

„Being There“
Untersuchungen zum Wissenserwerb in
virtuellen Umgebungen

Dissertation
der Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von
Dipl.-Psych. Rainer Heers
aus Detmold

Tübingen
2005

Tag der mündlichen Qualifikation: 16. 02. 2005

Dekan: Prof. Dr. Michael Diehl

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Stephan Schwan

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Friedrich W. Hesse

Vorwort

Die vergangenen Jahrhunderte sind von rasanten technischen Entwicklungen durchzogen. Erst vor einigen Jahrzehnten wurden elektronische Rechenmaschinen erfunden, die wenig mehr konnten als die Grundrechenarten. Und heute? Computer haben beinahe jeden Winkel des normalen menschlichen Lebens in einer Industriegesellschaft Besitz durchdrungen und breiten sich immer weiter aus. Nachdem zunächst die grundlegenden technischen Entwicklungen notwendig waren, ist heute eine allgemeine technische Basis für vielfältige Anwendungsfelder entstanden, die das alltägliche Leben weiter und weiter durchdringt.

Je aufwendiger die technischen Entwicklungen werden, desto mehr stellen sich allerdings auch anwendungsbezogene Fragen: „Was bringt uns dieser technische Aufwand?“ oder „Worin liegt der konkrete Nutzen dieser technischen Entwicklungen?“ Sicher – ohne eine unabhängige grundlagenwissenschaftliche Forschung wären viele technische Entwicklungen nie realisiert worden. Dennoch wird die Frage nach dem konkreten Nutzen stets das kritische Korrektiv zur primär erkenntnisorientierten Grundlagenforschung darstellen. Gerade dadurch können sich anwendungsrelevante und grundlagenorientierte Forschung gegenseitig befruchten. Denn die Erkenntnisse der Grundlagenforschung lassen sich bei genauerem Hinsehen oftmals durchaus praktisch verwerten. Und die Fragen und Anforderungen der Praxis können zu neuen Einsichten führen oder in grundlagenrelevanten Fragestellungen übertragen, zu neuen Untersuchungen anregen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Motivation zur Erstellung der vorliegenden Arbeit dar: „Virtuelle Umgebungen“ basieren bislang auf eher technisch orientierten Entwicklungen, die durch ihre offensichtlich aufwendige und meist kostenintensive Gestaltung aus der Masse computerbasierter Systeme hervorstechen. Nach dem ersten Erstaunen über das technisch Machbare stellt sich allerdings die Frage nach dem ökonomisch sinnvollen wie inhaltlich adäquaten dieses Aufwands. Für Medien und Allgemeinpublikum mag das Spektakel bereits den Aufwand rechtfertigen. Für das wissenschaftlich interessierte Publikum und die ökonomische Verwertung hingegen sind weitergehende Begründungen notwendig.

Aus der Auseinandersetzung mit den ergonomischen und den gestaltungs- und anwendungsrelevanten psychologischen Fragestellungen ergaben sich das zentrale Thema und der Titel dieser Arbeit: ‚Being There‘ – oder auch: „Ich fühle mich in einer virtuellen Umgebung ‚präsent‘“. Aus einer kognitionspsychologisch eher grundlagenorientierten Perspektive heraus motiviert sich das Interesse an virtuellen Umgebungen daraus, die kognitiven Prozesse im Umgang mit Umgebungen zu verstehen, die der Idee folgen, eine artifizielle ‚Wirklichkeit‘ zu erzeugen. Zusätzlich eröffnet sich mit der Förderung von kognitiven Prozessen des Wissenserwerbs eine anwendungsrelevante Fragestellung. Deswegen ist es ein Anliegen der vorliegenden Arbeit, grundlagenbasierte und anwendungsrelevante Fragestellungen miteinander zu verknüpfen. Den überwiegenden Teil dieser Arbeit habe ich während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie sowie am Institut für Wissensmedien (IWM) in Tübingen ausführen können.

Einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit hat dabei mein Betreuer und Hauptgutachter, Herr Professor Dr. Stephan Schwan, geleistet. Herr Professor Schwan hat mir durch seine stets kritischen, aber jederzeit sehr konstruktiven Hinweise eine erfolgreiche Bearbeitung dieser komplexen Fragestellung ermöglicht. Bei ihm fand ich für meine vielfältigen Fragen, Vorschläge und Ideen stets ein offenes Ohr. Neben der Betreuung danke ich ihm ganz besonders für die überaus kollegiale Zusammenarbeit im Projekt „Moderation VR“ und in der von ihm geleiteten Arbeitsgruppe „Individuelles und kooperatives Lernen in virtuellen Umgebungen“. Auch während Herr Professor Schwan eine Professur an der Johannes-Kepler-Universität in Linz übernommen hatte, setzte er die Betreuung weiterhin mit unveränderter Intensität fort. Der Abschluß der Arbeit erfolgte schließlich, nachdem Herr Professor Schwan an die Eberhard-Karls-Universität Tübingen zurückgekehrt war.

Ebenfalls danke ich Herrn Professor Dr. Dr. Friedrich W. Hesse (Eberhard-Karls-Universität-Tübingen) dafür, daß er mich in seiner Funktion als Leiter der Abteilung für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie sowie als Direktor des Instituts für Wissensmedien (IWM) in Tübingen stets unterstützt und gefördert hat. Gerade in dem von Herrn Professor Hesse geleiteten Diplomanden- und Doktorandenkolloquium haben mir alle an dieser Veranstaltung beteiligten Kolleginnen und Kollegen

in intensiven Diskussionen eine Vielzahl konstruktiver Verbesserungsvorschläge und wichtiger Impulse für meine Arbeit gegeben.

Am konkreten Gelingen dieser Arbeit waren dann Frau cand. psych. Melanie Gantner und Herr cand. psych. Jan Hirn beteiligt, die als wissenschaftliche Hilfskräfte in der Abteilung für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie beschäftigt waren. Sie haben mich insbesondere in der Versuchsdurchführung und Datenaufbereitung tatkräftig unterstützt. Beiden danke ich für ihre jederzeit wertvolle Unterstützung und die sehr erfolgreiche Zusammenarbeit.

Für umfangreiche Anmerkungen, Korrekturen und Verbesserungsvorschläge zur vorliegenden Arbeit danke ich Frau Dipl. Psych. Karen Krüger (Abteilung Mensch-Maschine-Interaktion der DaimlerChrysler-Forschung in Stuttgart) und Frau Stefanie Panke, M.A. (Institut für Wissensmedien, Tübingen) sehr herzlich. Darüberhinaus gaben mir die Anregungen meiner Verwandten, Frau Bärbel Heers, Frau Marianne Rosenkötter und Herr Franz-Wilhelm Heers, wertvolle Rückmeldungen zur allgemeinen Verständlichkeit der Arbeit. Ich bin den meisten der vielfältigen Anregungen und Vorschläge gerne gefolgt.

Über die genannten Personen hinaus danke ich allen wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie und des Instituts für Wissensmedien, Tübingen, für die jederzeit sehr kollegiale Zusammenarbeit. Ganz allgemein danke ich allen Verwandten, Freunden und Freundinnen, Bekannten sowie Kolleginnen und Kollegen, die mich in dieser Zeit unterstützt haben.

Wenngleich somit viele Personen durch Kritik, Anregungen und Verbesserungsvorschläge oder auf andere Art und Weise wichtige Beiträge zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben, so liegt die Verantwortung für die Arbeit insgesamt wie auch für möglicherweise unkorrekte Darstellungen einzig und allein bei mir.

Stuttgart, im März 2005

Rainer Heers

Inhaltsverzeichnis

<i>Einleitung</i>	<i>1</i>
<i>1 Virtuelle Umgebungen – Definition und Anwendung</i>	<i>8</i>
1.1 Definition einer virtuellen Umgebung	8
1.2 Technische Basis virtueller Umgebungen.....	12
1.3 Anwendungsbeispiele virtueller Umgebungen	14
<i>2 Virtuelle Umgebungen als Wissensmedien</i>	<i>17</i>
2.1 Mediale Charakteristika virtueller Umgebungen	17
2.2 Gestaltung von Lerninhalten in virtuellen Umgebungen	20
2.3 Exploration von Lerninhalten in virtuellen Umgebungen.....	23
2.4 Anwendungsbeispiele für virtuelle Umgebungen als Wissensmedien	25
2.5 Ergebnisse zum Wissenserwerb im Medium „virtuelle Umgebung“	29
2.6 Lerntheoretische Einordnung virtueller Umgebungen.....	37
2.7 Fazit zu virtuellen Umgebungen als Wissensmedien.....	41
<i>3 Immersion und Präsenz</i>	<i>43</i>
3.1 Immersion	44
3.2 Präsenz	49
3.3 Zusammenhang zwischen Immersion und Präsenz.....	60
3.4 Präsenz und das Konzept des „flow“	61
3.5 Präsenz und Wissenserwerb.....	65
3.6 Messung der Präsenz.....	70
3.7 Fazit zu Immersion und Präsenz	75
<i>4 Kognitive Lerntheorien</i>	<i>77</i>
4.1 Kognitive Prozesse in virtuellen Umgebungen.....	78
4.2 Mentaler Aufwand	79
4.3 Cognitive-Load Theorie	87
4.4 Fazit zu kognitiven Lernprozessen in virtuellen Umgebungen.....	94
<i>5 Hypothesen zu Einflüssen auf den Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen</i>	<i>99</i>
5.1 Erwartete Wirkungen der Immersion.....	101
5.2 Erwartete Wirkungen der Präsenz.....	103
5.3 Erwartete Wirkungen des mentalen Aufwands.....	104
5.4 Erwartungen zu Zusammenhängen zwischen den Variablen.....	106
5.5 Zusammenfassung der Hypothesen.....	108

6	<i>Planung und Durchführung der Untersuchungen.....</i>	<i>111</i>
6.1	Auswahl der virtuellen Umgebung.....	111
6.2	Beschreibung der Versuchsumgebungen.....	114
6.3	Räumlichkeiten, Hard- und Software	122
6.4	Meßverfahren und Meßinstrumente	123
6.5	Versuchsablauf	129
7	<i>Studie 1: Immersion, Präsenz und mentaler Aufwand.....</i>	<i>131</i>
7.1	Untersuchungsdesign.....	131
7.2	Methoden	133
7.3	Ergebnisse zur Immersion und zur Elaborationsinstruktion.....	136
7.4	Ergebnisse zum Präsenzerleben und zum investierten mentalen Aufwand	150
7.5	Fazit zu Studie 1	159
8	<i>Studie 2: Immersion, Präsenz und Wissenserwerb.....</i>	<i>168</i>
8.1	Untersuchungsdesign.....	168
8.2	Exkurs: Reliabilitätsprüfung zum Fragebogen zur Präsenzbereitschaft.....	174
8.3	Methoden	179
8.4	Ergebnisse zur Immersion	182
8.5	Ergebnisse zur Präsenz	196
8.6	Fazit zu Studie 2	202
9	<i>Diskussion und Ausblick: Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen</i>	<i>208</i>
	
10	<i>Literatur</i>	<i>218</i>
11	<i>Anhang.....</i>	<i>229</i>

Einleitung

Die Relevanz der „Neuen Medien“ für den Wissenserwerb wird bereits seit langer Zeit in der kognitiven Pädagogischen Psychologie und Medienpsychologie diskutiert. Grundsätzlich besteht zudem in der öffentlichen Debatte der letzten Jahre kein Zweifel darüber, daß der Einsatz der „Neuen Medien“ in Aus- und Weiterbildung verstärkt zu fördern ist (vgl. BLK, 2000). Nicht zuletzt deswegen entstehen öffentliche Forschungsprogramme (beispielsweise das Programm „Neue Medien in der Bildung“, das von 2000 bis 2004 mit rund 200 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde; vgl. BmBF, 2000).

Die öffentliche Diskussion zu virtuellen Lernumgebungen folgt allerdings einem Muster, das bereits mit der Einführung von Radio, Fernsehen, Video, Computern und Computerspielen einherging. In dieser Diskussion sind oftmals zwei kontroverse Standpunkte auszumachen. Die eine Seite stellt die technischen Möglichkeiten des jeweiligen Mediums in den Vordergrund und ergeht sich in phantasievollen Spekulationen über die beinahe unbegrenzten Möglichkeiten, die sich mit gerade diesem Medium ergeben sollen. Die andere Seite hingegen widerspricht und verweist auf die Gefahren des Mediums (zum Beispiel auf passive Rezeption und Konsumverhalten) sowie auf die unklare Befundlage, inwieweit das jeweilige Medium das Lernen wirklich unterstützt.

Mit den Schlagworten „Cyberspace“ oder „virtuelle Umgebung“ werden in der öffentlichen Diskussion einige der aktuellen technischen Entwicklungen der letzten 10 bis 20 Jahre bezeichnet und nicht selten undifferenziert dargestellt: In vielen Fällen werden damit das Internet oder multimediale Lernumgebungen, aber auch Computerspiele, verstanden. Hingegen bezieht sich die öffentliche Diskussion bislang eher selten auf die Art von Umgebungen, die in dieser Arbeit als „virtuelle Umgebungen“ bezeichnet werden (vgl. dazu die Kapitel 1.1 und 1.2). Ohne der vertiefenden Darstellung vorzugreifen, sei gesagt, daß unter virtuellen Umgebungen im folgenden dreidimensional gestaltete und interaktiv nutzbare, computerbasierte Umgebungen verstanden werden. Die Grundzüge der skizzierten bildungspolitischen Diskussionen sind ebenfalls für virtuelle Umgebungen festzustellen. Zum Beispiel ergehen sich eher journalistisch orientierte Autoren wie Rheingold (1991), aber auch wissenschaftlich orientierte Autoren

wie im Sammelband von Benedikt (1991), bereits zu Frühzeiten der technischen Entwicklung „virtueller Umgebungen“ in Spekulationen über deren revolutionäre und eher positive Wirkungen auf die Lebenswelten. Die Gegenposition zeigt bislang sich eher indirekt durch Schlagworte wie „lost in cyberspace“ (Gibson, 1984). Kinofilme wie die Matrix-Reihe (Regie: Wachowsky Brothers, Teil 1 „Matrix“, 2001; Teil 2 „Matrix - Reloaded“, 2002 sowie Teil 3 „Matrix - Revolutions“, 2003) oder Artificial Intelligence (Regie: Steven Spielberg, 2001) beschreiben jedoch auch die möglichen Gefahren einer „Virtualisierung der Lebenswelt“. Was ist es nun, das „virtuelle Umgebungen“ so besonders erscheinen lässt? Benedikt (1991) beschreibt eine virtuelle Welt, in der Menschen tagtäglich arbeiten. In Anlehnung an die Darstellung von Benedikt (1991) könnte das Lernen in virtuellen Umgebungen beispielsweise ungefähr so ablaufen:

Martin studiert Physik im 1. Semester. Zur Pflichtvorlesung „Mechanik“ wird eine Übung angeboten. Früher wurde diese in wöchentlichen Präsenzveranstaltungen abgehalten. Seit zwei Jahren jedoch wird außer der Einführungs- und der Abschlussveranstaltung beinahe ausschließlich im virtuellen Seminar gearbeitet: Sowohl die Besprechungen mit dem Tutor als auch die Gruppenarbeiten finden in virtuellen Räumen statt. In verschiedenen virtuellen Laboren stehen Arbeitsplätze bereit, an denen die Studenten Experimente durchführen können.

Also setzt Martin heute morgen in seinem Zimmer seinen Datenhelm auf, meldet sich an seinem Rechner an und geht ins Labor Newton, in dem in einem virtuellen Experiment die Newtonsche Gravitationskonstante nachgewiesen und gemessen werden kann. Das heißt, er geht nicht wirklich dorthin. Vielmehr meldet er sich an seinem Rechner an, setzt seinen Datenhelm auf und geht in der virtuellen Umgebung mit seinem „Avatar“ in das Labor. In einer Gebäudeübersicht kann er sehen, welche Mitstudenten und welche Tutoren ebenfalls in den Laboren tätig sind. Im Labor Newton findet er zwei Mitstudenten vor, die an demselben Experiment arbeiten möchten. Er bespricht sich kurz mit ihnen und sie beschließen, das Experiment gemeinsam durchzuführen. Sie suchen die notwendigen Materialien und Messinstrumente aus und bauen den Versuch auf. Be-

vor sie mit den Messungen beginnen, sprechen sie einen Tutor an. Dieser prüft ihren Versuchsaufbau auf Exaktheit und kontrolliert ihn auf mögliche Fehler. Anschließend führen sie ihre Messungen durch und speichern ihre Daten. Die Auswertung und die Berechnungen muss jeder Student individuell vornehmen.

Ihre Ergebnisse können sie zwischendurch speichern, aber auch sofort auswerten und jederzeit protokollieren. Die Ergebnisse senden sie an den Tutor, der auch ihren Experimentalaufbau abgenommen hat. Nachdem dieser die Arbeiten durchgesehen hat, trifft sich der Tutor mit Martin und den beiden anderen in einem virtuellen Besprechungsraum. Auf einer virtuellen Tafel gehen sie noch einmal gemeinsam die Messungen und die Berechnungen durch. Bei diesem Experiment ging alles gut und der Tutor ist sehr zufrieden. Die Studenten beschließen, auch das nächste Experiment gemeinsam durchzuführen. Sie verabreden, sich am übernächsten Tag im virtuellen Labor Einstein zu treffen. Dort wollen sie die Lichtgeschwindigkeit messen und berechnen.

Martin meldet sich nun ersteinmal wieder von seinem Rechner ab und legt den Datenhelm beiseite. Er möchte eine Pause einlegen, um etwas zu essen. Dabei denkt Martin nocheinmal darüber nach, wie es früher war, als sein Vater studierte: Damals mussten die Studenten zu festgesetzten Zeiten im Universitätsgebäude sein, die Laborausrüstung musste zusammengesucht und real aufgebaut werden und auch die Tutoren waren vor Ort. Heute jedoch saß er zu Hause an seinem Schreibtisch, konnte experimentieren und studieren, wie und wann er wollte. Die Ausstattung der virtuellen Labore erlaubte sogar die sonst nicht möglichen, sehr aufwendigen und gefährlichen Experimente. Bereits in der Schule hatten sie in virtuellen Umgebungen gelernt. Er denkt nocheinmal daran, welche Probleme er früher hatte, die Atommodelle zu verstehen. Erst in der virtuellen Umgebung, als sie die Modelle dreidimensional vor sich sahen und mit den Elektronen, Protonen und Neutronen hantieren konnten, hatte er es kapiert. Sein Vater hatte ihm letztens

seine alten Lehrbücher gezeigt. „Mit den Büchern hätte ich es sicher nie kapiert“, denkt Martin, „ich brauche eine anschauliche dreidimensionale Darstellung dieser Objekte. Und ich möchte sie selber bewegen können, um die Zusammenhänge zu verstehen“.

Soweit die Ideen und Phantasien. Ob und in welcher Form sie Wirklichkeit werden, lässt sich heute noch nicht sagen. In der öffentlichen Diskussion ist auf jeden Fall die konkrete Nutzung und Bewährung virtueller Umgebungen in Alltagskontexten bislang eher selten betrachtet worden. Gerade dies ist jedoch auf Dauer entscheidend für die Weiterentwicklung und die praktische Relevanz eines Mediums. So sollten gerade technisch anspruchsvolle Entwicklungen einen konkreten Anwendungsnutzen zeigen können, der sich in den hier zu diskutierenden Fällen nicht in der Unterhaltung (wie Fernsehen oder Computerspiele), sondern in einer Funktion als Lernmedium beweisen und bewähren muss. Um diesen konkreten Anwendungsnutzen nachweisen zu können, müssen empirische Untersuchungen zum Ziel haben, die spezifischen Determinanten der behaupteten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen aufzuzeigen. Hierbei werden insbesondere die lernpsychologisch relevanten Gestaltungsmerkmale virtueller Umgebungen zu identifizieren sein.

Als Ergebnis empirischer Forschungsarbeiten steht zu vermuten, daß das Medium „virtuelle Umgebung“ einiges an seiner spekulativen Allmacht verlieren wird. Dies wirkt einigen der angesprochenen Befürchtungen entgegen und hilft, Vorurteile abzubauen. Auf Dauer werden diese Arbeiten dazu führen, die spezifischen Erfolgsfaktoren und Gestaltungsprinzipien für den Einsatz virtueller Umgebungen in verschiedenen Zusammenhängen sichtbar zu machen. Neben einer Versachlichung der oftmals emotionalisierten Diskussion können somit empirische Ergebnisse einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die zunächst primär technischen Entwicklungen den Erfordernissen des praktischen Einsatzes anzupassen. Darüber hinaus sind grundlagen- und anwendungsrelevante und dabei stets genuin kognitionspsychologische Ergebnisse möglich, die wichtige Impulse gerade dieser praxisnahen Gesichtspunkte für die kognitionspsychologische Theoriebildung geben können.

Bevor auf die spezifischen Aspekte des Lernens und Wissenserwerbs in virtuellen Umgebungen eingegangen wird, erfolgt zunächst im *ersten Kapitel* eine genauere Fassung des Begriffs „virtuelle Umgebung“, da gerade der Bestandteil „virtuell“ in sehr unterschiedlichen vielfältigen Zusammenhängen gebraucht wird. Deswegen wird zunächst auf die definitorischen Bestandteile einer „virtuellen Umgebung“ eingegangen, wobei deren „Virtualität“ in diesem Zusammenhang letztlich auf die entscheidenden Unterschiede zur realen Umgebung verweist. Besondere Berücksichtigung finden neben den definitorischen Bestandteilen einer virtuellen Umgebung deren Gestaltungsaspekte, die möglichen und bereits vorhandenen Anwendungsfelder sowie die technologische Basis dieser Umgebungen.

Im *zweiten Kapitel* werden Bedeutung und Anwendung virtueller Umgebungen als Wissensmedien genauer ausgeführt. Hierbei ist zu berücksichtigen, in welchen Bereichen virtuelle Umgebungen bislang eingesetzt und zu welchen Zwecken sie erstellt wurden. Dagegen erschließt sich ein tieferes Verständnis virtueller Umgebungen als Wissensmedien den Möglichkeiten, die aus der Darstellung von Lerninhalten in diesen Umgebungen resultieren. Gegenüber den traditionellen Medien, wie Büchern, Fernsehen oder Video, aber auch multimedialen Lernmaterialien zeichnen sich virtuelle Umgebungen durch spezifische mediale Charakteristika aus, die es ermöglichen, diese Umgebungen nicht nur als Wissensmedien zu charakterisieren, sondern auch die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu anderen Medien hervorzuheben.

Das Hauptanliegen dieser Arbeit ist, die Besonderheiten virtueller Umgebungen als Wissensmedien aufzugreifen und zu prüfen, in welcher Weise diese zu einer Optimierung von Lernprozessen beitragen können. Ein Ansatzpunkt wird sein, daß viele Teilnehmer von ihrem Erleben in technisch aufwendigen und dreidimensional gestalteten Umgebungen folgendermaßen berichten: Sie hätten sich mental in die virtuelle Umgebung hineinversetzt – sie fühlten sich darin „präsent“¹. Dieses Phänomen, das Erleben von „Präsenz“, ist das zentrale psychologische Phänomen, das im Umgang mit virtuellen Umgebungen beschrieben und identifiziert wurde (vgl. Held & Durlach, 1992; Minsky, 1980; Schwan & Buder, 2002). Al-

¹ Ebenso wie der Begriff der „virtuellen Umgebung“ wird der Begriff der „Präsenz“ zunächst nicht explizit erläutert, die Definition und Erläuterung dieses Konzeptes erfolgt in Kapitel 3.

lerdings ist gerade dieses Phänomen „Präsenz“ in seinen Auswirkungen auf kognitive Prozesse bislang nur in Ansätzen erforscht, und die postulierte Lernförderlichkeit ist eher behauptet als belegt worden. Dieses Phänomen wird deswegen im *dritten Kapitel* anhand der bereits in der Literatur vorhandenen Beschreibungen diskutiert und definiert.

