlich für Simulator Sickness gelten demnach Kriterien von Haltungstabilität bzw. deren Fehlen. Riccio und Stoffregen (1991) nehmen an, dass ein Individuum vor allem dann von Simulator Sickness betroffen ist, wenn es nicht über Strategien zur Stabilisierung der eigenen Haltung verfügt. Vorhersagen erlauben neben den genannten Theorien auch

einzelne Faktoren, die mit Simulator Sickness in virtueller Realität assoziiert sind. Diese können in individuelle, aufgabenbezogene und simulatorabhängige Einflussgrößen unterschieden werden. Individuelle Faktoren betreffen Alter, Geschlecht sowie ethnische Abstammung des Probanden, seine physische und psychische Konstitution und seine Erfahrungen mit der realen Aufgabe sowie mit virtuellen Simulationen. Auch persönliche Fähigkeiten und die Haltungsstabilität sind auf individueller Ebene relevant. In Untersuchungen zeigte sich z. B., dass ein höheres Lebensalter vor Simulator Sickness schützt. Ebenso sind Männer seltener betroffen als Frauen. Zu den simulatorabhängigen Faktoren gehören die Merkmale der Visualisierung (Entfernung des Bildes, Helligkeit und Kontrast, Flimmern, Farbe, Abgleich, Auflösung, die Trägheit der Bilddarstellung, ...) die Größe des Sehfeldes und die Möglichkeit binokularen Sehens. Beispielsweise führen ein größeres Sehfeld oder feste Bildabstände eher zu Simulator Sickness. Die aufgabenbezogenen Faktoren umfassen das Ausmaß an Kontrolle, die Dauer der Simulation, die Art der Visualisierung und ablaufender Bewegungen, ob der Proband steht oder sitzt bzw. ungewöhnliche Manöver auszuführen sind, usw.. Ein hohes Ausmaß an Kontrolle, kürzere Verweildauern in der Simulation oder das Unterlassen von Kopfbewegungen reduzieren das Auftreten von Simulator Sickness (Kolanski, 1995).

Die Messung von Simulator Sickness erfolgt im Allgemeinen durch den Einsatz von Fragebogenverfahren (z.B. Simulator Sickness Questionnaire, Kennedy, Lane, Berbaum & Lielienthal, 1993) oder Haltungstests, die ergänzend Störungen der Bewegungskoordination einbeziehen.

## **2.4 Individuelle Merkmale**

Für Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität sind nicht nur Merkmale der Umgebung (Immersivität, Interaktivität usw.) ausschlaggebend, sondern zugleich auch Eigenschaften des Individuums. Dazu zählen beispielsweise motivationale Komponenten ebenso wie die wahrgenommene Kontrolle oder Selbstwirksamkeit (Leitl & Zempel-Dohmen, 2006; Ajzen, 2002; Bandura, 1998). Auch der bisherige Wissensstand oder Erfahrungen im Umgang mit VR-basierten Systemen fallen in die Kategorie individueller Merkmale. Diese interindividuell verschiedenen Eigenheiten führen dazu, dass sich Probanden unter sonst identischen Bedingungen in ihren Leistungen dennoch unterscheiden. Demographische Faktoren wie Alter, Geschlecht oder Beruf stehen zudem in Zusammenhang mit dem subjektiven Erleben in virtuellen Umwelten.

## **3. Forschungsdesign zur Evaluation von Wahrnehmung in VR-basierten Systemen**

Die Entwicklung eines Forschungsdesigns zur Evaluation von Wahrnehmung und Lernen in virtuellen Systemen ist ein grundlegender Schritt, um die Zusammenhänge zwischen relevanten psychologischen Faktoren und dem direkt beobachtbaren Verhalten anschaulich aufzuzeigen. Zunächst bedarf es hierfür eindeutiger Hypothesen, die ihrerseits den Grundstein für die Auswahl von Erhebungsverfahren und den Ablauf des Untersuchungsprozesses legen.

### **3.1 Hypothesen**

Um Aufschluss darüber zu erhalten, wie Personen VR-basierte Darstellungen wahrnehmen und durch die virtuelle Welt navigieren, bietet es sich an, das Lösungsverhalten von Probanden in Bezug auf eine konkrete Aufgabenstellung in virtueller Realität zu betrachten. Es kann davon ausgegangen



werden, dass der für die Lösung einer Aufgabe benötigte Zeitaufwand durchaus Rückschlüsse auf die Orientierung des Probanden im virtuellen Raum zulässt. Auch gilt zu berücksichtigen, dass ein entsprechendes Training innerhalb virtueller Realität das Lösungsverhalten beeinflusst und im Idealfall Leistungssteigerungen mit sich bringt. Anhand dieser vorausgehenden Gedankengänge lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

H1a: Die Testleistungen der Probanden unterscheiden sich innerhalb von verschiedenen Projektionssystemen voneinander.

Trotz der Verwendung identischer Eingabegeräte erzielen die Untersuchungsteilnehmer vergleichbarer Gruppen demnach in Darstellungen mittels verschiedener Projektionssysteme unterschiedliche Testergebnisse. Je vertrauter oder je immersiver die virtuelle Umgebung ist, desto besser sollten die Probanden im Test abschneiden.

H1b: Die Testleistungen unterscheiden sich auch für verschiedene Eingabegeräte.

Unter sonst identischen Bedingungen variieren die Testwerte in Abhängigkeit von den genutzten Eingabegeräten. Sie fallen umso besser aus, je intuitiver die Interaktion erfolgt.

H2: Untersuchungsteilnehmer, die häufig an einem Computer arbeiten oder sich oft mit Computer- bzw. Konsolenspielen beschäftigen, erzielen höhere Testleistungen, als andere Probanden.

Die häufige Nutzung des Computers führt zu einer größeren Vertrautheit im Umgang mit der Technik und den Neuen Medien. Diese Vertrautheit vermittelt ein Gefühl der Sicherheit und fördert das Explorationsverhalten. Probanden, die wenig Computererfahrung besitzen, sind hingegen zurückhaltender und zögerlicher hinsichtlich ihrer Handlungen, insbesondere in weitestgehend neuartigen Umgebungen wie VR-basierten Settings. Regelmäßige Computernutzung bedingt folglich eine in gewissem Maße auch erfahrungsgeleitete Interaktion. Dadurch werden in vergleichbarer Zeit mehr Informationen aufgenommen als von Versuchspersonen, die im Umgang mit Computern ungeübt sind.