Um die kognitiven Prozesse des Wissenserwerbs in virtuellen Umgebungen genauer zu beschreiben, werden im *vierten Kapitel* Theorien und Konzepte aus verschiedenen medienpsychologischen und pädagogisch-psychologischen Forschungstraditionen hinzugezogen. Die relevanten Konzepte und empirischen Ergebnisse werden dabei selektiv für den Anwendungsfall der virtuellen Umgebung diskutiert. Eine eigenständige kognitive Theorie zu Lernen und Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen konnte bislang weder formuliert noch umfassend geprüft werden, da die technologische Komplexität und der damit verbundene Aufwand in der Erstellung von virtuellen Umgebungen bislang deren psychologische Erforschung stark eingeschränkt hat. Aus diesem Grund wird auf Forschungsergebnisse rekurriert, die im Kontext des Lernens mit Fernsehen und Video (v.a. das Konzept des mentalen Aufwands, mental effort) oder im Lernen mit multimedialen Formaten (v.a. das Konzept der kognitiven Belastung, cognitive load) entwickelt wurden.

Das *fünfte Kapitel* beinhaltet die empirisch zu prüfenden Hypothesen, die zur Wirkung der Faktoren begründet werden konnten, die am Wissenserwerbsprozess in virtuellen Umgebungen entscheidend beteiligt sein sollen.

Im *sechsten Kapitel* werden die Kriterien für die Auswahl der eingesetzten Versuchsumgebungen erläutert. Die Versuchsumgebungen stellen eine spezielle Form einer virtuellen Umgebung dar, deren Vor- und Nachteile diskutiert werden. Die allgemeinen Rahmenbedingungen der Untersuchungen, das konkrete Vorgehen zur Datenerhebung und die Beschreibung der verwendeten Messverfahren schließen sich an und leiten zum Ablaufschema der beiden Untersuchungen über.

Die Umsetzung der theoretischen Überlegungen mündete in eine erste Studie, die im *siebten Kapitel* vorgestellt wird. Als Untersuchungsmaterial wurde die virtuelle Umgebung „Physikus“ ausgewählt. Das Ziel dieser ersten Studie ist es, die Wirkung der Faktoren Immersion und Präsenz auf

den Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen einzuordnen. Der Faktor mentaler Aufwand (mental effort) wird eingesetzt, um die Wirkung der Faktoren Immersion und Präsenz daran zu messen und um die Effektivität eines instruktionalen Faktors damit zu vergleichen. Damit soll es möglich sein, eine zentrale Frage zur möglichen Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen zu beantworten: In welchem Umfang wirken sich Eigenschaften des Mediums oder das persönliche Erleben des Lernalers oder effektive instruktionale Methoden auf den Wissenserwerb aus?

Aufbauend auf den Ergebnissen von Studie 1 behandelt das *achte Kapitel* die zweite Studie. Die Durchführung erfolgte weitgehend analog der ersten Studie. Als Untersuchungsmaterial für Studie 2 wurde die virtuelle Umgebung „Chemicus“ ausgewählt. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Studie 1 sollte in Studie 2 versucht werden, präziser und vertiefend zu beantworten, inwieweit es gerade die Eigenschaften des Mediums oder das persönliche Erleben des Lernalers sind, die sich auf den Wissenserwerb auswirken.

Die Ergebnisse aus den beiden Untersuchungen, Studie 1 und Studie 2, werden mit den zuvor geleisteten theoretischen Analysen im *neunten Kapitel* abschließend behandelt und in einem Ausblick zusammengefasst.

1 Virtuelle Umgebungen – Definition und Anwendung

Virtuelle Umgebungen haben in den letzten Jahren eine rapide Verbreitung als Systeme der Informationsvermittlung bei Lernaktivitäten erfahren. Andere Systeme, wie Multimedia und Hypermedia, werden bereits seit längerem intensiv und mit Erfolg nicht nur im industriellen, sondern auch im öffentlichen Bildungswesen genutzt. Ursprünglich wurden virtuelle Umgebungen vor allem im industriellen und im militärischen Bereich intensiv genutzt (z.B. als Fahr simulatoren oder Flugsimulatoren).

Während bis vor einigen Jahren bei einigen Vorläufern der heute vorhandenen computerbasierten Systeme von Simulationen gesprochen wurde, hat sich inzwischen für diese Umgebungen die Bezeichnung „virtuelle Umgebung“ oder „virtuelle Realität“ durchgesetzt (Biocca, Kim & Levy, 1995). Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, daß der Begriff „Simulation“ bereits in vielfältigen Kontexten benutzt wird: zum Beispiel werden in der Zeitschrift „Simulation and Gaming“ unter anderem Katastrophenschutz- oder Feuerwehrrübungen als Simulation bezeichnet.

Seit langem dienen virtuelle Umgebungen auch als Basis für Phantasien (siehe zum Beispiel bei Benedikt, 1991, oder Rheingold, 1991). Demnach kämen virtuelle Umgebungen den Träumen vieler Science-Fiction Autoren nahe: In und mit virtuellen Umgebungen könnte für den Benutzer jeder beliebige Zustand und jede beliebige Umwelt mit eigenen Gesetzmäßigkeiten erzeugt werden, die weit über alles hinausgehen, was in der realen Welt möglich wäre. So könnten beispielsweise Naturgesetze außer Kraft gesetzt werden, oder die Umgebung könnte beliebig an Epochen angepasst werden (ein beliebtes Beispiel ist das sogenannte „Holodeck“ aus der Kino- und TV-Serie „Star Trek – The Next Generation“). Soweit die Phantasien – die Realität jedoch setzt der „virtuellen Realität“ Grenzen. Diese einleitenden Bemerkungen deuten bereits darauf hin, daß zunächst genauer darauf einzugehen sein wird, was in dieser Arbeit als „virtuelle Umgebung“ bezeichnet wird.

1.1 Definition einer virtuellen Umgebung

Eine „virtuelle Umgebung“ ist zunächst eine computerbasierte dreidimensional gestaltete und interaktiv nutzbare Umgebung, die ein senso-

risch reichhaltiges und realitätsnahes Erleben vermittelt. Bereits aus dieser ersten Beschreibung werden zwei wichtige Anteile in der Definition virtueller Umgebungen deutlich: Erstens die technischen Systeme, die die virtuelle Umgebung erzeugen, und zweitens das psychische Erleben der Umgebung durch den Benutzer (McLellan, 1996).

Aus technischer Sicht umfasst die Definition einer virtuellen Umgebung nach Blade und Padgett (2002) einen „three-dimensional data set, describing an environment based on real-world or abstract objects and data“ (Blade & Padgett, 2002: S.26). Nach dieser Definition sind virtuelle Umgebungen zunächst eine Klasse von computergenerierter Technik, die eine dreidimensional gestaltete Umgebung erzeugt und in der Objekte erzeugt werden, die der Realität nachempfunden sind. Implizit enthalten ist in dieser Basisdefinition, daß eine multimodale (zum Beispiel visuell-haptische) und hochgradig intuitive Interaktion mit eben diesen dreidimensionalen Objekten beabsichtigt ist.

Nach einer erlebnisbezogenen Definition hingegen ist eine virtuelle Umgebung eine computergenerierte Umgebung, in die sich der Benutzer hineinversetzt fühlt: *der Nutzer ist innerhalb der virtuellen Umgebung „präsent“* (Heeter, 1992; McLellan, 1996). Das Konzept der „Präsenz“ nimmt deswegen eine zentrale Rolle für die Definition von virtuellen Umgebungen in Termen des psychischen Erlebens ein (vgl. auch Held & Durlach, 1992; Moreno & Mayer, 2002; Schwan & Buder, 2002).

Andere computerbasierte Systeme, die als Multimedia und Hypermedia bzw. Hypertext bekannt sind, stellen von einer „virtuellen Umgebung“ zu unterscheidende Szenarien dar (vgl. Schulmeister, 2002). *Hypertexte* sind Textseiten, die durch Querverweise in einer netzwerkartigen Struktur organisiert sind. Den Prototyp eines Hypertextes stellt das *World Wide Web* dar, das durch sein Datentransfer-Protokoll (http=„HyperText-Transfer-Protokoll“) als Netzwerk strukturiert ist. Insbesondere, wenn in größerem Umfang Animationen oder Bilder in solche Netzwerke integriert sind, ist es wichtig, diese Systeme weiter zu differenzieren. Unter *Multimedia* wird das Zusammenfügen von Audio, Bildern, Animationen etc. in einer Darstellungsform verstanden. *Hypermedia* hingegen sind Kombinationen von Hypertext und Multimedia, so daß Informationen aus Textseiten und anderen Darstellungsformen zusammengesetzt sind. Hypermedia

zeichnen sich damit durch eine Integration verschiedener Darstellungsformen und eine netzwerkartige Struktur der Wissensinhalte sowie durch ein hohes Ausmaß an Interaktivität und Lernerkontrolle aus. Multimedia und Hypermedia sind demnach zweidimensional und virtuelle Umgebungen dreidimensional gestaltet.

Computersimulationen stellen wiederum ein eigenes Genre dar. Eine Computersimulation kann nach de Jong und van Joolingen (1998) folgendermaßen definiert werden: “A computer simulation is a program, that contains a model of a system (natural or artificial; e.g., equipment) or a process.” Die instruktionale Anwendung von Computersimulationen ist nach de Jong (1991) durch vier Charakteristika gekennzeichnet:

1. das Vorhandensein eines formalisierten manipulierbaren Modells;
2. das Vorhandensein eines Lernzieles (z.B. Erwerb von deklarativem oder prozeduralem Wissen);
3. die Auslösung eines spezifischen Lernprozesses (z.B. Hypothesengenerierung oder Testung) sowie
4. das Vorhandensein einer Aktivität der Lernenden (die Lernenden sollen Manipulationen des Modells ausführen).

Der wichtigste Grund für den Einsatz von Simulationen ist dabei die Möglichkeit der aktiven Exploration und des aktiven Lernens in der Umgebung (de Jong, 1991). Für Lernzwecke wurden beispielsweise multimediale Simulationen zu statistischen Verfahren entwickelt (Veenman & Elshout, 1995). So wurden die statistischen Konzepte der Varianz oder der Standardabweichung mit Hilfe von graphischen Elementen und abstrakten Zahleninformationen dargestellt. Die Lerner konnten Veränderungen an den zugrunde liegenden Daten in ihrer Auswirkung direkt beobachten. Ein weiteres Beispiel ist das multimediale optische Laboratorium von Veenman, Prins und Elshout (2002), das den Lernern eine Simulation der optischen Strahlen- und Brechungsgesetze bietet. Durch das Verschieben von Lichtquellen und Linsen sowie des Einsatzes unterschiedlicher Linsen können die optischen Vorgänge der Brechung und des Brennpunktes sowie die bildliche Darstellung von Objekten untersucht werden.

Ein nahe liegender Unterschied zwischen virtuellen Umgebungen und Computersimulationen ist, daß eine virtuelle Umgebung dreidimensional gestaltet ist. Eine Computersimulation hingegen erfüllt in den meisten Fällen eher die Merkmale von Multimedia oder Hypermedia. Der wesentliche Unterschied zwischen einer computerbasierten Simulation und einer virtuellen Umgebung besteht allerdings nach Winn (1993) im Prinzip der Verdinglichung (*reification*). Denn in Simulationen werden reale Gegebenheiten abgebildet, um sie sicher untersuchen zu können. In virtuellen Umgebungen hingegen können wahrnehmbare Repräsentationen für Dinge erschaffen werden, die ansonsten keine physikalische Form besitzen. Damit entsteht ein Erleben in der ersten Person: das Verhalten von Mikroorganismen oder physikalische Beziehungen können unmittelbar erfahren werden. Deswegen würde nach Ansicht von Winn (1993) die Nutzung einer virtuellen Umgebung als computerbasierte Simulation deren entscheidende Vorteile ungenutzt lassen und besser als klassische Simulation erstellt werden.

Trotz aller Unterschiede ist den computerbasierten Lernumgebungen und den virtuellen Umgebungen gemeinsam, daß sie eine aktive Konstruktion und Nutzung eigener Lernpfade ermöglichen. Der Lernprozess ist deutlich weniger linear vorgegeben als in traditionellen Materialien (zum Beispiel in Büchern, Filmen oder Videos). Dabei werden zur Unterstützung des Aneignungsprozesses wie der Interaktion allgemein Metaphern verwendet, die das rein technische Geschehen in eine verständliche Form „übersetzen“ sollen.

Eine über das bereits genannte hinausgehende Definition einer virtuellen Umgebung muss diese vor allem gegenüber anderen computerbasierten Systemen und Lernumgebungen abgrenzen und deutlich auf das psychische Erleben der Umgebung hinweisen. Aus diesen Überlegungen heraus wird der anschließenden Diskussion folgende Definition einer virtuellen Umgebung zugrunde gelegt:

Eine virtuelle Umgebung ist eine dreidimensional-räumlich gestaltete und interaktiv nutzbare computerbasierte Umgebung, die bei dem Benutzer ein Erleben hervorruft, sich innerhalb dieses Szenarios „präsent“ zu empfinden.

Zu unterscheiden ist in dieser Definition zwischen den medienbezogenen Aspekten und dem Erleben der Benutzer der virtuellen Umgebung. Die medienspezifischen Besonderheiten und die technische Basis werden in diesem Kapitel vorgestellt und anhand von Anwendungsbeispielen erläutert. Das psychische Erleben hingegen wird erst in Kapitel 3 vertiefend erörtert, da es den psychologisch herauszuhebenden Aspekt virtueller Umgebungen darstellt und somit erst nach einer detaillierten Beschreibung des Wissensmediums „virtuelle Umgebung“ (vgl. Kapitel 2) einer theoretischen Analyse unterzogen werden soll.

1.2 Technische Basis virtueller Umgebungen

Die medialen Merkmale der Dreidimensionalität und der Interaktivität verweisen auf die technisch in sehr unterschiedlicher Form realisierte Basis virtueller Umgebungen. Die technische Basis reicht dabei von virtuellen Szenarien, die auf handelsüblichen Computern realisiert wurden (*stand-alone* oder mit Internetverbindung), bis hin zu Umgebungen, die durch ein *Head-Mounted-Display* (HMD) und einen Datenhandschuh (zum Beispiel DataGlove) oder ein Datenanzug vermittelt werden. Des weiteren zählen technisch wie räumlich sehr aufwendige Installationen wie zum Beispiel Stereoprojektionswände oder CAVEs dazu (Kalawsky, 1993, gibt eine Übersicht der damit verbundenen Technik). Diese Medien unterscheiden sich für den Betrachter bereits auf den ersten Blick im räumlich-dreidimensionalen Eindruck und den Möglichkeiten in der virtuellen Umgebung zu handeln. Zur Unterscheidung verschiedener virtueller Umgebungen ist neben der technischen Realisierung eine Unterteilung nach Ein- und Ausgabemedien sowie nach Anzahl und Art der angesprochenen sensorischen Modalitäten möglich.

Der dreidimensionale Eindruck bei *desktop-PCs* beschränkt sich primär auf die perspektivische Darstellung des Materials, so daß räumliche Objekte sowie deren Beziehungen untereinander dargestellt werden können (zum Beispiel für Gebäude, Freiflächen oder auch Ausstellungsobjekte). Der dreidimensionale Eindruck entsteht hierbei auf perzeptueller Basis durch eine monoskopische Raumwahrnehmung. Die Ausgabemedien sind in diesem Fall vor allem PC-Bildschirm und Lautsprecher. Als Eingabemedien können Tastatur und Maus oder auch ein Joystick dienen. Die ange-

sprochenen Sinnesmodalitäten sind zumindest der visuelle und meist der auditive Kanal.

Ein *Head-Mounted-Display (HMD)* besteht aus einem Datenhelm, in den eine doppelte Displayeinheit integriert ist. Für jedes Auge wird einzeln ein perspektivisch leicht gegeneinander versetztes Bild erzeugt, so daß die Raumwahrnehmung auf stereoskopischen Reizen basiert. Für das visuelle System des Benutzers entsteht eine dreidimensionale Darstellung der Objekte und Relationen, da die Trägheit des perzeptuellen Systems diese Überlagerungen nicht mehr auflösen kann. Dieses HMD kann durch einen Datenhandschuh oder einen Datenanzug ergänzt werden, die das Hantieren mit virtuellen Objekten und ein Verfolgen der Position der Körperteile ermöglichen. Als Ausgabemedien fungieren die in das HMD integrierten kleinen Bildschirme und Lautsprecher. Als Eingabemedien kommen meistens ein Datenhandschuh oder eine 3D-Maus zum Einsatz. Die angesprochenen Sinnesmodalitäten sind neben dem visuellen und auditiven auch der haptische Kanal.

Bei *Stereoprojektionswänden* erfolgt eine rückwärtige Projektion von Inhalten durch zwei Beamer auf eine großformatige Projektionswand. Die beiden Bilder sind dabei gegeneinander versetzt, unterschiedlich polarisiert und werden mit hoher Frequenz (ca. 100Hz) abwechselnd auf die Wand projiziert. Die Raumwahrnehmung entsteht, wenn die Betrachter einfache Polarisationsbrillen benutzen, um den Wechsel der stereoskopischen Reize wahrzunehmen. Dabei wird für ein Auge waagrecht polarisiertes Licht und für das andere Auge senkrecht polarisiertes Licht ausgefiltert (ähnlich den Polarisationsfiltern aus der Kamertechnik). Durch die damit erzeugte Überlagerung der Bilder entsteht im visuellen Cortex der dreidimensionale Raumeindruck. Bei der Stereoprojektionswand sind die Ausgabemedien neben die Bilder auf der Wand wiederum Lautsprecher. Als Eingabemedien können z.B. die eigenen Gliedmaßen dienen, deren Bewegung durch Kameras erfasst wird. Dies wird dann als Steuerung der Bildschirmdarstellung genutzt. Die angesprochenen Sinnesmodalitäten sind der visuelle und der auditive Kanal.

Die Bezeichnung *CAVE* steht für "CAVE Automatic Virtual Environment". Eine CAVE stellt eine vollkommen stereoskopische Bilderwelt durch den Einsatz von vier bis sechs rückseitigen Projektionswänden her.

Die Projektionen bilden dabei üblicherweise einen Raum von ca. 3x3m Größe². Ein Computer liefert perspektivisch gegeneinander versetzte Bilder für das linke und das rechte Auge, die eine stereoskopische Raumwahrnehmung ermöglichen. Die Betrachter benutzen sogenannte *Shutter-Brillen*, die jeweils mit hoher Frequenz das Glas für ein Auge verdunkeln. Im visuellen System des Menschen werden dadurch die Bilder überlagert und es entsteht der dreidimensionale Raumeindruck. Die Ausgabemedien der CAVE können aus den Projektionswänden und Lautsprechern bestehen. Als Eingabemedien können diverse Geräte dienen (z.B. ein Sitz mit Pedalerie und Lenkrad als Fahrsimulator). Neben dem visuellen und dem auditiven Kanal kann auch der haptische Kanal angesprochen werden.

1.3 Anwendungsbeispiele virtueller Umgebungen

Hinsichtlich des intendierten Anwendungsszenarios lassen sich zunächst *single-user* und *multi-user* Szenarien unterscheiden. So sind heute virtuelle Umgebungen zum Beispiel in der netzbasierten Kollaboration (als Erweiterung von bestehenden CSCW-Systemen³), aber auch im Nachbau historischer Bauwerke zu finden. Im Folgenden werden einige Beispiele für diese Arten virtueller Umgebungen aufgeführt.

Single-User-Szenarien: Im Projekt „Lebendiges virtuelles Museum online“ (LeMO) des Deutschen Historischen Museums Berlin wurde eine single-user Umgebung gestaltet⁴. In diesem Projekt wird die neuere Geschichte Deutschlands in virtuellen Räumen dargestellt und erlebbar. So kann beispielsweise im Raum „Das wilhelminische Deutschland“ (vgl. Abbildung 1) die Lebensweise der Bevölkerung anhand vielfältiger Exponate und der baulichen Gestaltung des Raumes eindrucksvoll erfahren werden. Der Raum „Erster Weltkrieg“ hingegen zeigt eindringlich, welche

² Detaillierte Informationen dazu finden sich zum Beispiel unter <http://cave.ncsa.uiuc.edu/about.html>. In Deutschland sind CAVEs unter anderem am Fraunhofer-Institut Arbeitswirtschaft und Organisation in Stuttgart oder am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung in Darmstadt vorhanden.

³ CSCW oder „*computer supported cooperative work*“ umfasst Systeme der computerunterstützten Gruppenarbeit. Hierunter werden vielfältige Softwareanwendungen verstanden, die es erlauben standortunabhängig zusammen zu arbeiten, Daten auszutauschen und zu verwalten (vgl. Schwabe, Streitz & Unland, 2001).

⁴ Weitere Informationen sind erhältlich unter „www.dhm.de/lemo“. Abbildung 1 und Abbildung 2 sind aus screenshots der website „www.dhm.de/lemo“ angefertigt worden.

Möglichkeiten jenseits einer realistischen Raumdarstellung für die mediale Ausgestaltung eines Themas bestehen (vgl. Abbildung 2): Der Raum ist ähnlich einer Gruft gestaltet, die von einer wehrhaften „Germania“ dominiert wird. In den einzelnen Nischen sind die vielfältigen Informationen zu den Ereignissen des Krieges in chronologischer Folge und in thematischen Komplexen abgelegt. In beiden Darstellungsvarianten wird gerade durch die computerbasierte Darstellung ein reichhaltiges Erleben der Ereignisse angeregt, das in einem realen Gebäude - zumindest im Falle des Raumes „Erster Weltkrieg“ - in dieser Form kaum hätte umgesetzt werden können.

Multi-User-Szenarien (und netzbasierte Kollaboration): Ausgehend von Unterhaltungszwecken bieten die per Internetverbindung zugänglichen Umgebungen der Firmen Activeworlds (www.activeworlds.com) oder Worlds (www.worlds.com) innovative Kommunikationsplattformen an (vgl. Abbildung 3)⁵. Die Kontakte zwischen den Benutzern können weltweit über eine normale Internetverbindung entstehen. Über Textchat und über Voicechat können die Benutzer miteinander kommunizieren. Die Umgebungen von Activeworlds oder Worlds können darüber hinaus auch als Plattformen für separate Netzwerke von Projektmitarbeitern in einzelnen Unternehmen oder firmenübergreifend genutzt werden. Insofern sind diese Umgebungen als *multi-user*-Umgebung einzuordnen. Die jeweiligen Lerninhalte können dabei individuell und kontextabhängig gestaltet werden.

Aus den genannten medialen Charakteristika von und Beispielen zu virtuellen Umgebungen wird ersichtlich, daß diese technisch aufwendige und gestalterisch anspruchsvolle Lernumgebungen darstellen. Eine Erweiterung des Blickwinkels bietet sich durch die Betrachtung virtueller Umgebungen als Wissensmedien an, die in Kapitel 2 vorgenommen wird. Durch die Beschreibung virtueller Umgebungen als Wissensmedien wird es über die medialen Charakteristika und Anwendungsbeispiele hinaus möglich, deren Besonderheiten für Lernzwecke zu erfassen.

⁵ Abbildung 3 ist aus einem screenshot der website „www.activeworlds.com“ angefertigt worden.

Abbildung 1: LeMO-Ausstellungsraum „Das Wilhelminische Deutschland“.



Abbildung 2: LeMO-Ausstellungsraum „Erster Weltkrieg“.

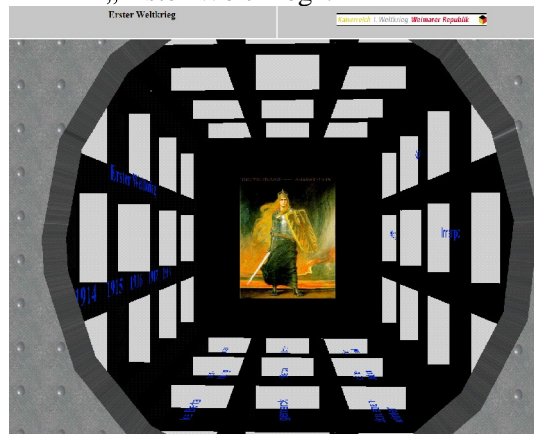


Abbildung 3: Das Educational Universe von Activeworlds (AWEDU), inklusive Textchat (unten) und Hilfe für Neuankommende (rechts).