H3a: Je häufiger ein Proband Computer- und Konsolenspiele nutzt, desto stärker sollte er Präsenzerleben aufweisen.

Häufiges Computerspielen bedingt eine gewisse Geübtheit im Umgang mit virtuellen Umgebungen. Je routinierter eine Person im Umgang mit virtuellen Szenarien ist, desto leichter erlebt sie Präsenz (Heers, 2005).

H3b: Das Ausmaß an Präsenzerleben sollte mit steigender Präsenzbereitschaft zunehmen.

Präsenzerleben setzt die Bereitschaft des Nutzers, sich auf die virtuelle Welt einzulassen, voraus („willing suspension of disbelief“, Heeter, 1992). Folglich sollten Probanden, die sich durch eine hohe Präsenzbereitschaft auszeichnen, deutlich stärker Präsenz erleben als andere.

H3c: Präsenzerleben steht in positivem Zusammenhang mit der erbrachten Testleistung (und dem Lernen in VR).

Generell wird vermutet, dass Präsenzerleben sich förderlich auf die Aufgabenbearbeitung im virtuellen Raum auswirkt. So konnten Bailey und Witmer (1994) zeigen, zwischen dem erfassten Präsenzer-

leben und der Aufgabenleistung in virtueller Realität für einfache psychomotorische Aufgaben und räumliches Wissen eine signifikante positive Korrelation besteht. Viele derjenigen Faktoren, die Einfluss auf das Präsenzerleben haben (z. B. Minimierung störender Außenreize), könnten gleichfalls für den Lernprozess von Bedeutung sein (Witmer & Singer, 1998).

H3d: Untersuchungsteilnehmer, die ausgeprägtes Präsenzerleben berichten, weisen eher Symptome von Simulator Sickness auf, als Probanden, die weniger Präsenz erleben.

Präsenzerleben geht nachweislich mit einer gesteigerten Empfindlichkeit bezüglich Simulator Sickness einher (Heers, 2005). Folglich sollten Probanden, mit einem hohen Ausmaß an Präsenzerleben eher Anzeichen von Simulator Sickness zeigen.

H3e: Präsenzerleben wird in hoch-immersiven virtuellen Umgebungen stärker empfunden als in niedrig-immersiven virtuellen Umwelten.

Präsenzerleben variiert folglich in Abhängigkeit von der Darstellung durch das Projektionssystem. Je immersiver eine Umgebung gestaltet ist, desto stärker fällt das Präsenzempfinden aus. Welch, Blackmon, Liu, Mellers und Stark (1996) konnten zeigen, dass eine realistische Darstellung und hohe Interaktivität Präsenz verstärken, wohingegen verzögerte visuelle Rückmeldungen Präsenzerleben reduzieren. Prothero und Hoffmann (1995) wiesen ihrerseits nach, dass Einschränkungen des Sehfeldes Präsenz verringern. Auch stereoskopische Reize und die dadurch erzeugte Räumlichkeit sowie „Raumklang“ und Interaktionsmöglichkeiten auf Seiten des Anwenders begünstigen gleichfalls das Erleben von Präsenz (Hendrix & Barfield, 1996).

H3f: Eine höhere Gebrauchstauglichkeit (Usability) des virtuellen Szenarios steht in Zusammenhang mit einem stärkeren Präsenzerleben.

Die gebrauchstaugliche Gestaltung eines (Lern-)Programms erleichtert die Suche nach Informationen und reduziert Frustrationserlebnisse beim Anwender (Niegemann, 2008). Kognitive Ressourcen werden somit weniger stark für Orientierung und Navigation in der virtuellen Umwelt beansprucht. Sie stehen dem Anwender folglich für die Ausrichtung seiner Aufmerksamkeit auf die virtuelle Umgebung zur Verfügung und begünstigen dadurch eine Steigerung des Präsenzempfindens.

H4a: Mit zunehmender Usability verbessert sich auch die Testleistung.

Durch Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit ist die Mensch-System-Schnittstelle zunehmend im Kontext integriert und verschwindet beinahe darin (Hedberg & Alexander, 1994). Dies begünstigt eine intuitive Bedienung des Lernprogramms. Dadurch stehen im Gegenzug mehr kognitive Kapazitäten bereit. Diese können, wie unter Hypothese H3e bereits beschrieben, in Form von Aufmerksamkeitsprozessen auf für das Lernen relevante Stimuli ausgerichtet werden und in der Folge den Lernprozess unterstützen.

H4b: Ein höheres Ausmaß an Usability geht mit einer größeren Zufriedenheit hinsichtlich der Visualisierung und dem Eingabegerät einher, folglich also ebenfalls mit einer gesteigerten Akzeptanz des virtuellen (Lern-)Szenarios.

Usability kann als Synonym für die Benutzerfreundlichkeit eines Programms verstanden werden. Benutzerfreundlichkeit ist ihrerseits ein wesentlicher Pfeiler von Zufriedenheit und Akzeptanz. Je leichter es Probanden fällt, ein Programm zu bedienen und sich in der Darstellung sowie mit den

Eingabegeräten zurechtzufinden, umso stärker überwiegt der Nutzen des Programms den Aufwand, der eventuell mit dessen Implementierung verbunden ist. Der Anwender wird das Programm eher akzeptieren und selbst nutzen.

H5a: Das Auftreten von Simulator Sickness verringert die Leistung sowie ...

H5b: ... die Zufriedenheit hinsichtlich der Nutzung virtueller Lernszenarien.

Simulator Sickness ist eine typische Begleiterscheinung virtueller Szenarien und kann Erfolge bei der Aufgabenbearbeitung reduzieren (Heers, 2005). Dies geschieht unter anderem dadurch, dass die Symptome während des Agierens im virtuellen Raum den Lösungsprozess beeinträchtigen oder vollständig zum Erliegen bringen (Kolasinski, 1995).