2 *Virtuelle Umgebungen als Wissensmedien*

Ziel und Gegenstand dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, in welcher Weise virtuelle Umgebungen zur Förderung des Lernens geeignet sind. Deswegen werden zunächst jene Aspekte genauer betrachtet, die dazu führen, daß virtuelle Umgebungen als Wissensmedien bezeichnet werden können. Darüberhinaus geht es darum, Gestaltungsaspekte zu identifizieren, die zur Unterstützung der Lernprozesse in virtuellen Umgebungen beitragen können.

2.1 Mediale Charakteristika virtueller Umgebungen

Beabsichtigt ist, den Lernern mit einer virtuellen Umgebung eine realitätsnah gestaltete Umgebung zur Verfügung zu stellen. Allerdings kann die hieraus resultierende hohe Komplexität der Umgebung auch Probleme der Orientierung und Navigation mit sich bringen (Ruddle, Howes, Payne & Jones, 2000; Ruddle, Payne & Jones, 1997, 1999). Durch die Verwendung geeigneter Metaphern in der Gestaltung kann diesen Problemen vorgebeugt werden (Schwan und Buder, 2002). So kann zum Beispiel eine Gebäude-Metapher genutzt werden, um „reale“ Gebäude in virtueller Form zu durchwandern und zu erforschen. Auf einem virtuellen Campus würden zum Beispiel verschiedene Gebäude sichtbar und begehbar sein (zum Beispiel Verwaltung, Institute, Bibliotheken), in denen die entsprechenden Dienstleistungen abrufbar wären. Dieses Prinzip der räumlichen Situierung ermöglicht die Repräsentation der virtuellen Umgebung entsprechend den bekannten Prinzipien realer Räume und trägt damit zur kognitiven Entlastung der Lerner bei (Schwan und Buder, 2002). Eine ähnliche Metapher wurde im Anwendungsbeispiel des Educational Universe von Activeworlds verwendet (vgl. Abbildung 3).

Zur Gestaltung virtueller Umgebungen als Wissensmedien wird die dreidimensional-räumliche Situierung von Wissensinhalten und die interaktive Nutzbarkeit der Wissens Elemente gegenüber anderen Medien hervorgehoben (Schwan & Buder, 2002). Diese zwei Merkmale können jeweils in unterschiedlichem Maße realisiert sein (vgl. McLellan, 1996, 1998; Schwan & Buder, 2002; Wickens & Baker, 1995), so daß diese medialen Merkmale auch zu einer ersten (wenn auch recht groben) Einteilung virtu-

eller Umgebungen als Wissensmedien und zur Unterscheidung gegenüber anderen Medien genutzt werden können.

2.1.1 Dreidimensionalität der virtuellen Umgebung

Die dreidimensionale Organisation der virtuellen Umgebung sollte von besonderem Vorteil bei Lerninhalten sein, die in sich eine dreidimensionale Struktur aufweisen (zum Beispiel chemische Moleküle oder andere geometrische Anordnungen). Die dreidimensionale Darstellung sollte vor allem für Lerngegenstände von Vorteil sein, die nach dem Prinzip der Verdinglichung (Winn, 1993) als wahrnehmbare Repräsentationen für ansonsten nicht physisch vorhandene Formen erstellt werden. Die Schlüsselrolle der Repräsentationsformate der Lerninhalte zur Integration der Wissensinhalte wird durch die Ergebnisse der Untersuchungen von Mayer und Moreno (1998) und Moreno und Mayer (1999) belegt. So konnten Mayer und Moreno (1998) und Moreno und Mayer (1999) zeigen, daß Worte von Lernern tiefer verarbeitet wurden, wenn sie vorgelesen wurden, als wenn sie als Text auf einen Computerbildschirm dargeboten wurden (Modalitätseffekt). Der Prozess der Integration von Wissensinhalten kann beispielsweise auch durch abstrakte oder konkrete Zusatzinformationen in der virtuellen Umgebung unterstützt werden, um die verfügbaren visuellen und auditorischen Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses optimal zu nutzen (Bowman, Hodges, Allison & Wineman, 1999). Durch die dreidimensionalen Darstellungsmöglichkeiten kann dabei unter anderem eine besonders realitätsnahe und anschauliche Darstellung von Lerninhalten erzielt werden (Schwan & Buder, 2002). Weiterhin können ansonsten nicht unmittelbar erfahrbare Sachverhalte wahrnehmbar gemacht werden, zum Beispiel indem Lerninhalte "größenskaliert" werden. Dadurch wird es Lernern ermöglicht, Phänomene zu betrachten, die sie sonst nicht realitätsgetreu erfahren könnten. Insofern sollten gerade unanschauliche und abstrakte Zusammenhänge besser und tiefer verarbeitet werden, als es mit traditionellen Lernumgebungen und -materialien möglich ist. Insbesondere bei dreidimensionalen Lerninhalten können eine geeignete anschauliche Darstellung und eine adäquate Integration abstrakter Lerninhalte (z.B. physikalischer Formeln) durch geeignete Repräsentationsformate zum Lernerfolg beitragen. Gerade die perceptuell orientierte, quasi direkt erfahrbare Organisation von Lernmaterialien stellt einen wichtigen Faktor dar, um die spontanen Interpretationen

und das Verständnis der Betrachter zu beeinflussen (vgl. Shah, Mayer & Hegarty, 1999).

2.1.2 Interaktivität der virtuellen Umgebung

Es scheint auf den ersten Blick plausibel zu sein, daß die Interaktivität einer Lernumgebung mit Vorteilen verbunden ist. Allerdings sind gerade für anspruchsvolle Medien, wie sie virtuelle Umgebungen ohne Zweifel darstellen, auch Nachteile denkbar.

Als Vorteile werden beispielsweise genannt, daß die Lerner in einer virtuellen Umgebung selbst bestimmen, wann sie welchen Lerninhalt bearbeiten. Sie nehmen Einfluss auf die Abläufe und Ansichten in der virtuellen Umgebung (Schwan & Buder, 2002). Der Lernprozess in virtuellen Umgebungen sollte besonders effektiv von statten gehen, wenn die Lerner Möglichkeiten zur aktiven Konstruktion von Wissen erhalten und wenn sie mit der Umgebung interagieren können, um die Folgen ihrer Handlungen direkt zu beobachten (Winn & Windschitl, 2001). Eine Überlegung, die sich in der Forschung zu Computersimulationen in ähnlicher Weise bestätigt hat (de Jong & van Joolingen, 1998). Diese interaktive Nutzung des Lernstoffes stellt in der Gestaltung der Umgebungen besondere Anforderungen an die thematische und instruktionale Einbettung der Inhalte in die Umgebung, denn diese soll die Lernziele der Benutzer sensitiv unterstützen und sie in fruchtbare Richtungen lenken (vgl. Kirsh, 1997). Grundsätzlich sollen sich Vorteile der Interaktivität auf den Lernprozess in zwei wesentlichen Formen zeigen (Mayer & Chandler, 2001): erstens soll die kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnis reduziert werden und zweitens sollen die Lerner sukzessive ein kohärentes mentales Modell des Lerngegenstands ausbilden können.

In anderen Kontexten wurde bereits erfolgreich demonstriert, daß Lerner, die aktiv verschiedene Informationsquellen miteinander verknüpfen, vollständigere und kohärentere mentale Repräsentationen der Sachverhalte konstruieren (White, 1993). Die Kenntnis der Beziehungen zwischen verschiedenen Informationsquellen erlaubt es den Lernern, flexibel zwischen diesen zu wechseln und andererseits in integrierender Weise im Problemlöseprozess einzusetzen (z.B. Anzai, 1991).

Mögliche Nachteile können deswegen durch die jederzeit neuen Situationen und Gegebenheiten in der virtuellen Umgebung entstehen. Denn diese stellen hohe Ansprüche an den Lerner. Der Lerner muss sich nicht nur den Lerninhalten, sondern auch stets wieder aufs Neue der virtuellen Umgebung zuwenden. So lässt sich aus der Untersuchung von Mayer und Chandler (2001) ableiten, daß die Interaktion der Lerner mit multimedialem Lernmaterial nur dann mit Vorteilen verbunden ist, wenn die interaktive Nutzung des Lernmaterials auf die kognitiven Lernprozesse abgestimmt wird. In dieser Untersuchung bestand die Interaktion der Lerner allerdings nur daraus, zunächst einzelne Bereiche in einer multimedialen Lernumgebung zu bearbeiten anstatt sich zunächst einen Überblick über die gesamte Lerneinheit zu verschaffen. Insofern sind die Ergebnisse nur begrenzt auf komplexere Lernumgebungen übertragbar, in denen ein größeres Ausmaß an selbstgesteuertem Lernen umgesetzt ist.

Die Aneignung der Lerninhalte wird einerseits durch die Gestaltung der Lerninhalte, ihr didaktisches oder pädagogisches Design, beeinflusst. Zur angemessenen Gestaltung von Lerninhalten liegen dementsprechend umfassende Erfahrungen mit vielfältigen Medien vor, die hierzu genutzt werden können - dies wird zunächst weiter betrachtet. Um das eigentliche Explorationsverhalten der Lerner zu betrachten, kann der Aneignungsprozeß in der virtuellen Umgebung auf einer Mikro- und auf einer Makroebene beschrieben werden - dies wird anschließend genauer ausgeführt.

2.2 Gestaltung von Lerninhalten in virtuellen Umgebungen

Eine Strukturierung des Lernprozesses kann nach Schwan und Buder (2002) in virtuellen Umgebungen durch eine geeignete Wahl von Aufgaben und eine geeignete Gestaltung der virtuellen Umgebung geschehen (zum Beispiel eine narrative Einbettung). Davon ausgehend wird von Schwan und Buder (2002) ein Klassifikationsschema für diejenigen virtuellen Umgebungen entwickelt, die zu Lernzwecken erstellt werden. In dieser Klassifikation wird zwischen gegenständlichen Sachverhalten und abstrakten Sachverhalten unterschieden. Gegenständliche Sachverhalte können als abbildungstreue Veranschaulichungen (zum Beispiel die computergenerierte Darstellung von Gebäuden, Cockpits in Flugsimulatoren oder Steuerungszentralen von Kraftwerken) oder als schematisierende Veranschauli-

chungen (zum Beispiel das Sonnensystem oder der Aufbau pflanzlicher Zellen) umgesetzt werden. Abstrakte Sachverhalte hingegen bedürfen einer analog-räumlichen Visualisierung (zum Beispiel die Darstellung physikalischer Konzepte) oder einer metaphorischen Darstellung. Eine analog-räumliche Darstellung wäre beispielsweise die Visualisierung der Beziehungen zwischen den Einflußgrößen in elektromagnetischen Feldern. Eine metaphorische Darstellung hingegen wäre die Beschreibung des Datentransfers zwischen Computern: Dieser Datentransfer geschieht in dem einzelne (Daten-)Pakete versendet und am Zielort wieder zu einem Ganzen zusammengesetzt werden. Das reale Original zu dieser Metapher ist die klassische Versendung einzelner Pakete durch ein Postunternehmen. Diese verschiedenen Darstellungsvarianten besitzen Implikationen für den beabsichtigten Anwendungskontext, da je nach Sachverhalt eine geeignete Darstellung auszuwählen ist.

Im Rahmen der *abbildungstreuen Veranschaulichungen* für gegenständliche Sachverhalte in virtuellen Umgebungen bestehen nach Schwan und Buder (2002) die Vorteile in besseren Gedächtnisleistungen im Vergleich zu textuellem Material, in der Bildung unmittelbar wahrnehmungsbasierter Inferenzen und einem hohen Realismus der Darstellung. Ein hoher Realismus in der Darstellung sollte seine Vorteile einerseits dadurch zeigen können, daß die Lernerfahrung auf den persönlich als erfolgreich erfahrenen Strategien der Lerner aufbauen kann. Andererseits sollte eine gute Transferierbarkeit auf die Bedingungen der realen Umgebung aufgrund der Ähnlichkeit zwischen beiden Darstellungen möglich sein.

Zu beachten ist, daß eine abbildungstreue Darstellung nicht übermäßig viele Details enthalten darf. Ansonsten kann es passieren, daß die Lerner die relevanten Inhalte zu wenig fokussieren, weil sie in der großen Menge irrelevanter Informationen zu wenig hervorstechen. Deswegen kann eine detailreiche abbildungstreue Veranschaulichung unter Umständen zu einer eher geringen Elaboration der Inhalte durch die Lerner führen.

Die *schematisierende Veranschaulichung* für gegenständliche Sachverhalte in virtuellen Umgebungen zeigt nach Schwan und Buder (2002) ihre Vorteile durch die Salienz relevanter Details, während irrelevante Details eher ausgeblendet werden. Zusätzlich ist eine Größenskalierung der Inhalte möglich (Mikroskop- oder Teleskop-Funktion). Damit kann eine

elaborierte Informationsverarbeitung gefördert werden. Hingegen zeigen sich Probleme durch einen Verlust an Authentizität. Je nach Anwendungsbereich sind auch Kombinationen von abbildungstreuen und schematisierenden Veranschaulichungen möglich (vgl. das Konzept des *information-rich virtual environment* von Bowman et al., 1999 und Kapitel 2.4).

Für abstrakte Sachverhalte ist eine *analog-räumliche Visualisierung* in virtuellen Umgebungen nach Schwan und Buder (2002) mit Vorteilen für den Lernprozess verbunden. Dabei ermöglichen es das Prinzip der Sinnesskalierung (*transduction*) und das Prinzip der Verdinglichung (*reification*; Winn, 1993) aufwendige *kognitive* Verarbeitungsprozesse in *perzeptuelle* Prozesse der Mustererkennung und Mustervervollständigung zu überführen (vgl. Kapitel 2.6). Die großen Freiheiten in der Darstellung sollten beim Lerner im Aufbau geeigneter mentaler Modelle von abstrakten Sachverhalten resultieren, da eine zusätzliche Kodierungsform im Medium bereitgestellt wird. Die Probleme der analog-räumlichen Visualisierung bestehen in den hohen Anforderungen, die diese an die Vorkenntnisse der Lerner stellen. Deswegen erscheint eine Kombination mit abstrakt-symbolischen Repräsentationen (Wickens & Baker, 1995) oder die Koppelung an ein interaktives Handlungsrepertoire sinnvoll. Dies würde bedeuten, daß der Graph einer Gleichung (räumliche Visualisierung) stets mit der zugehörigen algebraischen Gleichung (abstrakt-symbolische Repräsentation) dargestellt werden sollte. Das interaktive Handlungsrepertoire wäre die genannte Möglichkeit, Graph und Gleichung direkt zu manipulieren (vgl. Sweller, 1993).

Bei *metaphorischen Darstellungen* für abstrakte Sachverhalte in virtuellen Umgebungen können nach Schwan und Buder (2002) die verwendeten Analogien von den Lernern zur Übertragung bekannterer Prinzipien genutzt werden. Perzeptuelle und kognitive Verarbeitungsprozesse sind damit gezielt beeinflussbar. Die Probleme der metaphorischen Darstellung liegen darin begründet, daß sie starker instruktionaler Vorgaben bedürfen und daß die Auswahl geeigneter Metaphern nicht trivial ist, da die Gefahr der Übergeneralisierung oder der Fehlkonzeptualisierung besteht (Winn & Jackson, 1999).

Diese vielfältigen Varianten zur Veranschaulichung von Sachverhalten lassen erkennen, daß bildliche Darstellungen die dominierenden Sym-

bolsysteme virtueller Umgebungen sind. Demgegenüber sind schriftliche Symbole von geringerer Bedeutung (zur Verwendung von Symbolsystemen, vgl. Salomon, 1979, 1994 und Kapitel 4.2). Die bildlichen Inhalte können zwar mit weiteren Symbolsystemen kombiniert werden, jedoch wird in ihnen stets die primäre Informationsstruktur des Mediums „virtuelle Umgebung“ abgebildet.

2.3 Exploration von Lerninhalten in virtuellen Umgebungen

Die Anordnung von (Lern-)Inhalten in virtuellen Lernumgebungen kann als Netzwerk von „Informationsknoten“ verstanden werden (vgl. Canter, Rivers & Storrs, 1985): Jeder Lerninhalt wird durch einen Informationsknoten repräsentiert. Konkret bedeutet dies, daß die Darstellungsansichten bestimmter (Lern-)Inhalte der virtuellen Umgebung als einzelne Informationsknoten betrachtet werden (zum Beispiel eine spezielle Ansicht eines Moleküls in der Darstellung chemischer Prozesse).

Die Strategien zur Exploration einer virtuellen Umgebung können anhand der Unterscheidung in *Mikroebene* und *Makroebene* genauer beschrieben werden (vgl. zu dieser Unterscheidung z.B. Schwan, 2000). Auf der Mikroebene werden solche Lerneraktivitäten realisiert, die eine spezifische Steuerung des Ablaufs der Informationsdarbietung für *einzelne Informationsknoten* beinhalten. Auf der *Makroebene* hingegen werden Lerner Eingriffe realisiert, die die Auswahl von Lernelementen oder Lernpfaden *zwischen den Informationsknoten*, d.h. innerhalb der übergeordneten *Informationsarchitektur* (Rosenfeld & Morville, 1998) betreffen.

Mikroebene der Exploration: Die Mikroebene betrifft die Exploration eines einzigen Lerninhalts aus verschiedenen Blickwinkeln. Denn eine konkrete Interaktion in einer virtuellen Umgebung kann durch den jeweiligen Lerner in vielfältiger Weise eigenständig beeinflusst und gesteuert werden. Die kognitive Belastung während des Lernprozesses kann dann auf verschiedenen Ebenen vom Lerner selbst reguliert werden („*intrinsic management of cognitive load*“; Bannert, 2002; vgl. Kapitel 4.3). Sie besitzen damit eigene Mittel, die sie zur Erleichterung des Lernens einsetzen können und die die vorgegebenen Möglichkeiten der virtuellen Umgebung ergänzen können (vgl. Mayer, 2001). Die kognitive Belastung, die durch die Interaktion selbst verursacht wird, kann damit eventuell kompensiert wer-

den. Die Auswirkungen dieser Nutzeraktivität auf kognitive Prozesse können allerdings bislang nur grob abgeschätzt werden, da sie in der jeweiligen Situation nur schwer messbar sind.

Makroebene der Exploration: Das Explorationsverhalten in virtuellen Umgebungen beschränkt sich nicht auf die konkrete Interaktion mit einzelnen Lerninhalten, sondern bezieht sich besonders auf inhaltliche Aspekte der Makroebene, d.h. der Informationsarchitektur. Denn gerade auf der Makroebene sind Verknüpfungen und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Informationselementen zu ziehen. In virtuellen Umgebungen werden inhaltlich untergliederte Informationselemente zumeist netzwerkartig in einer räumlich-dreidimensionalen Struktur angeordnet (vgl. Kap. 1.1). Dabei entsteht eine nicht-lineare Informationsstruktur, die umfassende Möglichkeiten für selbstgesteuertes Lernen und weitreichende Möglichkeiten der Lernerkontrolle zulassen. So können Lerner selbst bestimmen, wie und in welcher Reihenfolge sie Informationen aufsuchen. Deswegen spielt die aktive Rolle der Lerner und die Möglichkeit der Individualisierung des Lernprozesses eine wichtige Rolle im Sinne der kognitiven Flexibilität (Spiro & Jehng, 1990).

Um die Effizienz der Exploration der Lerninhalte zu erfassen, bietet sich die Makroebene insbesondere dann an, wenn es darum geht, Beziehungen zwischen einzelnen Informationen herzustellen sowie einen komplexeren Lernprozess in seiner Gesamtheit zu untersuchen. Dabei spielen sowohl inhaltliche als auch zeitliche Aspekte des Explorationsverhaltens eine wichtige Rolle. Auf der inhaltlichen Ebene kann erfasst werden, wie umfassend die Exploration der Lerninhalte erfolgte; also wie viele der insgesamt vorhandenen Inhalte wirklich bearbeitet wurden (Canter et al., 1985). Hinzu kommt eine zeitliche Dimension, da gerade in eher offengestalteten virtuellen Umgebungen zusätzlich zu den Lerninhalten auch andere der Umgebung zuzuordnende Informationen enthalten sind. So können Lerner sich nicht nur mit den Lerninhalten beschäftigen, sondern einen Teil ihrer Zeit mit irrelevanten Informationen oder auf den Wegen zwischen den Lerninhalten verbringen. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, in welcher Häufigkeit die einzelnen Lerninhalte betrachtet werden (Canter et al., 1985). Wenn ein Lerner eine effiziente Lernstrategie verfolgt, so sollte er einerseits die einzelnen Lerninhalte genau untersuchen und andererseits versuchen, die relevanten Aspekte im Kontext des gesamten Wissensberei-

ches einzuordnen. Auf der Makroebene des Nutzerverhaltens können virtuelle Umgebungen deswegen vor allem unter drei Aspekten betrachtet werden. Erstens unterscheidet sich die Interaktion im *inhaltlichen Ausmaß* und zweitens sind Unterschiede im *zeitlichen Umfang* möglich. Hinzu kommt drittens die *Explorationshäufigkeit*, mit der jeder Informationsknoten aufgesucht wird. Diese drei Aspekte der Nutzerstrategie ermöglichen eine Einschätzung der Effizienz der Lernstrategie.

2.4 Anwendungsbeispiele für virtuelle Umgebungen als Wissensmedien

Virtuelle Umgebungen können eine besondere Rolle als Medium für den Wissenserwerb spielen. Im Kontext des Lernens werden schon seit längerem Trainings- oder Simulationsumgebungen genutzt, um primär prozedurales Wissen zu erwerben bzw. Handlungsabläufe zu automatisieren. Neuere Entwicklungen sind besonders zu Zwecken des Wissenserwerbs festzustellen. In diesen Umgebungen soll neben *prozeduralem* Wissen auch *deklaratives* Wissen (vgl. Gagné & Briggs, 1979) erworben werden, das in alltagsnahen Situationen angewendet werden kann. Damit können virtuelle Umgebungen im Kontext des Wissenserwerbs nach der Art des zu erwerbenden Wissens (prozedural oder deklarativ) unterschieden werden.

Deklaratives Wissen: Ein Anwendungsbeispiel für den Erwerb deklarativen Wissens sind kunsthistorisch bedeutende Gebäude, wie die gotische Kathedrale von „Notre Dame“ aus Paris, die in einem desktop-kompatiblen Format erstellt wurde (siehe Abbildung 4)⁶. In solchen Projekten interaktiver virtueller Umgebungen sind kunsthistorisch-wissenschaftliche, anschauliche und informative Elemente integriert. Diese Umgebung kann sowohl als *single-user* und auch als *multi-user*-Umgebung genutzt werden, da es mit einer Internetverbindung möglich ist, die Avatare anderer Personen zu sehen und mit den anderen Personen über einen Textchat zu kommunizieren.

⁶ Abbildung 4 ist aus einem screenshot der Demoversion der zugehörigen Software angefertigt worden, die u.a unter „www.fileplanet.com/22623/20000/fileinfo/VRND---Notre-Dame-Cathedral“ erhältlich ist. Zur Inbetriebnahme der virtuellen Umgebung wird zusätzlich die sogenannte Unreal Engine der Firma EpicGames benötigt, die unter „www.unrealtechnology.com“ erhältlich ist.

Abbildung 4: Altar der virtuellen Kathedrale von Notre Dame.



Abbildung 5: Beispiel aus *MaxwellWorld*.