H6: Ein hohes Ausmaß an Gebrauchstauglichkeit wirkt sich förderlich auf die Zufriedenheit der Anwender mit dem virtuellen Szenario aus.

Ein benutzerfreundlich gestaltetes Programm lässt sich auch ohne vorhandene Vorkenntnisse bedienen. Es erlaubt dem Anwender, sich von Anfang an auf wesentliche Programmpunkte und –inhalte zu konzentrieren anstatt Ressourcen für Lösung wiederkehrend auftretender Bedienprobleme zu aktivieren. Usability trägt so dazu bei, Frustrationserlebnisse zu vermeiden und erleichtert den Zugang zum Programm.

In sogenannten Prüfexperimenten, die als Labortests angelegt sind, lassen sich diese Hypothesen optimal untersuchen. Störvariablen können so zudem besser kontrolliert und die unabhängigen Variablen leichter manipuliert werden. Lediglich die Generalisierbarkeit der Ergebnisse fällt im Vergleich zu Feldexperimenten geringer aus.

### **3.2 Virtuelles Basisszenario**

In Hinblick auf die Realisierung des Forschungsdesigns kommt auch dem virtuellen Basisszenario wesentliche Bedeutung zu. Die Implementierung einer angemessenen Aufgabenstellung verlangt stets die Berücksichtigung technischen Rahmenbedingungen und bestimmt dadurch ihrerseits den Ablauf des Erhebungsprozesses mit.

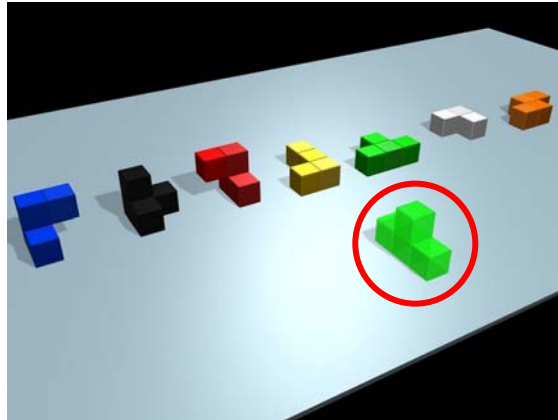
Beispielhaft soll an dieser Stelle ein VR-Basisszenario beschrieben werden, welches ausschließlich zur Überprüfung der Umsetzbarkeit des Forschungsdesigns im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojektes „ViERforES<sup>3</sup>“ entwickelt wurde. Es orientiert sich am sogenannten Somawürfel und beinhaltet sieben verschiedene, in einer Reihe angeordnete Objekte, die – entsprechend zusammengesetzt – einen 3x3x3-Kubus ergeben. Jedes Einzelobjekt besteht aus drei bzw. vier Würfelementen ( $1 \times 3 + 6 \times 4 = 27$  Würfelemente). Durch das Aktivieren eines ausgewählten Gebildes, erscheint dessen transparentes Abbild. Die Aufgabe des Probanden besteht nun darin, das Originalobjekt in die transparente Form einzupassen. Dabei wird die für alle sieben Objekte insgesamt benötigte Zeit gemessen (Abbildung 4).

Im Vorfeld der Validierungsaufgabe erhält die Versuchsperson eine entsprechende Einführung in die Interaktion mit dem jeweiligen Eingabegerät. Dafür erscheint lediglich ein Objekt mittlerer Schwie-

---

<sup>3</sup> ViERforES (Virtuelle und Erweiterte Realität für Eingebettete Systeme) ist ein Projekt der Otto-von-Guericke-Universität und dem Fraunhofer IFF in Magdeburg sowie der Technischen Universität und dem Fraunhofer IESE in Kaiserslautern

rigkeit (das gelbe L-förmige Somaelement), das es ebenfalls zu aktivieren und in das folglich erscheinende Gegenstück einzufügen gilt. Während dieses Durchgangs erklärt der Versuchsleiter die Bedienung des Eingabegeräts und steht dem Probanden bei seinen ersten Schritten unterstützend zur Seite. Jede Frage zur Bedienung des Interaktionsgeräts wird beantwortet und dem Probanden soviel Zeit gelassen, wie er für die Bewältigung der Aufgabe braucht. Erst im Anschluss daran startet die Validierungsaufgabe mit den sieben Objekten, wobei das Übungsobjekt wiederum darin enthalten ist. Die erfolgreiche Positionierung eines Objekts wird durch akustisches Feedback (Applaus) bestätigt.



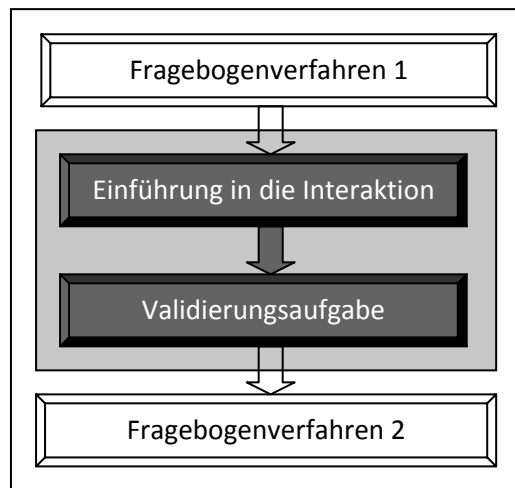
**Abbildung 4: Virtuelle Darstellung der Somawürfelemente mit transparentem Abbild im Vordergrund**

Da die Bearbeitung der Aufgabe keine spezifischen Qualifikationen erfordert oder allgemein bekanntes Wissen und Können abfragt, ist sie auch für eine studentische Stichprobe geeignet. Zudem konnten Auswirkungen der Größenskalierung virtuell dargestellter Objekte auf die Probandenleistung durch die Wahl größenunabhängiger Objekte weitestgehend vermieden werden.

### **3.3 Das exemplarische Forschungsdesign**

Unter der Prämisse, Implikationen für die ideale Gestaltung virtueller Umgebungen zum Zwecke der Wissensvermittlung abzuleiten wurde ein Untersuchungsverfahren als exemplarisches Forschungsdesign gewählt, das für die Evaluation von Wahrnehmung bei drei verschiedenen Projektionssystemen und zwei Eingabegeräten geeignet ist. Dieses umfasst insgesamt drei Stufen der Datengewinnung (Abbildung 5).

Zu Beginn (Fragebogenverfahren 1) werden demographische Angaben sowie der individuelle Umgang mit Computern bzw. Spielkonsolen abgefragt. Darüber hinaus wird ebenso die Präsenzbereitschaft erfasst. Dazu kommt ein Fragebogen zum Einsatz, der unter anderem auch die Items des Immersive Tendency Questionnaire ITQ (Witmer & Singer, 1998) einschließt. Die ergänzende Durchführung des Mental Rotation Tests MRT (Peters, Laeng, Lathan, Jackson, Zaiyouna, & Richardson, 1995) erlaubt eine Einschätzung der individuellen Fähigkeit zur mentalen Rotation, die eventuell in Zusammenhang mit der erzielten Leistung in der Validierungsaufgabe steht.



**Abbildung 5: Stufen des Erhebungsprozesses**

Im Anschluss daran erhält der Untersuchungsteilnehmer die zuvor beschriebene Einführung in die Bedienung des Eingabegeräts sowie in die Aufgabenstellung in VR. Dann ist er selbst gefordert, möglichst zügig die Aufgabe zu lösen. Hierbei verzeichnen Logfiles neben dem benötigten Zeitaufwand auch die Häufigkeit der Objektaktivierungen sowie individuell ausgelöster Perspektivwechsel im VR-Szenario.

Schließlich werden in einem weiteren Fragebogenverfahren (Fragebogenverfahren 2) das Präsenzerleben, die Gebrauchstauglichkeit, Simulator Sickness sowie die Zufriedenheit und Akzeptanz in Bezug auf die Visualisierung und die Interaktion erhoben. Die Messung des Präsenzerlebens erfolgt durch die einschlägigen Items des Presence Questionnaire PQ (Witmer & Singer, 1998). Dieses lässt sich den „Post-test rating scales“ zuordnen und dient der Erhebung vier verschiedener Kategorien von Präsenzdeterminanten (Kontrollfaktoren, sensorische Faktoren, Ablenkungsfaktoren und Realismusfaktoren) anhand von drei Subskalen (Involviertheit/ Kontrolle, Natürlichkeit, Interface-Qualität). Zur Messung der Gebrauchstauglichkeit wurde ein eigens entwickelter Fragebogen eingesetzt. Beweggrund dafür war die Erkenntnis, dass - obwohl im deutschsprachigen Raum sowie international zahlreiche bewährte Verfahren zur Verfügung stehen (ISONORM von Prümper & Anft, 1993; Questionnaire for User Interface Satisfaction QUIS von Shneiderman, 1987; IsoMetrics von Gediga & Hamburg, 2002; Software Usability Measurement Inventory SUMI von Porteus, Kirakowski & Corbett, 1993) - kein Instrument zu finden ist, das eine vergleichende Messung in unterschiedlichen virtuellen Projektionssystemen gestattet. Das speziell entwickelte Verfahren soll genau diesem Kriterium gerecht werden, lässt also die systemübergreifende Applikation zu. Dafür wurden Items, die optimale Passung hinsichtlich der gegebenen Fragestellung gewährleisten, bekannten Inventaren entnommen, den Erfordernissen entsprechend umformuliert und zu einem eigenen Fragebogen zusammengestellt. Im konkreten Fall stammen die Fragestellungen überwiegend aus dem SUMI sowie dem QUIS. Ergänzt um ein weiteres, neu generiertes Item entstand so ein vielfältig einsetzbares Messinstrument. Die Erfassung von Simulator Sickness beruht auf dem Einsatz des Simulator Sickness Questionnaire SSQ (Kennedy, Lane, Berbaum & Lielienthal, 1993). In diesem Fragebogenverfahren ist der Proband aufgefordert, 16 Items zu den charakteristischen Symptomen in Form eines Selbstberichtes zu beantworten. Neben diesen bewährten Fragestellungen ermöglichen darüber hinaus fünf ergänzende Items eine globale Einschätzung der Zufriedenheit mit dem VR-Szenario und eine weitere offene Frage die Rückmeldung konstruktiver Kritik.

Um eine maximale Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten zu gewährleisten, gleichwohl aber die Zahl der Probanden als auch den für die Umsetzung des Vorhabens erforderlichen Personal- und Zeitaufwand möglichst gering zu halten, wurde das Forschungsdesign derart konzipiert, dass Probanden von den drei vorgegebenen Projektionssystemen ein jedes im Rotationsverfahren durchlaufen (Abbildung 6). Dafür werden die Versuchspersonen (VP) randomisiert drei Gruppen zugeordnet. Eine Hälfte der Probanden innerhalb einer Gruppe nutzt kontinuierlich Eingabegerät 1, die andere Hälfte Eingabegerät 2.

	1. Durchgang	2. Durchgang	3. Durchgang
Projektionssystem A	Gruppe I 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II	Gruppe II 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II	Gruppe III 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II
Projektionssystem B	Gruppe III 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II	Gruppe I 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II	Gruppe II 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II
Projektionssystem C	Gruppe II 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II	Gruppe III 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II	Gruppe I 6VP Eingabegerät I 6VP Eingabegerät II

**Abbildung 6: Forschungsdesign**

Die geplante Evaluation kann somit nach ganz verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen: (1) Gegenüberstellung der Testleistung in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit, (2) Vergleich der Projektionssysteme, (3) Vergleich der Interaktionsmöglichkeiten sowie (4) Gegenüberstellung der verschiedenen Kombinationen aus Visualisierung und Eingabegerät. Dadurch lassen sich Aussagen darüber treffen, welches Projektionsverfahren bzw. welches Eingabegerät in Zusammenhang mit den besten Testleistungen steht und was die ideale Kombination aus Visualisierung und Eingabegerät ist.