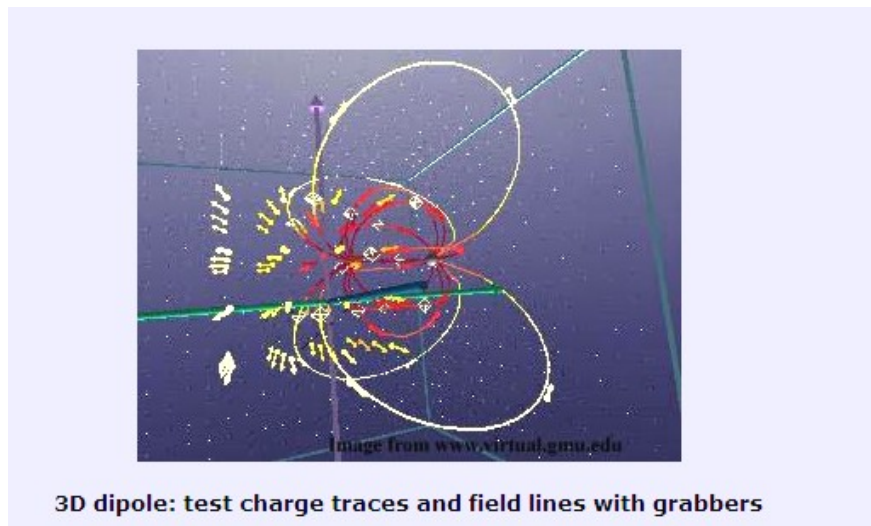
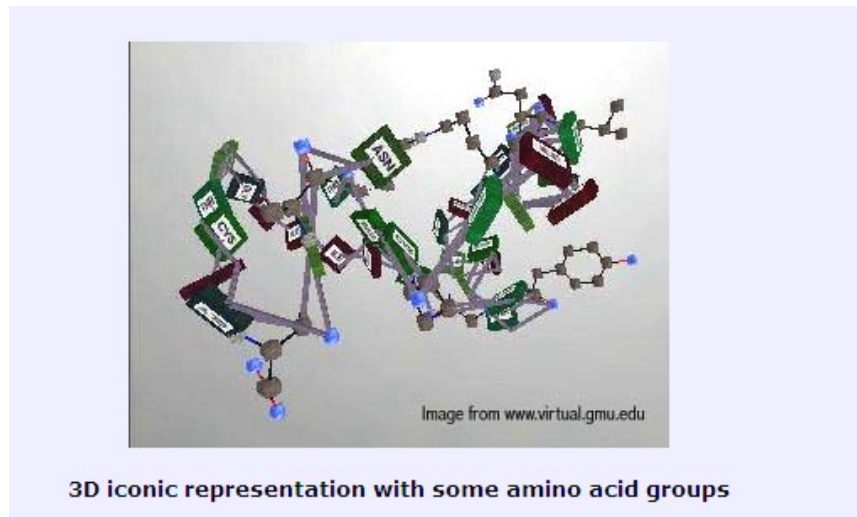


Abbildung 6: Beispiel aus *PaulingWorld*.

Im Rahmen des *Science-Space*-Projekts⁷ der George-Mason-University (Fairfax/Virginia, USA) wurden mehrere virtuelle Umgebungen zur Unterstützung des Lernens verschiedener Inhalte erstellt (vgl. Dede, Salzman & Loftin, 1994, 1996; Salzman, Dede, Loftin & Chen, 1999). Im *Science-Space*-Projekt wird es Lernern in drei virtuellen Umgebungen ermöglicht, physikalische Prinzipien und Gesetze zu verstehen. In der *NewtonWorld* werden die Bewegungsgesetze und die Dynamik der ein-dimensionalen Bewegung dargestellt. In der *MaxwellWorld* (siehe Abbildung 5)⁸ werden Untersuchungen zur Elektrostatik ermöglicht (die vier Maxwell-Gesetze des Elektromagnetismus und das Gauß'sche Gesetz). In der *PaulingWorld* (siehe Abbildung 6)⁹ schließlich soll der Aufbau von Molekularstrukturen besser verstanden werden (vgl. Dede et al., 1996; Salzman et al., 1999). Während im Falle von *MaxwellWorld* und *PaulingWorld* eher deklaratives Wissen erworben werden kann, ist es in der *NewtonWorld* möglich, zusätzlich prozedurales Wissen zu erwerben.

⁷ Weitere Informationen liefert die Projektwebsite zum ScienceSpace-Projekt unter „www.virtual.gmu.edu“.

⁸ Abbildung 5 ist aus einem screenshot einer der Seiten der website zum ScienceSpace-Projekt, „www.virtual.gmu.edu/ss_photos/maxwell/maxwell1.htm“, angefertigt worden.

⁹ Abbildung 6 ist aus einem screenshot einer der Seiten der website zum ScienceSpace-Projekt, „www.virtual.gmu.edu/ss_photos/pauling/amino.htm“, angefertigt worden.

Prozedurales Wissen: Mit dem *Virtual Environment for Submarine Shiphandling Training*¹⁰ (VESUB; siehe Abbildung 7)¹¹ hat die US Navy eine virtuelle Umgebung für U-Boot-Kapitäne entwickelt, die es diesen ermöglicht, verschiedene Häfen und deren besondere Silhouetten, Untiefen und Strömungsverhältnisse im Simulator kennenzulernen (Hays, Seamon & Bradley, 1997). Die virtuelle Umgebung wurde in diesem Fall über ein *Head-Mounted-Display* realisiert. Der Einsatz erfolgt üblicherweise im *single-user-Modus*. Durch umfangreiche Eingriffsmöglichkeiten kann vor allem prozedurales Wissen erworben und zum Beispiel das Verhalten in Krisensituationen geübt werden.

Information-Rich Virtual Environment: Das Konzept eines *information-rich virtual environment* (Bowman et al., 1999) beschreibt die Anreicherung einer virtuellen Umgebung durch die Integration von Informationen. Hierzu zählen sowohl dreidimensionale Graphiken aber auch abstrakte oder symbolische Informationen (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9)¹². Die abstrakten Informationen können beispielsweise aus Audio-, Text- oder Bildinformationen bestehen (zum Beispiel Informationstexte oder Überblickskarten). Symbolische Informationen können unter anderem in Form schematisierender Veranschaulichungen integriert werden (zum Beispiel graphische Darstellungen zum Nahrungsverbrauch von Tieren). Die grundlegende Idee von Bowman et al. (1999) ist es, das Lernen in der virtuellen Umgebung durch eine enge Verbindung von symbolischen und räumlichen Informationen zu stimulieren. Die Einbettung von Informationen in die virtuelle Umgebung ermöglicht somit mehr Abrufmöglichkeiten durch verschiedene Formen des Lernens, stellt aber dadurch unter Umständen auch größere kognitive Anforderungen an den Lerner (vgl. dazu auch Mayer, 2001). Das erklärte Ziel dieses *information-rich virtual environment* ist es, das Lernen durch die dreidimensionale Darstellungsform und die interaktiven Inhalte optimal zu unterstützen.

¹⁰ Umfassende Informationen inklusive Videoclips zum Einsatz des Systems sind erhältlich unter „www.ntsc.navy.mil/Programs/Tech/Virtual/VESUB/Index.cfm“.

¹¹ Abbildung 7 ist aus einem screenshot einer der Seiten der website zu VESUB „www.ntsc.navy.mil/Programs/Tech/Virtual/VESUB/Index.cfm“ angefertigt worden.

¹² Die Abbildungen aus dem Projekt „Virtual Gorilla Exhibit“ wurden dem Autor freundlicherweise von Dr. Doug Bowman, Georgia Institute of Technology, zur Verfügung gestellt.

Abbildung 7: Ansicht der VESUB-Umgebung.

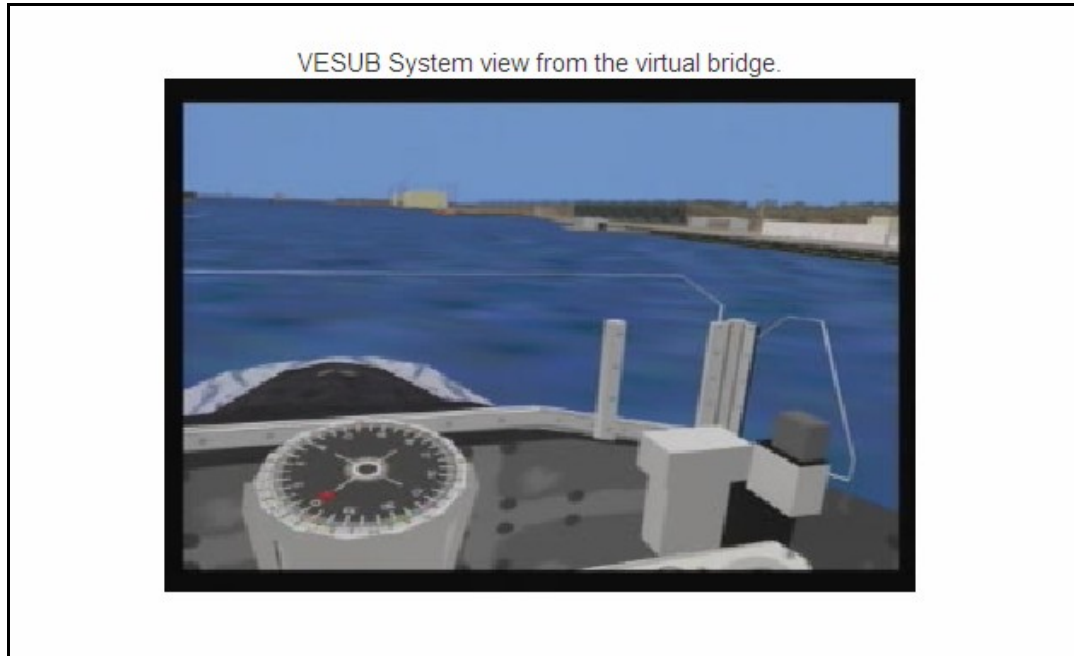


Abbildung 8: Übersicht zum Gorilla-Gehege



Abbildung 9: Detailansicht im Gorilla-Gehege.



2.5 Ergebnisse zum Wissenserwerb im Medium „virtuelle Umgebung“

In einer Übersicht zu Evaluationsstudien von virtuellen Umgebungen mit einem pädagogischen Anwendungskontext unterscheidet Youngblut (1998) zwischen Studien die eine Evaluation der pädagogischen Effektivität oder eine Evaluation der Gebrauchstauglichkeit (*usability*) der Umgebung zum Ziel hatten.

Evaluation der pädagogischen Effektivität: Wesentliche Erkenntnisse zur pädagogischen Effektivität virtueller Umgebungen wurden mit den Evaluationen der Umgebungen des *ScienceSpace*-Projekts (Dede et al., 1994; Dede et al. 1997) und des virtuellen Gorillageheges (Bowman et al., 1999) sowie aus der Untersuchung von Ainge (1996) erzielt.

Die Evaluationstudien im *ScienceSpace*-Projekt (Dede et al., 1994; Dede et al. 1997) waren darauf ausgerichtet, in einem iterativen Produktentwicklungsprozeß eine Verbesserung der virtuellen Umgebung in drei Schritten zu erreichen. In einem ersten Schritt wurde formativ die Gebrauchstauglichkeit und die Lernmöglichkeiten in der Umgebung bewertet; im zweiten Schritt wurde eine subjektive Bewertung der Lerneffektivität erhoben und im abschließenden dritten Schritt wurde der Einfluß des multisensorischen Interfaces auf die Lerneffektivität betrachtet. Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit wurde in Form einer Expertenbewertung, d.h. hier durch Physiklehrer und Forscher, durchgeführt (Dede et al. 1994; s.u.). Zur subjektiven Bewertung der Lerneffektivität wurden 30 Schüler auf High-School-Niveau untersucht (Dede et al., 1994). Die Aufgabe der Lerner bestand darin, Aufgaben zu Massen und deren Bewegung, Beschleunigung und Energie auszuführen. Die erhobenen Daten umfassten Beobachtungsdaten, Fragebögen zur Gebrauchstauglichkeit, Interviewdaten und Wissenstests. Die Ergebnisse zeigen nach Angabe von Dede et al. (1994), daß ein Lernerfolg eingetreten ist. Das primäre Anliegen der Untersuchung war es jedoch, Hinweise zur optimierten Gestaltung der Umgebung zu erhalten. Deswegen werden von Dede et al. (1994) vor allem Erkenntnisse zur Gestaltung virtueller Lernumgebungen berichtet.

Die Evaluation des virtuellen Gorillageheges (Bowman et al., 1999) basierte auf einem Vergleich mit einer traditionellen Lernmethode. In einer Feldstudie wurden drei Gruppen von Schülern verglichen. Die erste Gruppe erhielt normalen Unterricht in einem Seminar. Die zweite Gruppe konnte neben dem Unterricht in begrenztem Umfang die virtuelle Umgebung nutzen; hatte darin jedoch den vollen Zugang zu den eingebetteten Informationen (Informationsgruppe). Nur die dritte Gruppe hatte neben dem normalen Unterricht die Möglichkeit, das virtuelle Gorillagehege vollständig und ausgiebig als Lernumgebung einzusetzen, allerdings ohne den Zugang zu den eingebetteten Informationen (Habitatgruppe). Der Lernerfolg wurde über einen Wissenstest abgefragt. Die Ergebnisse von nach Bowman et al.

(1999) deuten darauf hin, daß die Lerner der zweiten und dritten Gruppe räumliche und abstrakte Informationen besser aufnehmen konnten. Hierbei profitierte anscheinend vor allem die Informationsgruppe von der virtuellen Umgebung. Zusätzlich wurde der Lernprozeß um eine ausgeprägte Erlebniskomponente ergänzt. Diese Erlebniskomponente trug dazu nach Bowman et al. (1999) dazu bei, eine größere Anzahl und intensivere mentale Assoziationen zum Lernmaterial zu bilden. Zusammengefasst profitierte die Schülergruppe, die die virtuelle Umgebung genutzt hatte, deutlicher vom nachfolgenden Unterricht als die Schülergruppe, der dieselben Inhalte im normalen Unterricht vermittelt wurden (Bowman et al., 1999).

Um die pädagogische Effektivität allgemein einzuordnen, wurde in einer informellen Evaluationsstudie die Effektivität des Navigierens durch eine virtuelle Umgebung mit dem traditionellen Gebrauch von Lehrbüchern verglichen (Ainge, 1996). Als Untersuchungsmaterial wurde eine vereinfachte Version der altägyptischen Großen Pyramide von Gizeh verwendet. Die Aufgabe der Lerner bestand darin, sich im Anschluß an eine Vorbereitungsstunde zum alten Ägypten mit den Verhältnissen in der Pyramide generell vertraut zu machen. Die Ergebnisse der informellen Evaluation deuten nach Ainge (1996) zunächst auf eine Präferenz der Lerner für klassische Lehrbücher hin. Allerdings wurde dies zumeist durch technische Probleme und dadurch verursachte Restriktionen der Interaktion in der virtuellen Umgebung verursacht. Hingegen zeigen die Ergebnisse trotz dieser Hindernisse, daß die Lerner einen plastischen und realitätsnahen Eindruck zur Größe der Pyramide oder zur Enge von Durchgängen erhalten konnten, der durch Lehrbücher so kaum zu vermitteln gewesen wäre.

Evaluation der Gebrauchstauglichkeit virtueller Lernumgebungen: Die Gebrauchstauglichkeit virtueller Umgebungen wurde bislang zumeist nur am Rande betrachtet und eher innerhalb von Projekten zur iterativen Produktentwicklung genutzt. Um einige Beispiele für die Ergebnisse der Evaluationstudien zu nennen, wird auf Ergebnisse aus dem *ScienceSpace*-Projekt und zum Projekt des virtuellen Gorillageheges rekuriert.

In den Evaluationstudien zum *ScienceSpace*-Projekt wurde die Gebrauchstauglichkeit der Umgebungen mit einem besonderen Fokus auf die multisensorischen und multimodalen Komponenten der Umgebung betrachtet (Dede et al., 1994; Dede et al., 1997). Die Evaluation bestand aus

der bereits erwähnten Expertenbewertung durch Physiklehrer und Forscher. Die Ergebnisse zeigen nach Angabe von Dede et al. (1994) und Dede et al. (1997), daß eine hochgradig multisensorische Umgebung (Raumklang und Haptik) eine sanftere Interaktion mit derselben ermöglicht. Die multimodalen Anteile der Umgebung (Spracheingabe, Gesten etc.) können nach den Ergebnissen von Dede et al. (1994) und Dede et al. (1997) die Interaktion weiter verbessern. Dabei erleichtert die multimodale Interaktion das Lernen in der virtuellen Umgebung, indem sie es den Lernern ermöglicht die Interaktion und den Lernprozeß entsprechend ihrer eigenen Präferenzen zu gestalten. Ergänzend trägt eine hochgradig flexible Steuerung der Aufmerksamkeitszuwendung bei, wenn Handlungen in der Umgebung ausgeführt werden (Dede et al., 1994; Dede et al., 1997).

In einer Evaluationsstudie zum Einsatz von Geräuschen im virtuellen Gorillagehege zeigten Allison, Wills, Hodges und Wineman (1996), daß die räumliche Anordnung und die Lautstärke von Geräuschen in der virtuellen Umgebung ebenfalls beachtet werden sollten. Von Allison et al. (1996) wurde mit einem Fragebogen festgestellt, daß Geräusche mit konstanter Lautstärke und räumlich unklarer Zuordnung zu Verwirrung über Entfernungen und zur Anordnung von Objekten bei Schülern geführt hatten.

Aus den methodischen Ansätzen der referierten Evaluationsstudien lässt sich erkennen, daß bislang meist die iterative Entwicklung virtueller Umgebungen im Vordergrund stand. Die kontrollierte Untersuchung der Gestaltungselemente und Einflussfaktoren, die einen entscheidenden Einfluß auf den Lernerfolg haben können, wurde hingegen bislang eher weniger untersucht. Dennoch lässt sich der Eindruck aufrechterhalten, daß virtuelle Umgebungen entsprechend ihrer Charakteristika grundsätzlich geeignet sind, für bestimmte Lerngegenstände deutliche Lernvorteile zu bieten. Die allgemein gebrauchstaugliche und zusätzlich lernförderliche Gestaltung der virtuellen Umgebung stellt jedoch umfassende Anforderungen an die Ersteller dieser Medien.

Die Förderung des Wissenserwerbs und die Untersuchung der beteiligten kognitiven Prozesse wurden in anderen Untersuchungen genauer betrachtet. In diesen Studien wurde vor allem der Lernerfolg im Einsatz von zweidimensionalen und dreidimensionalen Lernumgebungen verglichen.

In einer deskriptiven, eher explorativ orientierten Studie untersuchten Trindade, Fiolhais und Almeida (2002) den Erwerb von Wissen zu Übergängen zwischen den drei Aggregatzuständen (fest-flüssig-gasförmig), zu Phasenübergängen zwischen diesen Aggregatzuständen sowie dem damit verbundenen Geschehen in den Atomorbitalen. Hierzu wurde die virtuelle Umgebung *VirtualWater* eingesetzt. Vorab wurde den Lernern ein Fragebogen zum räumlichen Vorstellungsvermögen gegeben. Dann konnten sie die virtuelle Umgebung *VirtualWater* frei explorieren und sich das chemische und physikalische Wissen selbständig aneignen. Abschließend wurde ein Wissenstest erhoben sowie ein ausführliches strukturiertes Interview geführt. Die Ergebnisse von Trindade et al. (2002) zeigen, daß für das Lernen in der dreidimensionalen Umgebung insbesondere die Parameter Interaktivität, Navigation/Orientierung und 3D-Wahrnehmung relevant waren, um ein verbessertes Verstehen der physikalischen Konzepte zu erreichen.

Antonietti, Imperio, Rasi und Sacco (2001) verglichen den Lernerfolg von Novizen und Experten mit einer zweidimensionalen Lernumgebung und einer dreidimensionalen virtuellen Umgebung. Die Aufgabe für die Lerner bestand jeweils darin, den Aufbau und die Anwendung einer virtuellen Drehbank zu lernen. Nach einer ersten Phase der freien Exploration der virtuellen Drehbank wurden konkreten Aufgaben zur Bearbeitung gestellt. Zur Aufgabebearbeitung wurden Leistungsmaße (u.a. Bediendauer, Bedienschritte) sowie subjektive Bewertungen erhoben. Die Ergebnisse von Antonietti et al. (2001) zeigen, daß sich die untersuchten Gruppen in ihrem Wissenserwerb voneinander unterschieden. In der Aneignung des Umgangs mit der virtuellen Drehbank konnten Novizen am meisten davon profitieren, wenn sie zuerst die virtuelle Drehbank explorieren und anschließend die zweidimensionalen Informationen bearbeiten. Experten hingegen beginnen besser mit den zweidimensionalen Informationen und benutzen anschließend die virtuelle Umgebung (Antonietti et al., 2001).

Der entscheidende Unterschied lag nach Ansicht von Antonietti et al. (2001) in diesem Fall darin, daß die Experten keine Referenzpunkte zum Verarbeiten der zweidimensionalen Informationen benötigten. Sie konnten ihr bereits vorhandenes abstraktes Wissen den vorhandenen und präsentierten Inhalten zuordnen. Demgegenüber profitierten die Novizen von dem zunächst gegebenen Überblick in der virtuellen Umgebung, die ihnen eine

Strukturierung des Lernmaterials als Vorbereitung auf die Lerninhalte in der zweidimensionalen Umgebung ermöglichte (Antonietti et al., 2001).

Die Umgebung *MaxwellWorld* aus dem *ScienceSpace*-Projekt (vgl. Kap. 2.4) wurde mit einer kommerziellen zweidimensional gestalteten Umgebung namens *EM Field*¹³ verglichen (Salzman, Dede & Sprague, 1997). In beiden Umgebungen waren weitgehend ähnliche Inhalte abgebildet. Die Evaluation der beiden Umgebungen betraf die Einflüsse der Visualisierungen (zweidimensional oder dreidimensional) und den Einsatz multisensorischer Reize in den Umgebungen. Den Lernern wurden vergleichbare Aufgaben zum Erlernen von Gesetzen und Regeln zu elektrischen Kräften und Energiefeldern gegeben. Die Ergebnisse von Salzman et al. (1997) zeigen, daß die Lerner mit der *MaxwellWorld* ein besseres Verständnis für die physikalischen Konzepte entwickelten, was sich unter anderem dadurch zeigte, daß sie adäquatere Vorhersagen zu Veränderungen des elektrischen Feldes machen konnten. Ergänzend verbesserten die multisensorischen Reize der Umgebung das Verstehen der visuellen Repräsentationen der Inhalte aus dem Elektromagnetismus (Salzman et al., 1997).

In einer Evaluationsstudie zu einer weiteren virtuellen Umgebung namens *CellBiology* betrachtete Gay (1994) den Einfluß der Immersion und der Interaktivität der Umgebung auf die Effektivität des Wissenserwerbs. Dabei wurden eine immersive virtuelle Umgebung (Head-Mounted-Display; hoch-immersiv und interaktiv), eine PC-basierte virtuelle Umgebung (gering-immersiv und interaktiv) und ein Video (gering-immersiv und nicht-interaktiv) miteinander verglichen. Die Teilnehmer an der Studie waren Museumsbesucher. Die Ergebnisse von Gay (1994) zeigen, daß die Benutzer der interaktiven Medien höhere Werte im Erkennen von symbolischen und graphischen Inhalten aufwiesen. Die Immersion des Mediums trug vor allem dazu bei, daß die Lerner das Lernen als deutlich angenehmer empfanden. Allerdings ließ sich in den Ergebnissen von Gay (1994) kein eindeutiger Einfluß der Immersion auf den Lernerfolg nachweisen.