### **3.4 Beispiel für einen Prätest**

Ebenfalls im Projekt ViERforES wurde vor der tatsächlichen Umsetzung des Forschungsdesigns ein entsprechender Prätest anhand einer studentischen Stichprobe mit insgesamt 21 Probanden durchgeführt (Teilnehmer einer Vorlesung zum Thema „Virtuelle Realität in industriellen Anwendungen“). Die Zielsetzung bestand darin, potentielle Probleme hinsichtlich der technischen Realisierung des Szenarios sowie die Angemessenheit der Fragebogenverfahren im Vorfeld zu ermitteln und eine Grundlage für die Auswahl zweier geeigneter Eingabegeräte zu schaffen bzw. den erforderlichen Zeitaufwand der Erhebung abzuschätzen. Dafür wurden die Untersuchungsteilnehmer in Dreiergruppen zu verschiedenen Terminen eingeladen. Die Visualisierung des VR-Szenarios erfolgte ausschließlich am Laptop. Als Interaktionsgeräte kamen (1) Nintendo Wii-Remote plus Nunchuk, (2) Logitech Rumblepad sowie (3) 3Dconnexion SpaceNavigator zum Einsatz. Von keinem Arbeitsplatz aus konnte die Darstellung auf den anderen Monitoren eingesehen werden.

Im Rahmen der Prätesterhebung wurde den Probanden ein Fragebogen per E-Mail zugesandt, den sie im Vorfeld ausfüllen und entweder auf die gleiche Weise zurückschicken oder zum Untersuchungstermin als Ausdruck mitbringen sollten. Inhalt des Fragebogens waren die zuvor bereits im Fragebogenverfahren 1 beschriebenen Fragestellungen. Lediglich zwei Items des ITQ (Witmer & Singer, 1998) zum aktuellen Befinden wurden den Untersuchungsteilnehmern erst vor Ort am Tag der Untersuchung vorgelegt. Auch der MRT (Peters, Laeng, Lathan, Jackson, Zaiyouna, & Richardson, 1995; digitalisiert durch Hetke & Danneberg, 2002) war nicht im E-Mail Fragebogen enthalten.

Nach der Begrüßung der Probanden, erhielten diese Gelegenheit, sich eine kurze Beschreibung des Untersuchungsinhalts und -ablaufs durchzulesen und waren anschließend aufgefordert, eine Einverständniserklärung zu unterzeichnen. Zu jedem Zeitpunkt bestand für die Probanden die Möglichkeit, ihre Teilnahme ohne Angabe von Gründen zu beenden.

Vor der Konfrontation mit dem virtuellen Szenario wurde jeder Proband einem Laptop-Arbeitsplatz zugewiesen und bearbeitete an diesem die Aufgaben des MRT (Peters, Lang, Lathan, Jackson, Zaiyouna, & Richardson, 1995; digitalisiert durch Hetke & Danneberg, 2002). Im Anschluss folgten die Einführung in die Interaktion am jeweiligen Eingabegerät sowie die Validierungsaufgabe im VR-Basiszenario. Während dieser Zeit wurden die Reaktionen der Probanden per Videoaufzeichnung festgehalten.

Zuletzt waren die Versuchspersonen aufgefordert ebenfalls am PC die Items des Fragebogenverfahrens 2<sup>4</sup> zu beantworten.

Im Durchschnitt dauerte ein Untersuchungsdurchgang 45 Minuten. Jeder Teilnehmer bediente das virtuelle Szenario lediglich mit einem ausgewählten Eingabegerät, wobei die Verteilung der Probanden auf diese Geräte randomisiert erfolgte. Insgesamt 12 Datensätze konnten in die Auswertung eingehen. Die übrigen Datensätze mussten wegen Unvollständigkeit aufgrund technischer Probleme oder sprachlicher Barrieren seitens der Teilnehmer ausgeschlossen werden.

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

Alles in allem lassen sich mit dem Forschungsdesign eine Vielzahl von Fragestellungen untersuchen, die sich in Zusammenhang mit der Wahrnehmung und Orientierung in virtuellen Umgebungen ergeben. Schwachstellen der verschiedenen Projektionsformen und Eingabegeräte, insbesondere in Hinblick auf deren Eignung für Lernprozesse, können so eindeutig aufgezeigt werden. Schließlich leistet die geplante Untersuchung dadurch einen wichtigen Beitrag zur Etablierung modernster Technik in der Wissensvermittlung.

Erste aussagekräftige Untersuchungsergebnisse im Projekt ViERforES, insbesondere bezüglich der im Prätest erhobenen Daten, werden im Herbst dieses Jahres erwartet. Parallel dazu wird noch in den Sommermonaten mit der geplanten Evaluation der drei verschiedenen Projektionssysteme begonnen. Bewährt sich das Forschungsdesign, wird es anschließend auf bestehende Trainings szenarien in verschiedenen Visualisierungen übertragen.

---

<sup>4</sup> Außer dem SSQ, da alle Projektionen via Laptop erfolgten und Simulator Sickness dabei lediglich eine untergeordnete Rolle spielt.