Besondere Bedeutung zur mutmaßlichen Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen und zur pädagogisch-psychologischen Einordnung des Mediums besitzt die Untersuchung von Moreno und Mayer (2002). In den darin

¹³ Die Abkürzung „EM“ steht hier für „elektromagnetisches Feld“.

enthaltenen Experimenten wurde den Lernern eine virtuelle Umgebung namens *Design-A-Plant* vorgestellt, in der die Teilnehmer lernen sollten, welche Bestandteile von Pflanzen unter vorgegebenen klimatischen Bedingungen für einen Wachstumserfolg relevant sind. Die virtuelle Umgebung (der Medienfaktor) wurde in einer gering-immersiven Variante auf einem Computerbildschirm dargeboten. Hinzu kamen ein bzw. zwei höher-immersive Varianten mit einem HMD, das einmal im Sitzen (nur in Studie 1) und einmal im Gehen eingesetzt wurde. Die Variation der instruktionalen Methode bestand darin, daß das Lernmaterial entweder nur vorgelesen oder als nur Text (Studie 1) oder zusätzlich als angezeigter und vorgelesener Text (Studie 2) präsentiert wurde. Mit der Untersuchung sollten zwei Fragen beantwortet werden: (1) die Methodenfrage, ob sich instruktionale Prinzipien, die für nicht-immersive Medien gelten, auf gering-immersive virtuelle Umgebungen oder auf höher-immersive virtuelle Umgebungen übertragen lassen und (2) die Medienfrage, ob sich gering-immersive virtuelle Umgebungen und höher-immersive virtuelle Umgebungen in Bezug auf den Lernerfolg unterscheiden. Der Lernerfolg wurde mit Behaltens- und Verstehenstests erhoben. Hinzu kamen Fragen zur allgemeinen Einschätzung der Lernumgebung sowie Items aus dem *Presence Questionnaire* von Witmer und Singer (1998; vgl. Kap. 3.6).

Die höhere Immersion der HMD-Varianten der virtuellen Umgebung führte in der ersten Studie von Moreno und Mayer (2002) zu einem signifikant höheren Präsenzerleben der Teilnehmer gegenüber dem Computerbildschirm. Hingegen unterschieden sich weder die Erinnerungsleistung noch die Verstehensleistung für das Lernmaterial zwischen den Gruppen. Das Vorlesen des Textes führte gegenüber der Textanzeige zu signifikant besseren Erinnerungs- und Verstehensleistungen. In der zweiten Studie von Moreno und Mayer (2002) konnte der Effekt der Immersion auf das Präsenzerleben repliziert werden. Jedoch zeigten sich wiederum keine Wirkungen der Immersion auf die Erinnerungsleistung oder die Verstehensleistung. Die Variation der instruktionalen Methode hingegen (Vorlesen des Textes; Textanzeige; Vorlesen des angezeigten Textes) führte zu signifikant besseren Erinnerungs- und Verstehensleistungen.

Die Ergebnisse der beiden Untersuchungen von Moreno und Mayer (2002) zeigen, daß Probanden, die in einer immersiveren Umgebung lernen, nicht unbedingt ein besseres Lernergebnis aufweisen („Medienfrage“).

Dabei waren die Faktoren, die zu einem Lernerfolg führten, über die verschiedenen Medien hinweg zumindest ähnlich („Methodenfrage“). Deswegen kann nach Ansicht von Moreno und Mayer (2002) davon ausgegangen werden kann, dass instruktionale Prinzipien von einem Medium auf ein anderes übertragen werden können.

In der Untersuchung von Mania und Chalmers (2001) wurden verschiedene immersive Umgebungen verglichen und das entstehende Präsenzerleben und Erinnerungsleistungen gemessen. Als unterschiedlich immersive Umgebungen dienten ein realer Seminarraum, dessen Nachbildung auf einem normalen Computerbildschirm (3D-desktop) und über ein Head-Mounted Display (HMD) sowie das Abspielen eines Audio-Bandes. Die Probanden sahen oder hörten jeweils für circa 15 Minuten eine vorgefertigte Präsentation zu einem nichtwissenschaftlichen, allgemeinverständlichen Inhalt. Die Erinnerungsleistungen wurden mit einem multiple-choice-Fragebogen und einem zusätzlichen Konfidenzurteil erhoben. Das Präsenzerleben wurde mit einer Skala von Slater (1999), bestehend aus 6 Items, erfasst. Die Ergebnisse von Mania und Chalmers (2001) zeigen, dass die Erinnerungsleistung als Folge der höheren Immersion signifikant verbessert wurde. Eine Wirkung der Immersion auf das Präsenzerleben hingegen konnte nicht gezeigt werden. Allerdings weisen Mania und Chalmers (2001) darauf hin, dass die Lernaufgabe nicht in die virtuelle Umgebung integriert war und dass keine wirkliche Interaktion mit der Umgebung vorgesehen war (auch in den Bedingungen 3D-desktop und HMD war lediglich die eigene Bewegung im virtuellen Raum möglich).

Zusammengefasst lassen die Ergebnisse dieser Untersuchungen erkennen, dass dreidimensionale Lernumgebungen durchaus Vorteile für den Wissenserwerb bieten können. Jedoch wurde die subjektive Wahrnehmung und Steuerung des Wissenserwerbsprozesses in virtuellen Umgebungen kaum untersucht. Aus den Evaluationsstudien und den experimentellen Untersuchungen lässt sich zunächst ableiten, dass virtuelle Umgebungen zumindest das Potential besitzen, den Wissenserwerb zu unterstützen. Zu beachten ist allerdings, dass Lernerfolge auf einem Neuheitseffekt der technisch aufwendigen Umgebungen beruhen können, der mit der Zeit verschwinden mag. Die Gewöhnung an virtuelle Umgebungen kann jedoch auch positive Effekte mit sich bringen, da sie Hemmungen gegenüber der Technik verringern und die Interaktion erleichtern wird.

Grundsätzlich könnte es jedoch sein, daß nicht die virtuelle Umgebung per se, sondern nur bestimmte Faktoren zu einem Lernerfolg beitragen. So kommt Youngblut (1998) zu dem damaligen Fazit, daß hoch-immersive Umgebungen für den Lernerfolg effektiver als gering-immersive Umgebungen sind. Allerdings scheint ihrer Ansicht nach der entscheidende Faktor die Interaktivität der Umgebungen und weniger die Immersion zu sein. Ähnlich konnte ein konkreter Einfluß der Immersion auf den Wissenserwerb in den Studien von Moreno und Mayer (2002) nicht bestätigt werden. Jedoch zeigte sich in der Untersuchung von Mania und Chalmers (2001) eine Wirkung der Immersion auf die Erinnerungsleistung. Eine abschließende Beurteilung der Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen läßt die Befundlage deswegen zur Zeit noch nicht zu, da erstens noch nicht ausreichend kontrollierte Untersuchungen durchgeführt wurden und sich zweitens die untersuchten virtuellen Umgebungen sehr deutlich voneinander unterscheiden.

2.6 Lerntheoretische Einordnung virtueller Umgebungen

Die weitgehende Freiheit der Lerner im Prozeß des Wissenserwerbs in virtuellen Umgebungen weist neben den genannten Evaluationsergebnissen darauf hin, daß die möglichen Lernvorteile virtuelle Umgebungen mit konstruktivistischen Lerntheorien zu erfassen sein sollten. Im Gegensatz zu anderen pädagogischen Ansätzen wird in konstruktivistischen Lerntheorien der Fokus auf die Unterstützung des Lernprozesses gelegt, ohne diesen im Detail zu kontrollieren (Jonassen, 1994). Um eine konstruktivistische Lernumgebung zu nutzen, sollten demnach in einer virtuellen Umgebung folgende Unterstützungsmaßnahmen für den Wissenserwerb gegeben sein (vgl. Jonassen, 1994):

- Konstruktivistische Lernumgebungen sollen multiple Repräsentationen der Realität zur Verfügung stellen, so daß die Komplexität der realen Welt abgebildet wird;
- Der Fokus des Wissenserwerbs soll auf der Konstruktion von Wissen liegen, nicht auf dessen Reproduktion;
- Den Lernern sollen authentische Aufgaben gegeben werden, so daß die pädagogische Instruktion kontextualisiert wird;

- Die Reflexion über das eigene Handeln soll unterstützt werden;
- Eine Kontext- und inhaltsunabhängige Wissenskonstruktion soll ermöglicht werden.

Diese Anforderungen können in virtuellen Umgebungen insbesondere durch eine Situierung des Lernens (*situated learning*; Lave & Wenger, 1991) gefördert werden. Schließlich erwerben die Lerner das Wissen in einer virtuellen Umgebung, d.h. in einem konkreten Kontext. Allerdings ist zu beachten, daß die Lerner in der virtuellen Umgebung nur mit didaktisch gut aufbereiteten Lernmaterialien konfrontiert werden sollten, um sie in dieser Situation nicht zu überfordern. Die kontextuelle Einbettung des Lernens mit authentischen Aufgaben in die Umgebung ist damit nicht genuines Merkmal virtueller Umgebungen, sondern stellt besondere Anforderungen an die Gestaltung der virtuellen Umgebung und die didaktische Aufbereitung des Lernmaterials. Darin ist des weiteren zu berücksichtigen, daß die Reflexion über das eigene Handeln durch geeignete Rückmeldungen unterstützt wird. Die Lerner erhalten zwar stets eine Rückmeldung zu ihrem Handeln in der virtuellen Umgebung – ob dies jedoch lernförderlich ist, wird von der aktuellen Gestaltung der Rückmeldung abhängen. Schließlich wird allerdings die Grundforderung konstruktivistischer Ansätze, die eigene Konstruktion von Wissen zu ermöglichen, damit in virtuellen Umgebungen zumindest prinzipiell möglich.

Dementsprechend zieht Youngblut (1998) aus einer zusammenfassenden Interpretation der in Kapitel 2.5 referierten Evaluationsergebnisse das Fazit, daß diese zur Unterstützung konstruktivistischer Lernaktivitäten grundsätzlich geeignet sind. Insbesondere das entdeckende Lernen (*experiential learning*) und eine angeleitete Untersuchung (*guided-inquiry*) sowie das Lernen mit multiplen Repräsentationen sind meist vorhanden. Zusätzlich wird die Kontrolle der Lerner über Teile des Aneignungsprozesses und die Unterstützung verschiedener Lernertypen ermöglicht (Youngblut, 1998).

Letztlich sind es die eigene Erfahrung im Umgang mit der virtuellen Umgebung und die darin gegebene Möglichkeit zum entdeckenden Lernen, die nach Winn (1993) aufzeigen, inwieweit virtuelle Umgebungen für konstruktivistisches Lernen genutzt werden kann. Deswegen sind nach Winn (1995) drei wichtige Formen der Wissenskonstruktion in virtuellen Umge-

bungen vorhanden, die eine Form des Lernens ermöglichen, daß so in der realen Welt nicht möglich ist: Größe (*size*), Sinnesskalierung (*transduction*) und Verdinglichung (*reification*). Größenveränderungen erlauben es nach Winn (1993), virtuelle Umgebungen zu erstellen, in denen die Skalierung der Phänomene relativ zum Nutzer verändert wird. Dies kann umgesetzt werden indem die Größen der Lerner und der Objekte deutlich verändert sind (mikroskopische und makroskopische Welten) oder indem Zeitverläufe beschleunigt oder vermindert werden. Mit dem Prinzip der Sinnesskalierung beschreibt Winn (1993) die Darstellung normalerweise nicht wahrnehmbarer Sinnesdaten. Durch die Sinnesskalierung werden Informationen, die in ihrer üblichen Form der Wahrnehmung nicht zugänglich, in Formate konvertiert, die der Wahrnehmung zugänglich sind. So können beispielsweise elektromagnetische Felder oder Planetenbahnen betrachtet werden. Nach dem Prinzip der Verdinglichung werden abstrakte Informationen in gegenständliche Formate überführt. Beispielsweise könnte der Graph einer algebraischen Gleichung als räumliche Abbildung erstellt werden, die sowohl am Graph als auch durch ihre Formel direkt manipulierbar wäre (zum Beispiel die Abbildungen von trigonometrischen Funktionen oder von Funktionen im „Komplexen Zahlenraum“).

Die von Winn (1993) dargelegten Formen der Wissenskonstruktion legen naturwissenschaftliche Anwendungsbereiche für den Wissenserwerb mit virtuellen Umgebungen nahe. Denn naturwissenschaftliche Gegenstandsbereiche zeichnen sich im Kontext des Wissenserwerbs besonders durch abstrakte Konzepte und Gesetze aus, die beobachtbaren Phänomenen zugrunde liegen. Eine Besonderheit liegt nun darin, daß die normale Beobachtung der Phänomene wenig oder keinen Bezug zu den abstrakten Konzepten ermöglicht. Vielmehr kommt es darauf an, von einzelnen Beobachtungen zu abstrahieren und Messreihen zu interpretieren, um die Gesetzmäßigkeiten zu verstehen.

Die traditionelle Wissensvermittlung mit Lehrbüchern ermöglicht nur in gewissem Umfang, abstrakte Konzepte konkret darzustellen, ohne in der Genauigkeit der Darstellung unscharf zu werden (vgl. Tabelle 1). Ergänzend kann mit virtuellen Umgebungen eine Individualisierung des Aneignungsprozesses möglich gemacht werden, so daß Lerner ihren persönlichen Aneignungsprozess optimiert gestalten können. Der Vergleich zu traditionellen Formen der Wissensvermittlung (d.h. vor allem Lehrbüchern)

verdeutlicht deswegen auch, welche Vorteile virtuelle Umgebungen für den Wissenserwerb mit sich bringen können. In den üblicherweise vorhandenen Lehrbüchern zur Physik werden vor allem Schaubilder, Tabellen, Graphiken und Fotos eingesetzt, um den Lerninhalt zu veranschaulichen (z.B. in den weitverbreiteten universitären Lehrbüchern zur Experimentalphysik: „Bergmann/Schäfer“ oder „Gerthsen“).

Tabelle 1: Formen der Wissensvermittlung mit verschiedenen Medien.

Medium	Darstellungsdimensionen	Interaktivität	Visualisierung abstrakter Konzepte	Präzision der Darstellung abstrakter Konzepte	Individualisierung des Aneignungsprozesses
Lehrbuch	2D	Kaum möglich	Primär durch 2D-Graphiken	Mäßig	Eher Selektion möglich, da lineare Präsentation
Multimedia und Hypermedia	2D	In begrenztem Umfang möglich	Primär durch 2D-Graphiken, interaktive Graphiken sind möglich	Gut	Individuell möglich
Virtuelle Umgebung	3D	i.d.R. vorhanden; sehr umfassend möglich	Interaktive 3D-Graphiken sind möglich	Gut bis sehr gut	Individuell möglich

In Büchern kann so beispielsweise die Bewegung eines Körpers auf einer Kreisbahn mit Vektorpfeilen veranschaulicht werden, die die auf ihn wirkenden Kräfte darstellen. Oder das elektrische Feld um einen stromdurchflossenen Leiter wird durch elektromagnetische Feldlinien angezeigt. Mit multimedialen Lernumgebungen wird es möglich, die Bewegung eines Gegenstands für den Lerner in simulierter Form manipulierbar zu gestalten. Zusätzlich können die Veränderungen der wirkenden und resultierenden Kräfte in Schaubildern graphisch dargestellt werden. In virtuellen Umgebungen kann schließlich die Interaktion mit Gegenständen auf natürlichere Weise erfolgen. Zusätzlich können genuin dreidimensionale Phänomene wie beispielsweise die Bewegung von Gegenständen im Raum visualisiert und entsprechend ihrer dreidimensionalen Charakteristik abgebildet werden (z.B. die „Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung“). Die Besonderheiten dreidimensionaler virtueller Lernumgebungen sollten sich nach diesem

deskriptiven Vergleich in spezifischen Vorteilen für den Wissenserwerb von eher abstrakten Lerngegenständen niederschlagen.

2.7 Fazit zu virtuellen Umgebungen als Wissensmedien

Die präsentierten Überlegungen zur Darstellung von Wissensinhalten, zu den Eigenschaften virtueller Umgebungen und vorhandene Forschungsergebnisse ergeben eine plausible Basis, um Vorteile in der Aneignung komplexer Lerninhalte mit virtuellen Umgebungen anzunehmen. Virtuelle Umgebungen stellen sich jedoch auch als ein Medium dar, innerhalb dessen sowohl die potentiell lernunterstützenden als auch die potentiell lernhemmenden Einflussfaktoren noch genauer identifiziert und untersucht werden müssen. Welche dieser Faktoren, unter welchen Bedingungen und in welcher Weise wirken, kann somit aus bisherigen Erkenntnissen nur in Ansätzen abgeleitet werden. Potentielle Lerneffekte werden immer in Abhängigkeit von der Struktur und Gestaltung der konkreten virtuellen Umgebung mit ihren Inhalten, ihren Gestaltungsmerkmalen, ihren Interaktionsmöglichkeiten und dem konkreten Nutzungszusammenhang gesehen werden müssen (vgl. Park & Hopkins, 1993; Salomon, 1984; Schnotz, 1997). Es ist jedoch durchaus eine gewisse Vorsicht und Skepsis berechtigt, ob virtuelle Umgebungen alle in sie gesetzten Hoffnungen erfüllen können. Bereits Youngblut (1998) stellt deswegen fest, daß noch keine eindeutigen Daten dazu vorliegen, ob ein klarer und effektiver Vorteil für den Wissenserwerb vorhanden oder zumindest ein Kostenminderungseffekt feststellbar ist. Jedoch zeigen die referierten Studien insgesamt, daß virtuelle Umgebungen für die Anleitung von Lernern im Umgang mit der Konstruktion von Wissen oder beim Lernen von Konzepten, deren Inhalt vor allem auf visuellem Material beruht, geeignet sein sollten.

Neben einer möglichen Optimierung von Lernverläufen beziehen sich weitere psychologisch relevante Fragestellungen auf das *Wissensmedium* virtuelle Umgebung. Sowohl die Wahrnehmungsprozesse, aber auch die Aneignungsprozesse für Wissensinhalte können durch das Medium „virtuelle Umgebung“ beeinflusst werden. Vorhandene psychologische Theorien sollten darüber hinaus grundsätzlich geeignet sein, um Gestaltungsprinzipien für virtuelle Umgebungen abzuleiten, wie es in ähnlicher Form bereits für multimediale Lernumgebungen geschehen ist (vgl. Mayer,

2001 und Kapitel 4). Wie bereits angedeutet wurde, ist das psychologisch besonders hervorzuhebende Merkmal virtueller Umgebungen das Erleben von „Präsenz“. Zu erwarten ist, daß dieses subjektive Erleben nicht ohne Bedeutung für den Lernprozess sein wird. Deswegen wird dies im folgenden Kapitel eingehender betrachtet.

3 *Immersion und Präsenz*

Für einen Benutzer ist das Erleben der virtuellen Umgebung und nicht deren technische Basis das entscheidende Bestimmungsstück. Die zentrale Besonderheit des Erlebens wird nach allgemeiner Ansicht mit dem Begriff „Präsenz“ erfasst (Held & Durlach, 1992; Steuer, 1992; Wickens & Baker, 1995; Schwan & Buder, 2002). Die dem Erleben zugrundeliegenden perzeptuellen und kognitiven Prozesse sind dabei auf der Basis der Merkmale des Mediums einzuordnen. Das Medium wird deswegen mit dem Begriff der „Immersion“ beschrieben, der ein „Eintauchen“ in die virtuelle Umgebung beschreibt. Während nun in einigen Arbeiten Immersion mehr oder weniger mit dem Erleben von Präsenz gleichgesetzt wird (zum Beispiel bei Psozka, 1995), wird andererseits scharf zwischen diesen Begriffen unterschieden (zum Beispiel bei Slater, Usoh & Steed, 1994; Slater & Wilbur, 1997).

So besteht nach Ansicht von Slater und Wilbur (1997) der Unterschied zwischen Immersion und Präsenz darin, daß Immersion eine auf technischer Basis erzeugte mediale Qualität darstellt – hingegen ist Präsenz ein psychisches Erleben, daß die technische Realisierung von Immersion als notwendig voraussetzt (Slater & Wilbur, 1997). In Anlehnung an Slater und Wilbur (1997) wird im Folgenden diese Unterscheidung benutzt. Denn gerade der Unterschied zwischen den Bestandteilen des Mediums und dem menschlichem Erleben sollte wichtige Erkenntnisse über die beteiligten kognitiven Prozesse liefern. Demnach wird unter den Begriffen Immersion und Präsenz zunächst nach Slater und Wilbur (1997) folgendes verstanden:

- *Immersion* umfasst die medialen Qualitäten des technischen Systems, die von außen auf einen Benutzer einwirken und durch die Sinnesorgane wahrgenommen werden (d.h. unter anderem sensorische Auflösung; Anzahl der sensorisch angesprochenen Kanäle oder motorische Handlungsmöglichkeiten);
- *Präsenz* ist das subjektive Erleben, sich innerhalb der virtuellen Umgebung zu befinden.

Der zentrale Unterschied zwischen Immersion und Präsenz liegt demnach darin, daß die Immersion eine Qualität des Mediums und die Prä-

senz ein rein subjektives Erleben ist. Damit bildet die Immersion zwar die mediale Basis der Präsenz, jedoch bleibt das subjektive Erleben der Präsenz davon stets deutlich unterschieden. Diese deutliche Unterscheidung ist in der Literatur nicht selbstverständlich vorhanden. Vielmehr wird unter Immersion zum Teil auch das Erleben der Benutzer mit abgehandelt, oder die technische Basis und die damit erzeugte mediale Immersion werden miteinander vermischt. Grundsätzlich stimmt jedoch die solchermaßen formulierte erste Näherung mit der Mehrheit der in der Literatur auffindbaren begrifflichen Unterscheidungen zwischen Präsenz und Immersion überein (vgl. Barfield, Zeltzer, Sheridan & Slater, 1995; Held & Durlach, 1992; McLellan, 1996; Sadowski & Stanney, 2002; Sheridan, 1992; Slater & Wilbur, 1997; Stanney & Salvendy, 1998; Steuer, 1992).

Zum adäquaten Verständnis von Immersion und Präsenz ist es darüber hinaus notwendig, darauf zu verweisen, daß virtuelle Umgebungen lediglich einen Extrempunkt immersiver Technik darstellen. Auch Fernsehen, Kino, IMAX-Kino, 3D-Kino, Panoramen, Illusionsräume etc. sind Anwendungen immersiver Technik, da auch sie sensorische Informationen bereitstellen, die es ermöglichen, sich in eine künstliche Umgebung oder ein Geschehen hinein zu begeben (vgl. Grau, 2001; Held & Durlach, 1992; Steuer, 1992). Die genannten Medien stellen jedoch keine virtuellen Umgebungen dar. Denn virtuelle Umgebungen sind durch dreidimensionale Darstellungen und eine Interaktivität des Mediums selbst gekennzeichnet. Entsprechend der genannten näherungsweise Definitionen werden im Folgenden zunächst eine detaillierte Analyse der medialen Immersion und anschließend eine Analyse des psychischen Phänomens der Präsenz vorgenommen. Dies wird mit einer präziseren Definition beider Begriffe abgeschlossen.

3.1 Immersion

Das Konzept der Immersion beschreibt ein „Eintauchen“, ein „Versinken“ in das Medium „virtuelle Umgebung“. Die sensorische Bandbreite und Auflösung der erzeugten Daten stellt damit die Grundlage für die perzeptuelle Aufnahme, Verarbeitung und Weiterleitung der Information dar (Sheridan, 1992, 1996). Die Immersion als Kennzeichen des Mediums kann insofern definiert werden als „ ... the extent to which computer displays are capable of delivering an inclusive, extensive,

plays are capable of delivering an inclusive, extensive, surrounding, and vivid illusion of reality to the sense of a human participant“ (Moreno & Mayer, 2002: S. 601).

Dabei greifen Moreno und Mayer (2002) auf ein Konzept von Slater und Wilbur (1997) zurück, die das Konzept „Immersion“ in den Kategorien *inclusiveness*, *extensiveness*, *surround* und *vividness* beschreiben. Zusätzlich wird von Held und Durlach (1992) darauf hingewiesen, daß die Wirkung der Immersion auf den Menschen insbesondere aus sensorischen und motorischen Faktoren sowie den Interaktionsmöglichkeiten mit Objekten besteht. Die Kategorisierungen von Slater & Wilbur (1997) und Held & Durlach (1992) werden nun benutzt, um zunächst den medialen Charakter virtueller Umgebungen (die „Immersion“) detaillierter zu erfassen. Damit soll eine zusammenfassende Ordnung virtueller Umgebungen nach ihrem verschiedenen Grad an Immersion möglich sein.