## Literatur

- Ajzen, I. (2002). Perceived behavioural Control, Self-Efficacy, Locus of Control, and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 32(4), 665-683.
- Akiyoshi, M., Miwa, S. & Nishida, S. (1996). The application of virtual reality technology to maintenance task of substations. *Mitsubishi Denki Giho*, 70(6), 34-38.
- Anderson, J. R. (1996). *The Architecture of Cognition*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Bailey, J. H., & Witmer, B. G., (1994). Learning and transfer of spatial knowledge in a virtual environment. *Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society 38th Annual Meeting*, 1158–1162.
- Bandura, A. (1998). Health promotion from the perspective of social cognitive theory. *Psychology and Health*, 13, 623-649.
- Biocca, F. (1992). Will simulation sickness slow down the diffusion of virtual environments technology? *Presence*, 3(1), 334-343. Verfügbar unter: <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-98-11/node134.html> [04.12.2008]
- Blümel, E. & Jenewein, K. (2005). Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitsumgebungen – Eckpunkte eines Forschungsprogramms. In: Schenk, Michael (Hrsg.): *Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme*. Magdeburg : IFF, 177–182.
- Bricken, M. (1990). *A Description of the Human Interface Technology Laboratory's Virtual Worlds*. Seattle: University of Washington, Human Interface Technology Laboratory (Technischer Bericht).
- Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Gediga, G. & Hamborg, K-C. (2002). Evaluation in der Software-Ergonomie: Methoden und Modelle im Software-Entwicklungsprozess. *Zeitschrift für Psychologie*, 210 (1), 40–57.
- Gude, D. (2007). Kompetenzentwicklung im Bereich der ergonomischen Systemanalyse mit labor- und webgestützten Techniken der virtuellen Realität. In: GfA (Hrsg.), *Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen* (S. 287-290). Dortmund: GfA-Press.
- Hedberg, J. & Alexander, S. (1994). Virtual Reality in Education: Defining Researchable Issues. *Educational media International*, 31:4, 214-220.
- Heers, R. (2005). „Being There“, *Untersuchungen zum Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen*. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität (Dissertationsschrift).
- Heeter, C. (1992). Being there: The subjective experience of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 1, 262-271.
- Heiß, A., Eckhardt, A. & Schnotz, W. (2003). Selbst- und Fremdsteuerung beim Lernen mit Hypermedien. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17 (3/4), 211-220.
- Hoffman, H.G., Prothero, J., Wells, M.J. & Groen, J. (1998). Virtual Chess: Meaning Enhances Users' Sense of Presence in Virtual Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10(3), 251-263.
- Ijsselstein, W. A., de Ridder, H., Freeman, J. & Avons, S. E. (2000). Presence: Concept, determinants and measurement. Eindhoven: University of Technology. [online-Dokument, verfügbar unter: [http://www.presence-research.org/papers/SPIE\\_HVEI\\_2000.pdf](http://www.presence-research.org/papers/SPIE_HVEI_2000.pdf), letzter Zugriff am 27.10.2008]



- Jenewein, K. (2005). Systemverständnis und Theoriewissen am Arbeitsplatz erwerben. In: Fogolin, A., Hahne, K. & Zinke, G. (Hrsg.): *Netz- und communitybasierte Lerninfrastrukturen als Instrumente zur Prozessorientierung der Berufsausbildung in KMU und Handwerk*. Bonn: BIBB, 28-34 .
- Jenewein, K. & Schulz, T. (2007). Didaktische Potentiale des Lernens mit interaktiven VR-Systemen, dargestellt am Training des Instandhaltungspersonals mit dem virtuellen System „Airbus A320“. In: GfA (Hrsg.), *Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen* (S. 323-326). Dortmund: GfA-Press.
- Kashiwa, K. I., Mitani, T., Tezuka, T. & Yoshikawa, H. (1995). Development of machine-maintenance training system in virtual environment. In: *Proceedings of the RO-MAN'95: 4th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication* (S. 295-300). New York, NY: IEEE.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3) 203-220.
- Kolasinski, E. M. (1995). Simulator Sickness in Virtual Environments. Technical Report No.1027. Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences [online-Dokument, verfügbar unter: <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA295861&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>; letzter Zugriff am 03.12.2008].
- Kontogiannis, T. (1999). *A training methodology for mastering maintenance tasks in virtual reality learning environments*. Kreta: Technische Universität, Institut für Produktionsentwicklung und Management, Ergonomielabor (Manuskript).
- Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research*, 61(2), 179–211.
- Laarni, J. (2003). *Measuring spatial presence*. Präsentation in einem Seminar zu Wahrnehmung und User Interfaces, 22. Mai, Universität von Helsinki, Finnland.
- Leitl, J. & Zempel-Dohmen, J. (2006). Die Bedeutung des Arbeitsumfeldes für die Veränderung der Transfermotivation. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 50(2), 92-102.
- Lombard, M. & Ditton, T. (1997). At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2). Verfügbar unter: <http://jcmc.indiana.edu/vol3/issue2/lombard.html> [25.11.2008]
- McCauley, M. E. & Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments. *Presence*, 1(3), 311-318.
- Money, K. E. (1970). Motion sickness. *Physiological Reviews*, 50(1), 1-39.
- Moreno, R. & Mayer, R.E. (2002). Learning Science in Virtual Reality Multimedia Environments: Role of Methods and Media. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 598-610.
- Niegemann, H. M. (2008). Usability. In: H. M. Niegemann, S. Domagk, S. Hessel, A. Hein, M. Hupfer, & A. Zobel (2008). *Kompendium multimediales Lernen* (S. 419-453). Heidelberg: Springer. Verfügbar unter: <http://www.springerlink.com/content/k367620g4685226l/fulltext.pdf> [21.10.2008]
- Ohmi, M. (1998). Sensation of self-motion induced by real-world stimuli. *Selection and Integration of Visual Information: Proceedings of the International Workshop on Advances in Research on Visual Cognition, Tsukuba, Japan, December 8-11, 1997*, 175-181.

- Peters, M., Laeng, B., Lathan, K., Jackson, M., Zaiyouna, R. & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28, 39-58.
- Pfeffer, S. (2007). *Wahrnehmungspsychologische Untersuchung zum Thema visueller, haptischer und akustischer Kanal*. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (Studienarbeit).
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T. & McKeachie, W. J. (1991). *A Manual for the Use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ)*. Ann Arbor, MI: National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning.
- Porteous, M., Kirakowski, J. & Corbett, M. (1993). *SUMI User Handbook*. University College Cork, Ireland: Human Factors Research Group.
- Prothero, J.D. (1998). *The role of rest frames in vection, presence and motion sickness*. PhD thesis, University of Washington, USA. [online-Dokument, verfügbar unter: <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-98-11/>; letzter Zugriff am 02.12.2008]
- Prümper, J. & Anft, M. (1993). Die Evaluation von Software auf Grundlage des Entwurfs zur internationalen Ergonomie-Norm 9241 Teil 10 als Beitrag zur partizipativen Systemgestaltung ein Fallbeispiel. In: K.-H. Rödiger (Hrsg.), *Software Ergonomie '93: Von der Benutzeroberfläche zur Arbeitsgestaltung* (S. 145–156). Stuttgart: Teubner.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (1998). *Multiple Wege zur Förderung von Wissensmanagement in Unternehmen*. Forschungsbericht des Lehrstuhls für Empirische. Pädagogik und Pädagogische Psychologie Nr. 99, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Riccio, G. E. & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological theory of motion sickness and postural instability. *Ecological Psychology*, 3(3), 195-240.
- Schaper, N. (2000). *Gestaltung und Evaluation arbeitsbezogener Lernumgebungen*. Heidelberg: Ruprecht-Karls Universität, Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften der Heidelberg (Habilitationsschrift). Verfügbar unter: [http://www.uni-paderborn.de/fileadmin/psychologie/download/publikationen/Schaper\\_-\\_Gestaltung\\_und\\_Evaluation\\_arbeitsbezogener\\_Lernumgebungen\\_\\_Habilitationsschrift\\_.pdf](http://www.uni-paderborn.de/fileadmin/psychologie/download/publikationen/Schaper_-_Gestaltung_und_Evaluation_arbeitsbezogener_Lernumgebungen__Habilitationsschrift_.pdf) [23.10.2008]
- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (Bd. 2, S. 249–278). Göttingen: Hogrefe.
- Schloerb, D. W. (1995). A quantitative measure of telepresence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 4 (1), 64-80.
- Schwan, S. & Buder, J. (2001). Didaktische Konzeption. Verfügbar unter: [http://milca.sfs.uni-tuebingen.de/proj\\_intern/Eval/eval\\_descr.htm](http://milca.sfs.uni-tuebingen.de/proj_intern/Eval/eval_descr.htm) [21.10.2008]
- Schwan, S. & Buder, J. (2006). *Virtuelle Realität und E-Learning*. Verfügbar unter: <http://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/vr/vr.pdf> [14.10.2008]
- Sheridan, T.B. (1992). Musings on telepresence and virtual presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 1, 120 - 125.
- Shneiderman, B. (1987). *Designing the User Interface*. Logman: Addison-Wesley.

Shneiderman, B. (1998). *Designing the User Interface*. Logman: Addison-Wesley.

Slater, M., Usoh, M. & Steed, A. (1994). Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2), 130-144.

Stanney, K. & Salvendy, G. (1998). Aftereffects and Sense of Presence in Virtual Environments: Formulation of a Research and Development Agenda. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10(2), 135-187.

Stanney, K., Kingdon, K.S., Graeber, D. & Kennedy, R.S. (2002). Human Performance in Immersive Virtual Environments: Effects of Exposure Duration, User Control, and Scene Complexity. *Human Performance*, 15(4), 339-366.

Thorndike, E. L. (1914). *The psychology of learning*. New York: Teachers College.

Tyler, D. B. & Bard, P. (1949). Motion sickness. *Physiological Review*, 29(10), 311-369.

von Boxberg, H. (2004). Simulation und Virtuelle Realität – not all you see is an artefact. Bochum: Ruhr-Universität (Magisterarbeit). [online-Dokument, verfügbar unter: <http://netzspannung.org/archive/browser/archiventry.xsp?tab=personen&name=netzkollektor-281863&letter=v&lang=de>; letzter Zugriff am 28.10.2008]

Witmer, B.G. & Singer, M.J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240.

**Die Reihe Arbeitsberichte des IBBP –****Herausgegeben vom Institut für Berufs- und Betriebspädagogik**<http://www.uni-magdeburg.de/ibbp>

ISSN 1437-8493

**2009**

Heft 66/09

Peters, S.

Fach- und Führungsnachwuchsentwicklung in Wirtschaft und Hochschulbildung  
infolge von Tertiarisierung und demografischem Wandel

Heft 65/09

Möhring, J.

Gleisner, E.

Peters, S.

Nachwuchs auf Nachwuchsstellen? Befragung von Diplomanden, Praktikanten  
und wissenschaftlichen Hilfskräften als potentieller Nachwuchs eines regiona-  
len Forschungs- und Entwicklungsdienstleisters**2008**

Heft 64/08

Peters, S.

Professionalisierung und Projektmanagement

Heft 63/08

Rauner, F.

Bildungsforschung in der Wissensgesellschaft: Grundlagen, Widersprüche und  
Perspektiven. Zur Berufsform der Arbeit als Dreh- und Angelpunkt beruflicher  
Bildung und der Berufsbildungsforschung.

Heft 62/08

Steckel, M.

Peters, S.

Perspektiven auf das Moratorium Studium - Teilstudie 3:  
Studiengang-/ Studienfachwechsel und Studienabbruch

Heft 61/08

Steckel, M.

Peters, S.

Perspektiven auf das Moratorium Studium - Teilstudie 2:  
Studiensituation und Studienzufriedenheit

Heft 60/08

Steckel, M.

Peters, S.

Perspektiven auf das Moratorium Studium - Teilstudie 1:  
Alumni-Befragung

Heft 59/08

Groß, S.

Die Fachkarriere - Alternative Entwicklungschancen oder Abstellgleis?  
- *Eine qualitative Untersuchung der Implementierungsmodalitäten ausgewähl-  
ter Unternehmen* -

Heft 58/08

Voß, A.

Implementierung von Mentoringprozessen - Eine Chance für Absolventen der  
dualen Berufsbildung in der Metallindustrie Sachsen-Anhalts

**2007**

Heft 57/07  
Peters, S.  
Frosch, U.

„Richtig studieren“ Infos, Wissenswertes, Anregungen, Regularien

**2006**

Heft 56/06  
Frosch, U.

Wissensmanagement und Expertise - Analyse eines Personalentwicklungsinstrumentes auf operative Unternehmensebene.  
*Wissenslandkarten als Instrument der Personalentwicklung sowie als Werkzeug des Wissensmanagements*

Heft 55/06  
Peters, S.  
Schmicker, S.  
Weinert, S.

Mentoring als Leitfaden zur Förderung von Fach- und Führungskräftenachwuchs  
*- Ein Leitfaden für kleine und mittelständische Unternehmen und Organisationen -*

Heft 54/06  
Herud, K.

Selbstorganisation in offenen Arbeitsverhältnissen – Handeln auf der Basis von Metakompetenzen am Fallbeispiel einer IT-basierten Firma

**2005**

Heft 53/05  
Genge, F.  
Willenius, Y.  
Peters, S

Was Sie seit längerem über regiostart wissen wollen...  
*- Diskussionspapier I -*

**2004**

Heft 52/04  
Peters, S.  
Dengler, S.