3.1.1 Immersion nach dem Modell von Slater & Wilbur (1997)

Die Kategorien *inclusiveness*, *extensiveness*, *surround* und *vividness* bilden nach Slater und Wilbur (1997) die zentralen Bestimmungsstücke des Konzepts der Immersion. Dabei verstehen Slater und Wilbur (1997) unter dem Einschluß in die virtuelle Umgebung (*inclusiveness*), inwieweit die reale Umgebung ausgeblendet wird (zum Beispiel durch Schallunterdrückung). Die Ausgedehnthet (*extensiveness*) beinhaltet die Anzahl der benutzten Sinnesmodalitäten, die abgedeckt werden (zum Beispiel nur visuell oder audio-visuell). Die Umgebungskomponente (*surround*) bezieht sich nach Slater und Wilbur (1997) auf das Umfangen oder Einschließen einer Person durch die virtuelle Umgebung. Damit wird zum Beispiel erfasst, ob es sich um eine Panoramadarstellung oder ein eng begrenztes Blickfeld handelt. Mit der Lebendigkeit (*vividness*) erfassen Slater und Wilbur (1997) schließlich die Auflösung und Aktualisierung, mit der eine virtuelle Umgebung für die verschiedenen Sinneskanäle erzeugt wird (zum Beispiel Bildschirmauflösung oder Tonqualität).

Mit diesen vier Kategorien ist es möglich, zwischen gering-immersiven und hoch-immersiven Medien zu unterscheiden (Slater & Wilbur, 1997; Moreno & Mayer, 2002). So ist es im konkreten Fall möglich, verschiedene virtuelle Umgebungen (aber auch andere Medien, wie Kino

oder Fernsehen) anhand dieser Kategorien zu vergleichen und abzuschätzen, wie unterschiedlich immersiv zwei oder mehrere virtuelle Umgebungen sind und in welchen Kategorien sie sich unterscheiden. Das Ausmaß der virtuellen Umgebungen inhärenten Immersion kann dann von geringer Immersion (zum Beispiel illustrierter Text) über mittlere Immersion (multimediale Lern- und Simulationsumgebungen auf Computerbildschirmen) bis hin zu sehr hoher Immersion (eine virtuelle Umgebung in einem CAVE) variieren (vgl. Moreno & Mayer, 2002). Die Unterschiede in der Immersion verschiedener Medien sollten sich auf die Benutzer auswirken. So kann eine hohe Immersion dazu führen, daß die Aufmerksamkeit eines Benutzers beinahe ausschließlich auf das Geschehen in der virtuellen Umgebung gelenkt wird. Eine geringe Immersion hingegen könnte zu einem *split-attention* Effekt führen, wenn ein Benutzer reale und virtuelle Ereignisse der jeweiligen Umgebung zuordnen muss (Slater & Wilbur, 1997).

3.1.2 Immersion nach dem Modell von Held & Durlach (1992)

Held und Durlach (1992) beschreiben in ihrer Kategorisierung die Wirkung der Immersion in drei Aspekten, die sie als die „immersiven Faktoren“ des Mediums bezeichnen:

- die direkt beteiligten sensorischen Faktoren;
- die motorischen Faktoren;
- die Interaktionsmöglichkeiten (die eigene Bewegung und die Manipulation von Objekten).

Sensorische Faktoren: Die sensorischen Faktoren, die nach Held und Durlach (1992) zur Immersion beitragen, sprechen zunächst den visuellen Kanal an: eine hohe Bildschirmauflösung und ein großes Blickfeld (zum Beispiel Bildschirmgröße). Zusätzlich sind Audioinformationen oder taktile Merkmale, aber auch Gerüche möglich. Hinzu kommen die Konsistenz der eingehenden Informationen über die verschiedenen Sinnesmodalitäten hinweg sowie möglichst wenige distrahiende Stimuli (zum Beispiel Bildschirmränder oder die Druck erzeugende Befestigung eines HMD am Kopf; vgl. Held & Durlach, 1992). Eine mangelnde Bildschirmauflösung führt beispielsweise zu einer „Pixel-Haftigkeit“ der computergenerierten Bilder, die sich negativ auf die Immersion auswirkt.

Motorische Faktoren: Die motorischen Faktoren umfassen nach Held und Durlach (1992) die direkten Bewegungen der sensorischen Organe und die davon abhängigen Bewegungen der virtuellen Objekte. Für die Immersion ist es notwendig, die Bewegung und das Verhalten eines Avatars¹⁴ und virtueller Objekte den „normalen“ Bewegungen und dem „normalen“ Objektverhalten anzupassen. Erst dann können sich die Benutzer „leicht“ in die Bewegung der virtuellen Objekte vertiefen. Die Objekte sollten sich deshalb genauso verhalten wie reale Objekte, so daß sich beispielsweise Objekte entsprechend den normalen Schwerkraftverhältnissen bewegen. Bewegungen in einer Art „Schwereelosigkeit“ sollten nur für die Simulation einer Weltraumstation möglich sein (zum Beispiel „fliegen“ statt „gehen“). Auf der Erde oder in einer ähnlich „normalen“ Umgebung hingegen sollte die Bewegung nur in der üblichen Art und Weise ablaufen (Menschen gehen, Autos fahren etc.).

Interaktionsmöglichkeiten: Die Interaktionsmöglichkeiten stellen den dritten Faktor dar, die für den Benutzer wie eine sehr natürliche realitätsnahe Form der Interaktion erscheinen sollen. Hierzu trägt eine aktive Betätigung von Elementen bei (beispielsweise mit Schaltern). Wenn die eigene selbstgesteuerte Bewegung in der virtuellen Umgebung hinzukommt, wird eine eigenständige Exploration der Inhalte möglich. Wenn die Interaktionsmöglichkeiten nach dem Konzept der direkten Manipulation („*direct manipulation*“; Shneiderman, 1998) konzipiert sind, wird die Interaktion als sehr einfach und intuitiv wahrgenommen.

3.1.3 Definition der Immersion

Die drei Faktoren von Held und Durlach (1992) und auch die vier Faktoren von Slater und Wilbur (1997) beschreiben den Zusammenhang von realer und virtueller Umgebung, wie er von der Technik den Benutzern vorgegeben wird. Damit wird das Ausmaß an Immersion in dem Maße ansteigen, in dem die virtuellen Umwelten so „realistisch“ gestaltet werden, daß für die mit der Technik interagierenden Menschen eine Unterscheidung

¹⁴ Mit dem Begriff „Avatar“ wird die computergenerierte Darstellung der eigenen Person und anderer Benutzer einer virtuellen Umgebung bezeichnet. Als Avatare können beispielsweise realitätsnah als Abbildungen von Menschen oder abstrakter als Comicbilder oder Strichzeichnungen gestaltet werden. Eine Sonderstellung nehmen Avatare ein, die keine reale Person repräsentieren, sondern die computergeneriert sind.

zwischen real und virtuell immer weniger möglich wird (Held & Durlach, 1992). Dies würde letztlich eine vollständige Immersion der Person in das Medium bedeuten.

Mit dem Modell von Slater und Wilbur (1997) wird eine Übertragung der technisch erzeugten Darstellung in wahrnehmbare Reize beschrieben, die für den Benutzer das Medium virtuelle Umgebung erst erzeugen. Dieses Modell ist besonders auf die sensorischen Gegebenheiten ausgerichtet. Das Modell von Held und Durlach (1992) betont demgegenüber die motorischen Qualitäten des Mediums und die Handlungsmöglichkeiten, die sich für den Benutzer im Medium virtuelle Umgebung ergeben. Damit ist es deutlicher auf die Handlungen und die Interaktionsmöglichkeiten hin ausgerichtet, die auf der Basis der sensorischen Gegebenheiten möglich sind. Beiden Modellen ist gemeinsam, daß sie die mediale Qualität der virtuellen Umgebungen unter dem Begriff Immersion erfassen. Deswegen ermöglichen beide Modelle eine detaillierte Unterscheidung virtueller Umgebungen auf Basis der darin in unterschiedlichem Maße umgesetzten Immersion.

Daraus ergibt sich für das Konzept der Immersion, daß sich das Medium zunächst mit seinen umfassenden sensorischen Qualitäten für den Benutzer darstellt. Zusätzlich ermöglichen motorische Faktoren und besonders Interaktionsmöglichkeiten nicht nur eine Differenzierung unterschiedlich immersiver virtueller Umgebungen. Die sensorischen Bestandteile der Immersion rücken die Gestaltungsmerkmale mit und auf dem „Bildschirm“ in den Vordergrund, die u.a. die detaillierte räumlich-dreidimensionale Darstellung ergeben. Die motorischen Anteile und die Interaktionsmöglichkeiten verweisen darüber hinaus auf die aktive Nutzung des Mediums und die Auseinandersetzung mit seinen Inhalten.

Da die genannten Merkmale der beiden Modelle in Ansätzen auch in anderen Medien vorhanden sind, ist anzunehmen, daß sich virtuelle Umgebungen nicht immer qualitativ, sondern vor allem quantitativ von diesen unterscheiden. Und auch in verschiedenen virtuellen Umgebungen kann ein unterschiedliches Maß an Immersion umgesetzt sein. Deswegen wird mit dem Konzept der Immersion ein besonders ausgeprägtes mediales Merkmal erfasst, dessen Ausmaß virtuelle Umgebungen gegenüber anderen Medien auszeichnet. Zusammengefasst ergibt sich aus den beiden Modellen fol-

gende Definition der Immersion, als dem herausragenden medialen Merkmal virtueller Umgebungen:

Die Immersion setzt sich aus sensorischen und motorischen Anteilen der Darstellung sowie den Interaktionsmöglichkeiten für die Benutzer in einer virtuellen Umgebung zusammen. Sie wird erzeugt durch ein Ausblenden und Überdecken der realen Umgebung, die Anzahl der benutzten Sinnesmodalitäten und die Lebendigkeit (vividness) der virtuellen Umgebung.

3.2 Präsenz

Ganz allgemein wird mit dem Konzept „Präsenz“ (*presence*) die Erfahrung beschrieben, sich innerhalb einer virtuellen Umgebung anwesend, d.h. „präsent“, zu fühlen (Held & Durlach, 1992; Slater & Wilbur, 1997). Deswegen wird das Konzept der Präsenz üblicherweise als Grundlage genommen, um die psychischen Mechanismen im Umgang mit virtuellen Umgebungen zu verstehen (vgl. Schuemie, Straaten, Krijn & Mast, 2001). Zwischen Immersion und Präsenz bestünde dann folgender direkter Zusammenhang: Je immersiver eine virtuelle Umgebung ist, desto realer sollte sie einem menschlichen Betrachter erscheinen – und desto präsenter sollte er sich darin erleben (vgl. Slater & Wilbur, 1997; Moreno & Mayer, 2002).

3.2.1 Erleben von Präsenz

In derzeit vorhandenen virtuellen Umgebungen ist es nicht möglich, die reale Welt vollkommen auszuschalten, so daß zwangsläufig eine Art Vermischung oder auch ein Konflikt zwischen den sensorischen Informationen aus der realen und der virtuellen Umgebung entsteht (Darken, Bernatovich, Lawson & Peterson 1999). So können zum Beispiel visuelle und auditorische Informationen einander widersprechen: Während über einen Bildschirm die virtuelle Umgebung sichtbar ist (zum Beispiel ein virtuelles Gebäude), sind Umgebungsgeräusche aus der realen Welt hörbar (zum Beispiel aus dem Experimentalraum). Diese sensorischen Informationen der realen Umgebung wirken dann als Distraktoren. Die Präsenz sinkt, wenn die Distraktoren die Aufmerksamkeit auf die reale Umgebung lenken. Und andersherum steigt die Präsenz, wenn die reale Umgebung weitgehend

ausgeblendet wird. Da die sensorischen Informationen weder vollständig aus der realen noch vollständig aus der virtuellen Umgebung stammen, bestimmt letztlich der Benutzer über die Präsenz: Es bleibt dem Benutzer überlassen, seine Aufmerksamkeit auf die reale Umgebung oder die virtuelle Umgebung zu fokussieren und sich in diese „hineinzubegeben“.

Nach ersten begrifflichen Fassungen, Definitionen und Definitionsversuchen ist bislang allerdings keine adäquate *psychologische* Theorie entwickelt worden, die das Phänomen „Präsenz“ erklären oder wirklich adäquat beschreiben kann (vgl. Held & Durlach, 1992; Lombard & Ditton, 1997; Sheridan, 1992). Insofern beschreibt das Konzept „Präsenz“ zunächst vor allem die Bemühungen der Designer und Entwickler, den Benutzern zu suggerieren, daß die medienvermittelte Erfahrung nicht als vermittelt erscheint: *Präsenz ist die perzeptuelle Illusion der Unmittelbarkeit* (Lombard & Ditton, 1997). Diese Illusion, die das vermittelte Erleben als unvermittelt erscheinen lässt, ist dabei nach Lombard und Ditton (1997) die zentrale Idee aller Anstrengungen, die mit einer Erhöhung des subjektiven Gefühls von „Präsenz“ verbunden ist.

Um die konstituierenden Bestandteile der Präsenz genauer zu diskutieren, wird auf das Modell von Steuer (1992) Bezug genommen. Darauf aufbauend können verschiedenen Formen der Präsenz unterschieden werden, die sich als Transzendenz des Mediums durch den Benutzer als eine Form des Erlebens zusammenfassen lassen. In welcher Weise zum Beispiel Vorerfahrungen seitens des Benutzers an diesem Erleben beteiligt sind, wird anschließend mit dem Konzept der Präsenzbereitschaft beschrieben.

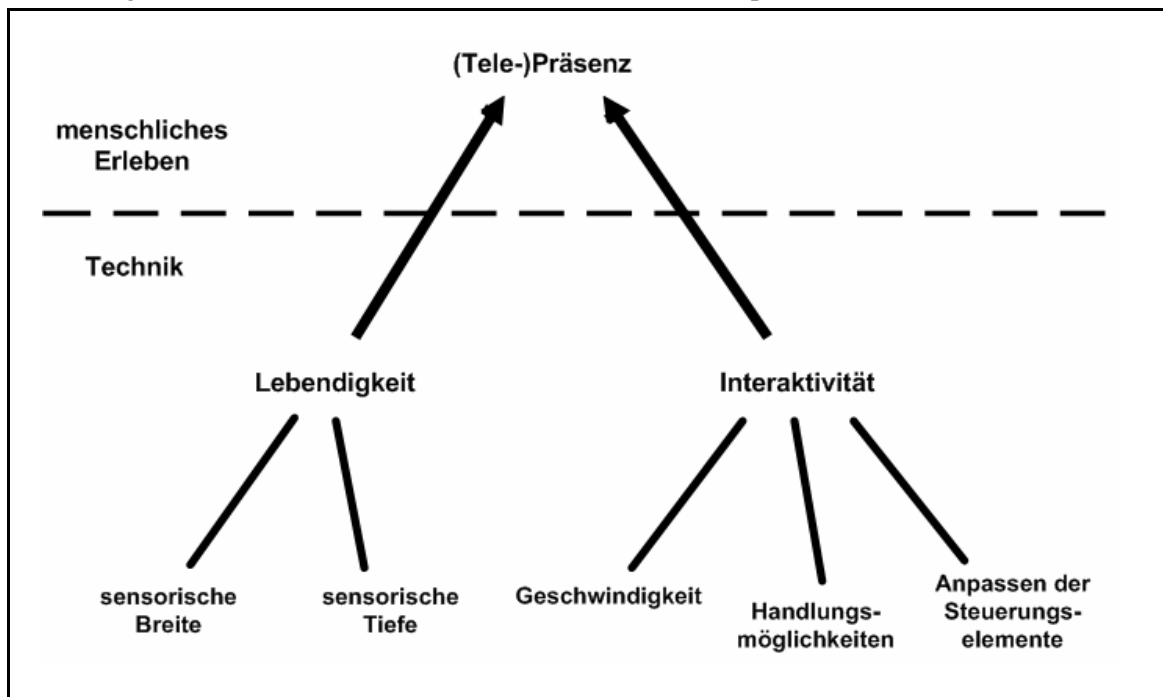
3.2.2 *Präsenz nach dem Modell von Steuer (1992)*

Das Modell von Steuer (1992) beschreibt die Entstehung von Präsenz und Telepräsenz auf Seiten des Benutzers auf Basis der zugrunde liegenden Merkmale des Mediums. Dieses Modell identifiziert zwei mediale Einflussfaktoren, die über das Erleben von Präsenz und Telepräsenz bestimmen (vgl. Abbildung 10):

- die Lebendigkeit (vividness) des Mediums und
- das Ausmaß an Interaktivität.

Die „Lebendigkeit“ des Mediums setzt sich aus der sensorischen Breite und der sensorischen Tiefe zusammen. Hierunter fallen zum Beispiel die verwendete Bildschirmauflösung oder Bildwiederholfrequenz, aber auch Intensität und Extensität der angesprochenen Sinnesmodalitäten (Barfield & Hendrix, 1995; Prothero & Hoffman, 1995; vgl. Kapitel 3.2.3).

Abbildung 10: Einflussfaktoren auf Präsenz (übersetzt und adaptiert nach Steuer, 1992).



Das Ausmaß an Interaktivität setzt sich für den Benutzer aus der Geschwindigkeit der Interaktion, den vorhandenen Handlungsmöglichkeiten und den Anpassungsmöglichkeiten der Steuerungselemente zusammen. So wäre in einer „idealen“ virtuellen Umgebung eine Echtzeit-Interaktion möglich, in der keine wahrnehmbaren Verzögerungen zwischen Handlung und Effekt auftraten. Die Handlungsmöglichkeiten wären umfassend und entsprächen den üblichen Möglichkeiten in der realen Welt. Das Anpassen der Steuerungselemente würde es ermöglichen, diese so weit wie möglich überflüssig zu machen, so daß die technische Steuerung möglichst wenig mit der eigentlichen Handlung und Bewegung interferiert (vgl. Steuer, 1992). Dies wird in der Regel nur in begrenztem Maße realisiert sein, da bislang keine in diesem Sinne „perfekte“ Steuerungsmöglichkeit entwickelt worden ist.

3.2.3 Empirische Ergebnisse zu Wirkfaktoren auf das Präsenzerleben

Inzwischen liegen bereits einige Studien zu den Einflussfaktoren auf Präsenz vor, die zumeist den Effekt technischer Merkmale des Mediums virtuelle Umgebung auf das Präsenzerleben untersucht haben. So zeigten Barfield & Hendrix (1995) zunächst, daß das Präsenzerleben durch erhöhte Bildwiederholffrequenzen verbessert wurde, allerdings zeigte sich keine weitere Verbesserung bei Frequenzen zwischen 15Hz und 20Hz.

In der Studie von Welch, Blackmon, Liu, Mellers & Stark (1996) wurde in zwei Untersuchungen der Effekt einer realistischen Darstellung, das Ausmaßes an Interaktivität sowie der Verzögerung einer visuellen Rückmeldung auf das Präsenzerleben untersucht. Den Probanden wurden jeweils zwei Paare virtueller Umgebungen in Form einer simulierten Fahraufgabe präsentiert, die sich in diesen Faktoren voneinander unterschieden. Nachdem die Teilnehmer in beiden Umgebungen gewesen waren, sollten sie angeben, welche Umgebung bei Ihnen zu höherem Präsenzerleben führte und dies auf einer Skala von 1 bis 100 eingetragen. Nach den Ergebnissen von Welch et al. (1996) führen eine realistische Darstellung und eine höhere Interaktivität zu einem erhöhten Präsenzerleben, während dies durch eine Verzögerung der visuellen Rückmeldung vermindert wird.

In einer Studie von Hendrix & Barfield (1996a) wurde der Einfluß von drei Faktoren auf das Präsenzerleben untersucht: das Vorhandensein einer Echtzeit-Anpassung des Systems an Kopfbewegungen („*head-tracking*“), das Vorhandensein von stereoskopischen Reizen sowie die Größe des Bildausschnitts auf dem Bildschirm. Der Bildschirmausschnitt variierte in drei Stufen von 10, 50 und 90 Grad des Blickfeldes. In jeder Bedingung haben die Teilnehmer nach der Interaktion mit der virtuellen Umgebung einen Fragebogen zum Präsenzerleben ausgefüllt. Hendrix & Barfield (1996a) konnten zeigen, daß eine Echtzeit-Anpassung des Systems an Kopfbewegungen und ein vergrößerter Bildausschnitt das Präsenzerleben erhöhten. Die Ergebnisse von Prothero & Hoffman (1995) zeigen in ähnlicher Weise, daß eine Einschränkung des Sehfeldes durch eine Maske das Erleben von Präsenz verminderte. Des weiteren zeigen die Ergebnisse von Hendrix & Barfield (1996a), daß stereoskopische Reize den räumlichen Realismus der virtuellen Umgebung erhöhten und, daß dies in höherem Präsenzerleben resultierte. Weiterhin ergaben die Ergebnisse von

Hendrix & Barfield (1996a) eine signifikant positive Korrelation zwischen dem Präsenzerleben und der Interaktion mit der virtuellen Welt. In einer Untersuchung von Hendrix & Barfield (1996b) zum Einfluß von auditiven Reizen wurde ergänzend gezeigt, daß auch „Raumklang“ einen signifikanten Effekt gegenüber einer Bedingung mit nicht-räumlichen Klängen oder einer Bedingung ohne Klangeindruck auf das Präsenzerleben hatte.

In einer Studie von Barfield & Weghorst (1993) wurde betrachtet, welche Merkmale einer virtuellen Umgebung sich auf die Navigierbarkeit der Umgebung und die Ausbildung einer kognitiv-räumlichen Landkarte auswirken. Das Präsenzerleben zu den Varianten der virtuellen Umgebung wurde mit Fragebögen erfasst. Die Ergebnisse von Barfield & Weghorst (1993) zeigen, daß vor allem eine unproblematische Interaktion und die Qualität des Bildsystems der virtuellen Umgebung das Präsenzerleben positiv beeinflussen. Parallel dazu wirkte sich dies ebenfalls positiv auf die angenehm empfundene Interaktion mit der virtuellen Umgebung aus, die als Vergnügen (*enjoyment*) berichtet wurde (Barfield & Weghorst, 1993).

Den Einfluß der Zuschreibung einer inhaltlichen Bedeutung auf das Präsenzerleben untersuchten Hoffman, Prothero, Wells & Groen (1998). In dieser Studie wurden Schachspielern bedeutungshaltige oder zufällig angeordnete Spielsituationen in einer virtuellen Umgebung namens *Virtual-Chess* vorgegeben. Das von den Spielern mit einem Fragebogen erhobene Präsenzerleben war bei den bedeutungshaltigen Spielsituationen signifikant höher (Hoffman et al., 1998).

Diese Untersuchungsergebnisse lassen zu den Wirkfaktoren zunächst erkennen, daß sich entsprechend des Modells von Steuer (1992) die technischen Qualitäten des Mediums maßgeblich auf das Präsenzerleben auswirken (Barfield & Hendrix, 1995; Barfield & Weghorst, 1993; Hendrix & Barfield, 1996a, 1996b; Welch et al., 1996). Zusammenfassend lässt sich aus den Befunden ableiten, daß das Präsenzerleben vermindert wird, wenn eine Ablenkung der Benutzer durch die Hardware des Systems erfolgt oder wenn sich die Benutzer auf die Interaktion mit den Geräten konzentrieren müssen. Hinzu kommen Hinweise, daß sich auch die inhaltliche Bedeutung der dargestellten Inhalte zum Präsenzerleben beitragen (Hoffman et al., 1998).

3.2.4 Definition der Präsenz

Das Modell von Steuer (1992) liefert einen Rahmen zur Einordnung virtueller Umgebungen, das nicht die technische Basis in den Vordergrund stellt, sondern vielmehr die Technik als Grundlage für das Erlebnis des Nutzers betrachtet. Im Gegensatz zu stärker technischen Modellen wird bei Steuer (1992) deutlich zwischen Technik und menschlichem Erleben unterschieden. Aus dieser Unterscheidung wird ersichtlich, daß der Benutzer nicht etwa passiver Rezipient der technischen Qualitäten des Mediums, sondern aktiver Verarbeiter der dargebotenen Informationen ist. Somit ergibt die Erlebnisqualität der Interaktion für den Benutzer eine wichtige Komponente der kognitiven Verarbeitung, die unter Umständen mit anderen stärker funktional ausgerichteten kognitiven Prozessen interferieren kann. Aus diesen Überlegungen folgt eine Definition der Präsenz, die auf dem Erleben im Umgang mit der virtuellen Umgebung basiert:

Präsenz beschreibt das Erleben des Benutzers, sich innerhalb des Mediums „virtuelle Umgebung“ zu empfinden. Dieses Erleben basiert primär auf der interaktiven Nutzung und der Lebendigkeit (vividness) des Mediums.

Auf der mit dieser Definition gelegten Grundlage können nun unterschiedliche Formen der Präsenz unterschieden werden. Diesen Formen gemeinsam ist eine Transzendenz des Mediums, die dazu beiträgt, daß das Medium für den Benutzer zu verschwinden scheint. Das aktuelle Erleben von Präsenz begründet sich in personal stabilen Attributen, die als Präsenzbereitschaft beschrieben werden.

3.2.5 Formen der Präsenz

Das Erleben der Benutzer wurde vor allem mit den Konzepten der personalen Präsenz, der Telepräsenz und der virtuellen Präsenz beschrieben. Diese unterschiedlichen Formen der Präsenz lassen sich anschließend im nächsten Kapitel als Transzendenz des Mediums durch den Benutzer zusammenfassend beschreiben.

Personale Präsenz: Das individuelle Erleben von Präsenz wird von Heeter (1992) als *Personale Präsenz* bezeichnet: der Benutzer erlebt sich

selbst im Medium („*Being There*“, Heeter, 1992)¹⁵. Damit beschreibt die Personale Präsenz das, was im allgemeinen und bislang auch in dieser Arbeit unter dem weniger trennscharf gebrauchten Begriff „Präsenz“ subsumiert wurde. Gerade die Personale Präsenz beinhaltet die Erfahrung des eigenen „Eintauchens“ in die virtuelle Umgebung, die mit der Immersion des Mediums stattfindet. Die personale Präsenz der Lerner in Wissensmedien kann auf sehr unterschiedliche Art und Weise umgesetzt werden (Schwan & Buder, 2002; Wickens & Baker, 1995): Die Darstellung der eigenen Person kann allgemein aus einer Perspektive erster Person (ich sehe durch „meine“ Augen) oder dritter Person (ich sehe meinem Avatar über die Schulter) erfolgen¹⁶.

Innerhalb der Personalen Präsenz wird die beschriebene Erfahrung in Abhängigkeit vom System und der beteiligten technischen Möglichkeiten auch als Telepräsenz (Held & Durlach, 1992; Lombard & Ditton, 1997; Steuer, 1992) oder als virtuelle Präsenz (Sheridan, 1992) bezeichnet (vgl. Zhao, 2003).

Telepräsenz: Der Begriff Telepräsenz wurde im Zusammenhang mit Telerobotik-Systemen geprägt (Held & Durlach, 1992; Minsky, 1980), wie sie unter anderem in Kraftwerken (zum Beispiel der Brennelement-Austausch in Atomkraftwerken) oder in der Medizin (besonders in der Mikrochirurgie) angewendet werden¹⁷. Im Falle der Telepräsenz fühlt sich ein menschlicher Benutzer an der Stelle, an der durch Roboterarme auf seine Eingaben hin Handlungen ausgeführt werden. Zum Beispiel, wenn ein Chirurg eine reale Operation ausführt, indem das Skalpell durch ein technisches System mit einem Roboterarm geführt wird. Zur Steuerung des Roboters benutzt der Chirurg zwei Greifarme und sieht die Arbeit der Roboterarme auf einem Bildschirm. Die Kombination von Greifarmen und Roboterarmen ermöglicht eine millimetergenaue Arbeit, da die relativ groben

¹⁵ Heeter (1992) unterscheidet des weiteren in *Soziale Präsenz* (andere Wesen, lebendige oder synthetische, existieren ebenfalls in der virtuellen Umgebung und scheinen auf den Benutzer zu reagieren) und in die *Umgebungspräsenz* (die Umgebung selbst scheint zu „wissen“, daß ein Benutzer darin vorhanden ist und reagiert scheinbar auf diesen). Diese beiden Konstrukte besitzen für diese Arbeit keine nähere Bedeutung, so daß sie nicht genauer betrachtet werden.

¹⁶ Ein sehr umfassendes Repertoire für verschiedene Perspektiven bietet zum Beispiel die netzbasierte virtuelle Umgebung von „www.worlds.com“.

¹⁷ So zum Beispiel am *European Institute of Telesurgery* in Strasbourg; weitere Informationen sind verfügbar unter „www.ircad.org“ oder unter „www.virtual-surg.com“.

Bewegungen der Greifarme in feine Bewegungen der Roboterarme übertragen werden (dieses Verhältnis ist grundsätzlich beliebig skalierbar).

Als entscheidenden Faktor für eine optimale Telepräsenz sehen Held und Durlach (1992) eine hohe Übereinstimmung zwischen den Bewegungen des Benutzers und den davon abhängigen Bewegungen des Roboters sowie deren Abbildung für den Benutzer an. Ein gutes und adäquates sensorisches Feedback über die Bewegungsausführung soll hier, vermittelt durch die Empfindung von Telepräsenz, zu besserer Performanz führen. Es steht demnach auch zu erwarten, daß die Telepräsenz mit der Vertrautheit mit dem System ansteigen wird (Held & Durlach, 1992). Zusammengefasst wird mit dem Begriff "*Telepräsenz*" das Phänomen beschrieben, daß sich ein menschlicher Benutzer zusammen mit *realen, aber entfernten Objekten* physisch präsent fühlt (Held & Durlach, 1992; Schloerb, 1995; Sheridan, 1992; Zhao, 2003).

Virtuelle Präsenz: Mit dem Begriff virtuelle Präsenz (*virtual presence*) bezeichnet Sheridan (1992) das Phänomen, daß sich ein Mensch in einer durch einen Computer hergestellten Ansicht physisch präsent fühlt. Die virtuelle Präsenz unterscheidet sich nach Sheridan (1992) von dem Konzept der Telepräsenz, denn mit dem Konzept der virtuellen Präsenz wird erfasst, daß sich ein Benutzer in einer vollständig computergenerierten Umgebung bewegt. Mit Handlungen in der virtuellen Umgebung wäre dann keine reale Entsprechung verbunden, sondern nur eine Manipulation von virtuellen, computergenerierten „Objekten“ in der computergenerierten „Szenerie“. Denn die virtuellen „Objekte“ sind letztendlich nichts anderes als über ein *Interface* abgebildete Daten. So würde im Beispiel der VESUB-Umgebung (Abbildung 7) ein U-Boot-Kommandant zwar „Schalter“ oder „Regler“ betätigen können, ohne daß die für ihn sichtbaren Reaktionen des Systems eine reale Entsprechung hätten.

Der Unterschied zwischen virtueller Präsenz und Telepräsenz kann so beschrieben werden, daß Telepräsenz aus einer sensorischen Extension besteht, während virtuelle Präsenz aus einer sensorischen Simulation entsteht. Dies bedeutet in Bezug auf die personale Präsenz in einer virtuellen Umgebung, daß diese in der Regel als virtuelle Präsenz einzuordnen ist. Nur in wenigen Ausnahmefällen wird den virtuellen Aktionen eine realweltliche Entsprechung zuzuordnen sein.

3.2.6 Präsenz als Transzendenz des Mediums

Aus einer kommunikations- bzw. informationswissenschaftlichen Sichtweise heraus sehen Lombard und Ditton (1997) den Kern des Konzepts der „Präsenz“ in einer *perzeptuellen Illusion der Unmittelbarkeit*. Diese 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. Auf psychologischer Ebene stehen nach Lombard und Ditton (1997) speziell bei einem solcherart „unsichtbar“ werdenden Medium angenehme Effekte wie Genuß und Vergnügen im Vordergrund. Dies sollte besonders dann der Fall sein, wenn die Interaktion der Anwender hoch ist und wenn weniger Aufgabenperformanz oder Fähigkeitenerwerb als vielmehr Unterhaltungsaspekte betont werden (Lombard & Ditton, 1997). Diese Transzendenz des Mediums und seiner Symbole wird beispielsweise auch bereits bei Texten erreicht, wenn die einzelnen Buchstaben oder Wörter „verschwinden“ und nurmehr der Inhalt des Textes wahrgenommen wird.

Das „Verschwinden“ des Mediums erfolgt dabei durch den Nutzer in zweierlei Weise (Lombard & Ditton, 1997). Einerseits kann das Medium für den Nutzer verschwinden, d.h. transparent erscheinen und wie ein „großes offenes Fenster“ funktionieren. Dann teilen sich der Anwender und die Inhalte dieselbe Umgebung – der Anwender ist in der Umgebung: er fühlt sich darin „präsent“. Andererseits kann das Medium für den Benutzer so erscheinen, als wäre das Medium in eine handelnde Einheit transformiert. Dies bedeutet, das Medium „handelt“. Es verhält sich wie eine eigenständig agierende Einheit. Die Ursachen und Effekte des „unsichtbaren Mediums“ und des „in eine handelnde Einheit transformierten Mediums“ werden von Lombard und Ditton (1997) in Formvariablen, Inhaltsvariablen sowie Mediennutzervariablen beschrieben.

Der erste Fall des „unsichtbaren Mediums“ beschreibt das Verschwinden des Mediums für den Benutzer, der gerade dadurch die Unmittelbarkeit der Interaktion erlebt. In ähnlicher Weise ermöglicht die „vierte Wand“-Regel im Theater¹⁸ eine unmittelbare Wahrnehmung des Gesche-

¹⁸ Die „vierte-Wand-Regel“ besagt, daß die Schauspieler auf der Bühne so handeln sollen, als wäre der Bühnenrand eine Wand. Das Schauspiel soll dadurch für die Zuschauer als realisti-

hens auf der Bühne als direkter, aber unbeteiligter Beobachter (vgl. Aarseth, 1997). Das Phänomen Präsenz resultiert dabei nach Lombard und Ditton (1997) auf der Ebene der formalen Variablen aus den Aspekten der Umgebung, die die sensorische Reichhaltigkeit und Lebendigkeit (*vividness*) der Umgebung bestimmen. Als solche sind beispielsweise die Anzahl und die Konsistenz des sensorischen Outputs, die Charakteristika der visuellen Darbietung wie Bildqualität, -größe, Farbe, Dimensionalität oder Kamertechniken zu sehen (d.h. als Immersion). Genauso gehören auch Charakteristika der auditorischen Präsentation und die Interaktivität der virtuellen Umgebung dazu. Die inhaltlichen Variablen im „unsichtbaren Medium“ beziehen sich auf die vorhandenen Objekte in der virtuellen Umgebung, also zum Beispiel menschliche und nichtmenschliche Charaktere und Personen oder Aufgaben und Handlungen. Hierzu zählt auch der soziale Realismus der Interaktion, d.h. der Gebrauch üblicher Verhaltensweisen im Medium (Verhalten von anderen Personen oder Gegenständen). Die individuellen Erfahrungen zeigen sich in diesem Fall besonders in der Bereitschaft, sich auf die Präsenz einzulassen. Das bedeutet, daß Benutzer dazu bereit sein müssen, ihre Zweifel an der „Realität“ der angebotenen Möglichkeiten zu überwinden (Lombard & Ditton, 1997).

Der zweite Fall des „in eine handelnde Einheit transformierten Mediums“ erfasst nach Lombard und Ditton (1997), daß sich die virtuelle Umgebung wie eine „handelnde Einheit“ verhält und von Benutzern als solche wahrgenommen wird. Die Objekte in der virtuellen Umgebung scheinen beinahe autonom zu handeln, so daß die Ereignisse in der virtuellen Umgebung ähnlich dynamisch und selbständig ablaufend wie in der realen Umgebung erscheinen. Die formalen Variablen bestehen dann in dem Ausmaß an angebotener Interaktivität oder der Größe und dem Format des Mediums (Bildschirmgröße, Sehwinkel etc.). Die inhaltlichen Variablen des „in eine soziale Einheit transformierten Mediums“ betreffen wiederum den sozialen Realismus, d.h. den Gebrauch der üblichen Verhaltensweisen in Bezug auf Personen oder Gegenstände und die Art, in der eine Aufgabe oder Handlung in der virtuellen Umgebung auszuführen ist (Lombard & Ditton, 1997).

sches Geschehen erfahrbar werden. Deswegen ignorieren die Schauspieler die Anwesenheit der Zuschauer während der Darbietung.

Mit dieser Unterscheidung weisen Lombard und Ditton (1997) darauf hin, daß ein Benutzer das Medium virtuelle Umgebung unter Umständen gar nicht als Medium wahrnehmen möchte. Vielmehr kann es für die Benutzern angenehmer sein, das Medium auszublenden, damit es sie nicht behindert.

3.2.7 Präsenzbereitschaft

Ein subjektives Erleben von Präsenz in einer virtuellen Umgebung kann erreicht werden, in dem zwei Bedingungen erfüllt sind (Nichols, Haldane, & Wilson 2000). Erstens muss die virtuelle Umgebung aus gestalterischer und aus technischer Sicht in der Lage sein, eine ausreichendes Erleben zu produzieren (hinreichende Immersion). Zweitens muss seitens des Benutzers die Bereitschaft vorhanden sein, sich in die virtuelle Umgebung hineinzubegeben (notwendige Bereitschaft). Demnach sind eine perspektivische Illusion, die Illusion der Interaktivität der Umgebung sowie ein mentales Einverständnis der beteiligten Person (*mental collusion*; Nichols et al., 2000) notwendige Bedingungen für die Akzeptanz „dreidimensionaler Darstellungen“ als „virtueller Umgebungen“. Das damit verbundene psychische Geschehen ist dann vor allem mit der Bereitschaft verknüpft, die irrealen Umgebung als eine reale Umgebung anzusehen, also das Wissen um die Künstlichkeit der Umgebung aufzugeben (*willing suspension of disbelief*; Heeter, 1992; Laurel, 1993). Neben der technischen Basis stellt damit die persönliche Bereitschaft der handelnden Person einen subjektiven Faktor dar, der aufgrund von Vorerfahrungen und Vorannahmen darüber entscheidet, ob eine Person sich als „präsent“ in der virtuellen Umgebung „erlebt“.

So würde ein ungeübter Benutzer zunächst ausprobieren, inwieweit das Verhalten von Objekten in der virtuellen Umgebung der realen Welt oder anderen bekannten virtuellen Umgebungen entspricht. Dementsprechend sollte eine gewisse Übung im Umgang mit virtuellen Umgebungen dazu führen, daß Benutzer sich schneller an diese anpassen. Damit einher geht die subjektive Bereitschaft der Benutzer, sich in die virtuelle Umgebung hinein zu versetzen. Diese Bereitschaft sollte deswegen erstens umso ausgeprägter vorhanden sein, je geübter ein Benutzer im Umgang mit virtuellen Umgebungen ist. Hinzu kommt zweitens die Gewohnheit, sich in andere Umgebungen vielfältiger Natur hinein zu begeben, sich subjektiv

auf ein solches Erleben einzulassen und das Medium mehr oder weniger auszublenden (zum Beispiel auch mit Büchern oder Spielfilmen). Neben der persönlichen Erfahrung der Benutzer im Umgang mit virtuellen Umgebungen bestimmt somit deren Bereitschaft, sich in andere vielfältige Umgebungen hinein zu begeben, darüber, inwieweit ein Präsenzerleben subjektiv vorbereitet ist (vgl. Held & Durlach, 1992).

Zu beachten ist, daß die Präsenzbereitschaft nicht nur im Zusammenhang mit virtuellen Umgebungen, sondern auch mit Fernsehen, Kino, Büchern und anderen Medien zu sehen ist. In (kunst-)historischen Studien sind vielfältige Versuche nachweisbar, die darauf hinweisen, daß in jeder Epoche versucht wurde, mit den jeweiligen technischen Möglichkeiten künstliche Räume mit der Illusion einer „virtuellen Umgebung“ zu schaffen (Grau, 2001). In der heutigen Zeit ist es gerade das Geschehen von Spielfilmen, in das sich Menschen zur Unterhaltung hineinversetzen, um die Empfindungen wichtiger Personen und Ereignisse mitzuerleben. Aber auch Romane und Geschichten können bekanntlich dazu führen, daß Leser oder Zuhörer davon „gepackt“ werden. Die Erfahrung mit diesen Medien spielt deswegen eine weitere wichtige Rolle um einzuordnen, in welchem Ausmaß Präsenzbereitschaft vorhanden ist (Lombard & Ditton, 1997), weil bis jetzt virtuelle Umgebungen im Alltag noch nicht weit verbreitet sind und andere Medien dominieren.

3.3 Zusammenhang zwischen Immersion und Präsenz

Aufgrund der ausführlich dargelegten Konzepte und der darin angesprochenen Zusammenhänge lassen sich nach dem derzeitigen Wissensstand in Bezug auf die Interaktion von Präsenz und Immersion folgende (vorläufige) Schlüsse ziehen:

1. *Immersion* ist ein mediales Merkmal, das ein „Eintauchen“ in eine neue Umgebung ermöglicht. Hierbei spielen insbesondere die Konsistenz und Kohärenz der vermittelten sensorischen Daten, die möglichst naturgetreue Darstellung der abgebildeten Objekte und Akteure sowie die Ausschaltung distrahierender Reize eine Rolle.
2. Die *Präsenz*, das subjektive Empfinden, sich innerhalb der virtuellen Umgebung zu befinden, wird dann als Folge der Immersion, also der objektiven sensorisch vermittelten Umgebung angesehen

(Moreno & Mayer, 2002). Nach Steuer (1992) sind es die „Lebendigkeit“ und die Interaktivität der virtuellen Umgebung, die zur Präsenz beim Benutzer führen. Diese Faktoren entfalten ihre Wirkung je nach vorhandener Präsenzbereitschaft der Personen.

Eher hypothetisch, aber in der Literatur wiederholt auffindbar, besteht dabei ein direkter Zusammenhang zwischen Immersion und Präsenz: Je immersiver eine virtuelle Umgebung ist, desto realer sollte sie einem menschlichen Betrachter erscheinen – und desto präsenter sollte sich er sich darin erleben (vgl. Slater & Wilbur, 1997; Moreno & Mayer, 2002). Deswegen kommt der Immersion des Mediums „virtuelle Umgebung“ und dem Erleben von Präsenz durch die Lerner für den Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen eine besondere Bedeutung zu. Denn das persönliche Erleben der Situation und die damit einhergehende kognitive Verarbeitung werden sich voraussichtlich auf die Lernprozesse und den Wissenserwerb auswirken.

3.4 Präsenz und das Konzept des „flow“

Grundsätzlich stellt sich die Frage, was entscheidend für das psychische Erleben ist: die computergenerierte immersive virtuelle Umgebung oder andere Merkmale wie die subjektive Bereitschaft der Immersion zu folgen, personal stabile Attribute oder auch Aufgabenrelevanz und Lerninhalte oder eine komplexe Interaktion. Der angenommene Einfluss technischer Determinanten auf das Erleben in virtuellen Umgebungen wurde von Petersen und Bente (2001) dem Einfluss motivationaler Komponenten gegenübergestellt. Dabei wurde mit zwei Computerspielen ein unterschiedliches Ausmaß an Lebendigkeit (*vividness*) und Interaktivität vorgegeben. Die Ergebnisse von Petersen und Bente (2001) deuten darauf hin, daß die technischen Merkmale virtueller Umgebungen unter Umständen einen deutlich geringeren Einfluss auf die Komponenten des *Erlebens* virtueller „Realität“ besitzen, als häufig angenommen wird. Das Erleben virtueller Umgebungen wird demnach durch spezifische Kontexte der Nutzung maßgeblich mitbestimmt. Es ließ sich eine beträchtliche positive Wirkung der Aufgabenrelevanz auf die Beteiligung der Versuchspersonen, ihre Konzentration auf die Aufgabenbearbeitung sowie ihre subjektive Bewertung

hinsichtlich des „*enjoyment*“ (Barfield & Weghorst, 1993) der Interaktion zeigen (Petersen & Bente, 2001).

Die Bestandteile virtueller Umgebungen, mit denen Präsenz erzeugt werden kann, können aus psychologischer Sicht mit verschiedenen Strukturen des kognitiven Systems in Verbindung gebracht werden. Die subjektive Bereitschaft zu einem Präsenzerleben kann als Folge motivierender Faktoren betrachtet werden, die als subjektiv stabile Attribute zu diesem Erleben beitragen. Eine Beschreibung des Erlebens der virtuellen Umgebung zeigt damit Ähnlichkeiten zu dem Konzept des *flow*-Erlebens¹⁹ (vgl. Alsdorf & Bannwart, 2002; Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1991; Csikszentmihalyi & LeFevre, 1989; Petersen & Bente, 2001). Das *flow*-Erleben definiert Csikszentmihalyi (1975: S.36) als „... a holistic sensation that people feel, when they act with total involvement“. Demnach ist der Zustand des *flow* ein Zustand der fokussierten Aufmerksamkeit – ähnlich den Erfahrungen der durch Drogen oder Meditation vermittelten „Trance“ – und mit dem Konzept des *flow* wird eine Form der mentalen Absorption durch eine Tätigkeit bezeichnet. Die äußere Umgebung mit ihren Geräuschen und sonstigen Distraktoren verschwindet im subjektiven Erleben (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1991; Csikszentmihalyi & LeFevre, 1989).

3.4.1 Untersuchungen zum *flow*-Erleben

Das Konzept des *flow* wurde in den letzten Jahren in mehreren Studien zum Lernen und Arbeiten mit computerbasierter Kommunikation und mit Multimedia-Lernumgebungen untersucht. So konnte in den Untersuchungen von Ghani und Deshpande (1993) sowie Webster, Trevino und Ryan (1993) gezeigt werden, daß das Auftreten von *flow* in der Mensch-Computer-Interaktion zwar bestimmten Bedingungen unterliegt, jedoch auch positive Wirkungen auf das Nutzerverhalten bewirken kann. So müssen die Benutzer die Interaktion mit dem Computer für kontrollierbar halten, ihre Aufmerksamkeit muss auf die Interaktion fokussiert sein und das Neugierverhalten des Benutzers muss während der Interaktion angeregt werden (Ghani & Deshpande, 1993). Dann entsteht ein *flow*-Erlebnis, das

¹⁹ Zu übersetzen wäre „flow“ etwa als im „Fluß“ einer Tätigkeit zu sein.

sich nach (Ghani & Deshpande, 1993) positiv auf eine Form des Explorationsverhaltens auswirkte.

In der Untersuchung von Webster et al. (1993) wurden der Einfluß des *flow*-Erlebens auf die Nutzung eines e-mail-Programms untersucht. Hierzu wurden Mitarbeiter der Buchhaltung eines größeren Unternehmens befragt und die Anzahl der bearbeiteten und nicht-bearbeiteten e-mails im persönlichen Posteingang erfasst. Ein höheres *flow*-Erleben korrelierte signifikant positiv mit dem subjektiven Ausmaß und der Effektivität der Kommunikation sowie mit dem objektiven Einsatz des e-mail-Programms. Die Ergebnisse von Webster et al. (1993) zeigen demnach, daß ein höheres *flow*-Erleben mit der intensiveren Nutzung von Technik einhergehen kann.