Wissensträger erkennen und vernetzen  
*- Wissensmanagement IV –*

Heft 51/04  
Daniela Riedel

Mentoring als Strategie von Gender Mainstreaming unter dem Blickwinkel von Theorie und Praxis am Fallbeispiel des Mentoring-Projektes „Frauen ins/im Management in Sachsen-Anhalt“

**2003**

Heft 50/03  
Peters, S.  
Dengler, S.

Wissenspromotion in der Hypertext-Organisation  
*- Wissensmanagement III -*

Heft 49/03  
Glomb, B.

Kompetenzen von Wissensmanagern – Managerprofile im Wandel

- Heft 48/03  
Peters, S.  
Schmicker, S.  
Weinert, S.
- Frauen im/ins Management in Sachsen-Anhalt IX  
Mentoring-Programm für Frauen in Führungspositionen – ein win-win-Spiel in Sachsen-Anhalt?  
- *Diskussionspapier IX* -
- Heft 47/03  
König, S.
- Chancengleichheit zur Rekrutierung von Führungskräften -  
Frauenförderung in Strategien und Umsetzung von Personalpolitik
- Heft 46/03  
Noack, G.
- Anforderungen an das Aufgabenprofil eines Wissenspromotors zur Überwindung von Wissensbarrieren lose gekoppelter Teams in der Hypertextorganisation  
- *Wissensmanagement II* -
- Heft 45/03  
Poppeck, A.  
Peters, S.
- Internetbasiertes Projektmanagement-Tutoring (IT-Proto). Lernen mit neuen Medien in der Hochschulausbildung in Sachsen-Anhalt  
- *Diskussionspapier II* -
- Heft 44/03  
Lesske, L.  
Peters, S.
- Auf dem Sprungbrett ins Beschäftigungssystem - Chancen(-un-)gleichheit von Studentinnen und Studenten in Sachsen-Anhalt – *Fallstudie* –
- 2002**
- Heft 43/02  
Peters, S.
- Einführung in die berufliche/betriebliche Weiterbildung  
- *Reader zur Einführungsveranstaltung Wintersemester* –  
(Fortsetzung von Heft 35, Oktober 2001)
- Heft 42/02  
Weinert, S.  
Peters, S.  
Schmicker, S.
- Frauen im/ins Management in Sachsen-Anhalt VIII  
*Modellprojekt und Ringvorlesung Querschnittsergebnisse aus Shadow- und Top-Sequenzen im Überblick* – *Diskussionspapier VIII* –
- Heft 41/02  
Peters, S.
- Mentoring – ein flankierendes Personalentwicklungsinstrument für Führungsnachwuchskräfte  
- *Diskussionspapier VII* -
- Heft 40/02  
Riedel, D.  
Peters, S.
- Frauen ins Management in Sachsen-Anhalt VI  
*Erfahrungen mit der eigenen Power: Projektergebnisse der 1. Mentoring-Gruppe* – *Diskussionspapier VI* –
- Heft 39/02  
Peters, S.
- Qualifikations- und Kompetenzentwicklung – zum Wandel und Wechsel ihrer Bedarfe infolge steigender Dienstleistungsanforderungen

- Heft 38/02  
Klein, R.  
Reutter, G.  
Dengler, S.  
Poppeck, A.
- Realisierte Konzepte von beruflicher Lern- und Weiterbildungsberatung – Studie mit Fallbeschreibungen –
- Heft 37/02  
Peters, S.
- Frauen im Management. *Chancen des Diskurses über Geschlechterdifferenz und –arrangements. Eine theoretische Skizze – Diskussionspapier V –*
- 2001**
- Heft 36/01  
Weinert, S.  
Peters, S.  
Schmicker, S.
- Frauen ins Management in Sachsen-Anhalt IV  
*Modellprojekt und Ringvorlesung*  
*Ansporn zum Aufstieg – für Shadows und Tops*  
*– Diskussionspapier IV –*
- Heft 35/01  
Peters, S.
- Einführung in die berufliche/betriebliche Weiterbildung  
*– Reader zur Einführungsveranstaltung Wintersemester –*  
(Fortsetzung von Heft 27, Oktober 2000)
- Heft 34/01  
Ringshausen, H.
- Die Theorie des Situieren Lernens von Lave/Wenger (1991) im Kontext organisationstheoretischer Ansätze der Erwachsenenbildung  
*– Wissensmanagement I –*
- Heft 33/01  
Peters, S.  
Schmicker, S.  
Weinert, S.
- Frauen im/ins Management in Sachsen-Anhalt III  
*: Modellprojekt und Ringvorlesung*  
*Start der Shadow-Mentees*  
*– Diskussionspapier III –*
- Heft 32/01  
Klein, R.  
Kemper, M.
- „Best-practice“ beruflicher Weiterbildung in der Qualifizierung und Beratung mit KMU
- Heft 31/01  
Büchter, K.
- Selbstgesteuertes und institutionelles Lernen in der Weiterbildung  
*Argumente, Kritiken, offene Fragen*
- Heft 30/01  
Peters, S.  
Dengler, S.  
Krause, A.
- Internetbasiertes Projektmanagement Tutoring (IT-PROTO)  
*Lernen mit neuen Medien in der Hochschulausbildung*  
*– Diskussionspapier I –*
- Heft 29/01  
Dengler, S.
- Professionalität in der Weiterbildung im Wandel. *Wandel des Lernens im Kontext gesellschaftlicher Transformationsprozesse und Auswirkungen auf die Professionalität*  
*- Professionalisierungsdiskussion V*

Heft 28/01

Peters, S.

Schmicker, S.

Weinert, S.

Frauen im/ins Management in Sachsen-Anhalt II

*Modellprojekt und Ringvorlesung Programm- Werbung- Kooperation- und*

*Netzwerkpartner- Presseresonanz*

*– Diskussionspapier II –*

Arbeitsberichte aus früheren Jahrgängen sind bereits vergriffen. Anfragen zu einzelnen Arbeitsberichten richten Sie bitte an die im Impressum angegebene Anschrift bzw. E-Mail.