Das *flow*-Erleben in der Interaktion mit einer Hypermedia-Lernumgebung wurde von Konradt und Sulz (2001) untersucht, wobei den Lernern unterschiedliche Aufgabentypen vorgegeben wurden. Einerseits wurden die Teilnehmer aufgefordert, sich über die Inhalte einer umfangreichen Lernumgebung zu informieren. Andererseits wurde das Verstehen der Lerninhalte als Aufgabe vorgegeben. Die erhobenen Maße des Lernens betrafen Wissensinhalte, strukturelles Wissen und Transferwissen. Die Ergebnisse von Konradt und Sulz (2001) zeigen, daß ein *flow*-Erleben unabhängig von den vorgegebenen Aufgabenstellungen auftreten kann. Allerdings ließ sich keine Verbesserung des Lernergebnisses durch das *flow*-Erleben nachweisen (Konradt & Sulz, 2001).

Eine genauere Erfassung des *flow*-Erlebens in der Nutzung von Computerspielen wurde von Rheinberg und Vollmeyer (2003) untersucht. In dieser Studie wurden der Effekt einer Anforderungsvariation (unterschiedliche Schwierigkeitsstufen des verwendeten Computerspiels *Roboguard*) und die hypothetischen Zusammenhänge zwischen Personenmerkmalen und *flow*-Erleben untersucht. Das erhobene Maß zum *flow*-Erleben war die *Flow*-Kurzskala von Rheinberg, Vollmeyer und Engeser (2002). Aus den Ergebnissen leiten Rheinberg und Vollmeyer (2003) die Arbeitshypothese ab, daß unter optimalen Bedingungen der Initialmotivation keine weitere Bedeutung zukommt, wenn die Person erst einmal im *flow*-Zustand ist. Dies trifft insbesondere auf den Zustand der Absorbiertheit zu.

Zusammengefasst weisen das Konzept des *flow* und die vorgestellten Ergebnisse darauf hin, daß das subjektive Erleben der Interaktion mit com-

puterbasierten Inhalten zwar vermittelt einer erhöhten Konzentration auf die Inhalte zu verbesserten Lernleistungen führen *kann*, aber nicht *muss*. Die kognitive Komponente des *flow*-Erlebens ergibt Hinweise darauf, daß es sich um Aufmerksamkeitsprozesse handelt, die dem Erleben zugrunde liegen. Eine starke Fokussierung der Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Material und eine Absorbiertheit durch die Situation kann dann zu einem Zustand *mentaler Absorption* führen. Diese kognitive mentale Absorption spiegelt dabei nach Wild, Kuiken und Schupflocher (1995) das Ausmaß wieder, in dem Objekte identifiziert, wahrgenommen und elaboriert werden. Dabei wird die situationale Komponente der Aufmerksamkeit maßgeblich durch das Arbeitsgedächtnis bestimmt (vgl. das Modell der situationalen Aufmerksamkeit von Endsley, 1995).

3.4.2 Präsenz und flow-Erleben

Die Analogie zwischen dem *flow*-Erleben und der Präsenz erschließt sich daraus, daß es in beiden Fällen darum geht, Distraktoren auszublenden. Im Falle des *flow*-Erlebens geht es um das *Ignorieren* von Reizen, die mit Handlungen oder Tätigkeiten konkurrieren. Demgemäß kann mit dem Begriff *flow* das Empfinden verstanden werden, innerhalb der realen Umgebung eine subjektive Umgebung *internal* herzustellen (ähnlich einer imaginierten, suggerierten oder geträumten Umgebung; vgl. Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1991). Bei der Präsenz hingegen ist es das Eintauchen in die virtuelle Umgebung, währenddessen die Wahrnehmungsreize der realen Umgebung *nicht wahrgenommen* werden (Petersen & Bente, 2001). Im Falle der Präsenz handelt es sich somit um eine *external* erzeugte und medial vermittelte (hier: computergenerierte) Umgebung, die für den Benutzer durch reale sensorische Reize erzeugt wird. Allerdings ist es wiederum ein interner Verarbeitungsprozess, der dazu führt, daß das handelnde Individuum die virtuelle Umgebung *internal* als seine Umgebung erschafft.

Die internale Erschaffung einer eigenen subjektiv „realen“ Umgebung stellt damit eine Gemeinsamkeit zwischen den beiden Konzepten her: in beiden Fällen ist es das handelnde Individuum, das eine Art von Umgebung *internal* erzeugt. Allerdings beschreibt das Konzept des *flow* das Erleben einer Situation oder Handlung (Csikszentmihalyi, 1975). Beim Konzept der *Präsenz* hingegen handelt es sich darum, das subjektive Erleben zu

erfassen, das mit dem Eintauchen in die virtuelle Umgebung einher geht (Petersen & Bente, 2001).

Um den Erlebensaspekt des *flow*-Erlebens genauer zu erfassen, beschreiben Wild et al. (1995) dieses Erlebnis vor allem als eine Art psychischer Absorption durch ein Erleben (*experiential involvement*; andere Aspekte werden mit den Konstrukten *aesthetic experience*, intrinsische Motivation oder *peak experience* beschrieben; vgl. Wild et al., 1995). Zentraler Bestandteil dieser psychischen Absorption ist dabei eine selektive mentale Aufmerksamkeit, die dazu führt, daß das Individuum distrahierende Ereignisse ausblendet (vgl. Tellegen & Atkinson, 1974). Der skizzierte Zusammenhang zwischen *flow*-Erleben und Präsenz erschließt sich somit aus der Überlegung, daß mit beiden Zuständen eine Art *mentaler Absorption* einhergeht. Demnach würde die Präsenz eines Benutzers zunächst aus der Immersion des Mediums folgen, aber zusätzlich eine gewisse Eigendynamik entfalten, die zu einem ähnlichen Zustand wie beim *flow*-Erleben führt. Präsenz kann deswegen als Phänomen verstanden werden, bei dem ein Benutzer die virtuelle Umgebung so stark erlebt, daß er von ihr mental absorbiert wird.

Für das Erleben virtueller Umgebungen bedeuten die Ergebnisse zum *flow*-Erleben, daß es aufgrund einer flexiblen Fokussierung und Steuerung der Aufmerksamkeitszuwendung Benutzern sehr gut möglich ist, distrahierende Reize auszublenden und ihre Wahrnehmung schnell und flexibel an neue Gegebenheiten anzupassen. Aufgrund ihrer hochflexiblen Wahrnehmung und Interpretation von Reizen sollte es Menschen demnach möglich sein, computergenerierte Bilder und Szenen ähnlich wie eine „reale“ Umgebung wahrzunehmen. Falls weniger technische Merkmale als subjektive Zustände, aber auch Vorannahmen und Vorerfahrungen sowie Aufgabencharakteristika und Vorwissen zu einem Lernerfolg führen, so entspräche dies empirischen Ergebnissen, die bereits zu anderen Medien vorliegen (vgl. Cennamo, 1993).

3.5 Präsenz und Wissenserwerb

Bislang lassen sich nur wenig substantielle Befunde zur Wirkung der Präsenz auf kognitive Verarbeitungsprozesse oder auf Lernen vorstellen. Implizit wurde zumeist davon ausgegangen, daß sich eine möglichst hohe

Präsenz positiv auf die Aufgabenperformanz auswirkt (vgl. Wilson, 1997). Allerdings sind auch Befunde vorhanden, die auf negative Wirkungen einer hohen Präsenz schließen lassen.

3.5.1 Positive Erwartungen zur Wirkung der Präsenz

Eine positive Erwartung zur Lernförderlichkeit der Präsenz beruht letztlich auf folgendem Argument: Je immersiver eine virtuelle Umgebung erscheint desto realer wird sie wahrgenommen und umso höher ist die Präsenz der Person. Je höher die Präsenz des Lerners, desto besser, desto konzentrierter werden die Aufgaben bearbeitet und desto effektiver wird der Lernerfolg (vgl. Moreno & Mayer, 2002; Stanney, Kingdon, Graeber & Kennedy, 2002; Stanney & Salvendy, 1998).

Die kognitiven Vorteile hoch-immersiver Umgebungen sollten demzufolge zunächst darin bestehen, daß sie die begrenzten Aufmerksamkeitskapazitäten der Lerner stärker auf das Verstehen des inhaltlichen Materials als auf das *Interface* richten können (Hoffman et al., 1998). Idealerweise sollten demnach Teilnehmer, die eine hohe Präsenz erleben, die virtuelle Lernumgebung als eine besuchte Umgebung empfinden und weniger als betrachtete Bilder oder Filme und dementsprechend ihre Teilnahme wie ein Verhalten enkodieren, das in der alltäglichen Realität stattgefunden hat (Slater & Wilbur, 1997).

Vorliegende Forschungsergebnisse unterstützen darüber hinaus die Annahme, daß die Reichhaltigkeit der perzeptuellen Reize und das multimodale Feedback (visuell, auditorisch, haptisch etc.) den Transfer von Trainingsleistungen aus der virtuellen Umgebung in Fertigkeiten in der realen Welt fördern (Jonassen, Peck & Wilson, 1999; Regian & Shebilske, 1992; Schank, 1997). In Bezug auf kognitive Lernprozesse in virtuellen Umgebungen sollten Lerner mit einer höheren Präsenz in der Umgebung deswegen besser, d.h. „aktiver“, lernen als Lerner, die eine Aufgabe eher „passiv“ ausführen, d.h. sich primär dem Erleben der Umgebung und weniger der kognitiven Reflexion widmen (vgl. Moreno & Mayer, 2000; Norman, 1993).

In eine ähnliche Richtung weisen die empirischen Ergebnisse zum Lernen mit virtuellen Umgebungen. In der Untersuchung von Moreno und Mayer (2000) zeigte sich, daß Lernern mit einem höheren Präsenzerleben

die Bearbeitung einer Aufgabe besser gelang als Lernern, die eine Aufgabe eher beobachteten. Im Vergleich zwischen hoch- und niedrig-immersiven Umgebungen zeigte sich auch in der Untersuchung von Moreno, Mayer, Spires und Lester (2001), daß Lerner intensiver lernten, wenn sie mit einem animierten Agenten in einem *desktop*-Computerspiel zu Umweltwissenschaften interagieren, als wenn sie sich dasselbe Material in statischer Form als Bildschirmtext mit Illustrationen aneigneten. In der Untersuchung von Mania und Chalmers (2001) zum Einfluss von unterschiedlichen Präsentationsbedingungen (reale Umgebung, nur-Audio, *desktop-VR*, *Head-Mounted-Display*) zeigte sich jedoch kein Zusammenhang zwischen der Präsenz und den erhobenen Behaltensmaßen für Lerninhalte. Die erhobenen Präsenzwerte bei Mania und Chalmers (2001) waren am höchsten für die reale Umgebung und wiesen keine Unterschiede zwischen den technologiebasierten Experimentalbedingungen auf. Allerdings handelte es sich in der Untersuchung von Mania und Chalmers (2001) um eine Lernumgebung, in der die Aufgabenbearbeitung nicht direkt von der verwendeten Umgebung abhängig war und in der keine interaktive Manipulation der integrierten Elemente erfolgte.

Schließlich untersuchten Moreno und Mayer (2002) die zentral erscheinende „Medienfrage“ (vgl. Kapitel 2.5): Inwieweit unterscheiden sich niedrig-immersiv und hoch-immersiv virtuelle Umgebungen in ihrer Wirkung auf Lernen und Wissenserwerb. Hierbei zeigte sich, daß Teilnehmer, die in einer höher-immersiven virtuellen Umgebung lernen, *nicht immer* ein besseres Resultat aufwiesen. Die aus der Multimedia-Forschung bekannten instruktionalen Prinzipien, die in dieser Untersuchung zu einem Lernerfolg in Medien führen, erschienen jedoch über die verschiedenen Medien zumindest ähnlich zu sein (dies wurde zum Beispiel in Bezug auf den Modalitätseffekt von auditorischem vs. visuellem Material zwischen *desktop*-Computeroberfläche und *Head-Mounted-Display* nachgewiesen; vgl. Moreno & Mayer, 2002).

Die Realisierung einer möglichst realitätsgetreuen Abbildung, die für möglichst hohe Präsenz notwendig sein sollte, scheint dabei nicht immer maßgeblich am Lernerfolg beteiligt zu sein (vgl. Kapitel 4). Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus den Ergebnissen zum Lernen mit Fernsehsendungen (Salomon, 1983, 1984, 1991, 1994), Videos (Cennamo, 1993; Cennamo, Savenye & Smith, 1991), computerbasierten Simulationsumgebungen

(de Jong, 1991; de Jong, de Hoog & de Vries, 1993; de Jong & van Joolingen, 1998; Veenman & Elshout, 1995; Veenman, Prins & Elshout, 2002) sowie computerbasierten multimedialen Lernumgebungen (unter anderem: Mayer, Mautone & Prothero, 2002; Moreno & Mayer, 2002; Sweller, 1988; Sweller, Merrienboer & Paas, 1998). Gerade die Ergebnisse, die mit „traditionellen“ Medien zur Auseinandersetzung mit Lerngegenständen gewonnen wurden, sind hier von besonderem Interesse, wenn es darum geht, die Möglichkeiten dieses Mediums effektiv zu nutzen.

3.5.2 *Negative Erwartungen zur Wirkung der Präsenz*

Trotz der grundsätzlich erwarteten positiven Wirkungen der Präsenz können doch negative Wirkungen nicht ausgeschlossen werden. Ein intensives Empfinden von Präsenz kann beispielsweise im Extremfall bei sehr schnellen Bewegungssequenzen in virtuellen Umgebungen mit Symptomen der Simulatorübelkeit mit ähnlichen Symptomen wie bei der Seekrankheit einhergehen (*simulator sickness*; Stanney, Kennedy, Drexler & Harm 1999; Stanney & Salvendy, 1998). Spätestens dann wird wohl kein Lernerfolg mehr feststellbar sein.

In der Untersuchung von Moreno und Mayer (2000) zeigte sich ein indirekter Beleg für einen negativen Einfluss der Präsenz auf den Lernerfolg. Denn Moreno und Mayer (2000) wiesen nach, daß die auditive Darbietung irrelevanter Geräusche (in diesem Fall Musik) in einer multimedialen Lernumgebung das Lernen stört. Der mögliche positive Effekt der atmosphärischen Umgebungsgeräusche hätte im Sinne einer allgemeinen Erregungshypothese interpretiert werden können. Denn eine hohe Präsenz sollte sich auf physiologischer Ebene nach Lombard und Ditton (1997) insbesondere in einem allgemein erhöhten Erregungsniveau (*arousal*) äußern. Nach einer allgemeinen Erregungshypothese hätte eine erhöhte Anregung mit einer Aufmerksamkeitsfokussierung auf die multimediale Umgebung einhergehen können (Moreno und Mayer, 2000). Dies hätte zu einer tieferen Verarbeitung der Inhalte beitragen sollen. Diese Erregungshypothese konnte jedoch in diesem Fall nicht bestätigt werden.

3.5.3 *Unabhängigkeit von Präsenz und Wissenserwerb*

Die unterschiedlichen Ansichten ob Medien oder Medienattribute das Lernen positiv oder negativ beeinflussen können, stehen grundsätzlich der Möglichkeit gegenüber, daß Medien das Lernen grundsätzlich nicht beeinflussen (Clark, 1994; Clark & Craig, 1992). Vielmehr wären es nach Ansicht von Clark (1994) adäquate instruktionale Methoden, die den Lernerfolg beeinflussen und die zu unterschiedlichen Lernergebnissen führen. Die Perspektive von Clark (1994), daß Medien grundsätzlich nicht am Lernerfolg beteiligt sind, führt zu der Überlegung, daß weder die Immersivität einer virtuellen Umgebung noch das resultierende Präsenzerleben den Wissenserwerb beeinflussen sollten. Hingegen wären es der Lerninhalt und die instruktionale Strategie, die in der virtuellen Umgebung implementiert sind, die den Wissenserwerb ermöglichen oder unterstützen würden.

Im Kern besteht die Argumentation von Clark (1994) daraus, daß es jeweils verschiedene einzelne Medienattribute sind, die jeweils dieselben oder ähnliche kognitive Funktionen unterstützen. Dies hat zur Folge, daß keine eindeutige Zuordnung zwischen Medienattributen und kognitiven Prozessen möglich ist. Direkte Beziehungen zwischen Medienattributen und kognitiven Funktionen wären somit nicht feststellbar und die Medienattribute würden lediglich als Vermittlungsinstanzen für andere Variablen dienen, die eine Funktion im Aneignungsprozess besitzen (Clark, 1994). Um dieser Annahme entgegenzutreten, wäre für virtuelle Umgebungen zu fordern, daß eine direkte Verbindung zwischen den Medienattributen und dem Lerngegenstand bzw. den beteiligten kognitiven Prozessen zu identifizieren ist.

Denn gerade eine sorgfältige Aufklärung der beteiligten kognitiven Prozesse und ihre Berücksichtigung in der Gestaltung von Medien würde aus Sicht von Kozma (1991, 1994) dazu beitragen, zu erklären, wie Medien den Wissenserwerb unterstützen. Es ist des weiteren festzustellen, daß sich Clark (1994) mit seiner Kritik auf einen eher technischen Medienbegriff stützt. Dies wurde von Salomon kritisiert, der darauf hinweist, daß sich Medien insbesondere durch die darin verwendeten Symbolsysteme unterscheiden (vgl. Salomon, 1979, 1994). Nach Ansicht von Salomon sind es gerade die Symbolsysteme, die es erlauben, einen Bezug zu kognitiven Prozessen herzustellen (vgl. Kapitel 4.2). Aus seiner Sicht wären es somit

die verschiedenen Symbolsysteme in Medien, die dazu führen, daß Wissen in verschiedenen Medien in unterschiedlichem Ausmaß und auf unterschiedliche Weise erworben wird.

Insgesamt ist festzuhalten, daß die Forderung eine direkte Verbindung zwischen den Medienattributen und dem Lerngegenstand bzw. den beteiligten kognitiven Prozessen zu identifizierbaren, gerade im Falle dreidimensional gestalteter virtueller Umgebungen die Chance bietet, die These von Clark (1994) zu widerlegen. Denn gerade ein genuin dreidimensionaler Lerngegenstand sollte durch ein Medium, daß dieses Merkmal des Lerngegenstands adäquat abbilden kann, einen effizienteren und effektiveren Wissenserwerb ermöglichen können. Insofern könnte der mit virtuellen Umgebungen verbundene technische Fortschritt aufzeigen, warum oder unter welchen Bedingungen die Aussage, das Medien per se nicht lernförderlich sind, gerechtfertigt ist oder auch nicht. Grundsätzlich bedeutet dies allerdings auch, daß durchaus die Möglichkeit besteht, daß sich weder die Immersion noch das Präsenzerleben in irgendeiner Weise auf den Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen auswirken.

3.6 Messung der Präsenz

Da es sich bei Präsenz um einen subjektiven Zustand handelt, sind einige Probleme in der Messung dieses Konstruktes festzustellen. Versuche, ein objektivierbares Maß zur Erfassung der Präsenz zu finden, wurden auf mehreren Wegen angegangen (vgl. Schuemie et al., 2001):

- *kontinuierliche Rückmeldung*: die Versuchsteilnehmer geben über eine geeignete Meßapparatur kontinuierlich die von ihnen im Verlauf der Untersuchung wahrgenommene Präsenz wieder (zum Beispiel über einen Schieberegler);
- *Verhaltensbeobachtung der Teilnehmer*: Reaktionen oder Reflexe gegenüber gezeigten Objekten; in therapeutischen Settings das Verhalten gegenüber emotional belastenden Stimuli (zum Beispiel gegenüber einer Spinne bei Arachnophobie);
- *gleichzeitige Aufgabenbearbeitung in virtueller und realer Umgebung*: dies geschieht unter der Prämisse, daß eine erhöhte Performanz die Aufgabenbearbeitung verbessert oder verkürzt, d.h. je

schneller die Bearbeitung der Aufgabe in der virtuellen Umgebung, desto höher die Präsenz;

- *Unterscheidbarkeit von Ereignissen*: die Erinnerung für reale und virtuelle Ereignisse gibt Auskunft über die Präsenz; bei vorausgesetzter analoger Verarbeitung der Inhalte sollten Akkuratheit und Detailtreue der reproduzierten Inhalte Auskunft über die erlebte Präsenz geben;
- *Integration externaler Stimuli*: die (falsche) mentale Integration eines externalen Ereignisses in die Erinnerung an die virtuelle Umgebung wird als Beleg für hohe Präsenz in eben dieser virtuellen Umgebung angesehen.

All diese Maße und Meßmethoden wurden bislang eingesetzt, ohne daß sich ein allgemeines Maß für Präsenz herausgebildet hätte. Dies hat zur Folge, daß einige Ergebnisse aus Studien, die mit sehr unterschiedlichen Methoden und Verfahren arbeiten, nur eingeschränkt vergleichbare Ergebnisse liefern (vgl. Schuemie et al., 2001). Da die Messung der Präsenz allerdings in den meisten Fällen mit der Präsenz selbst interferiert, wurden zumeist Selbstauskünfte der Teilnehmer erhoben, um diesen Störfaktor auszuschalten. Deswegen wurden zur Bestimmung der subjektiv empfundenen Präsenz in der Regel Fragebögen mit subjektiven Einschätzungsskalen eingesetzt (vgl. Moreno & Mayer, 2002; Nash, Edwards, Thompson & Barfield, 2000; Schuemie et al., 2001).

Das am weitesten verbreitete Messinstrument sind die Fragebögen von Witmer und Singer (1998) zum subjektiven Präsenzerleben (*Presence Questionnaire; PQ*) und zur allgemeinen Bereitschaft, sich in synthetische und virtuelle Umgebungen hineinzusetzen (*Immersion Tendency Questionnaire; ITQ*). Weitere Meßverfahren sind meist nur in einzelnen Untersuchungen eingesetzt worden und enthalten sämtlich wesentlich weniger Items. So wurde in mehreren Untersuchungen der Arbeitsgruppe um Mel Slater das Präsenzerleben zum Teil mit einem einzigen Item (z.B. Slater & Usoh, 1993) oder mit einer Präsenz-Skala bestehend aus drei Items (z.B. Slater, Usoh & Steed 1994) erfasst. Bei Barfield & Weghorst (1993) wurde das Präsenzerleben ebenfalls mit einer Skala aus drei Items gemes-

sen²⁰. Mit anderen Fragebögen wurden speziellere Formen des Präsenzerlebens erhoben (z.B. die Behandlung eines Computers als einem „sozialen Akteur“ bei Nass, Moon, Fogg, Reeves & Dryer, 1995). Der *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) von Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993) schließlich fragt in Form einer Checkliste die physiologischen Symptome von Übelkeit und Schwindel ab.

Die meisten der genannten und einige weitere, ähnliche Fragebögen bilden den Itempool der Items, die von Witmer und Singer (1998) zu zwei Fragebögen zusammengestellt wurden („*Presence Questionnaire*“ und „*Immersion Tendency Questionnaire*“). Diese Fragebögen von Witmer und Singer (1998) geben die bislang strukturierteste Itembasis für die Messung von Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft ab. Da sich die Fragebögen von Witmer und Singer (1998) sowohl aus Items für hoch-immersive virtuelle Umgebungen (u.a. CAVE, HMD, Datenhandschuh) als auch für gering-immersive virtuelle Umgebungen zusammensetzen, wird es jeweils notwendig, eine Teilmenge der vorhandenen Items auszuwählen oder die vorhandenen an die konkreten Besonderheiten anzupassen. Diese beiden Fragebögen sind zudem als bestgeeignetes Messinstrument für Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft anzusehen, da sie im Gegensatz zu anderen Fragebögen zumindest ein gewisses Maß an statistischer Validierung der Skalen erfahren haben.

Presence Questionnaire (PQ): Der *Presence Questionnaire* (Witmer & Singer, 1998) erfasst mit 32 Items insgesamt vier konzeptuell abgeleitete Faktoren. Darunter fallen (1) ein Kontrollfaktor, (2) ein sensorischer Faktor, (3) ein Distraktorfaktor sowie (4) ein Realismusfaktor. Der Gesamtwert des PQ ergibt dann eine Einschätzung des subjektiven Erlebens von Präsenz seitens einer Person, die kurz zuvor eine virtuelle Umgebung besucht hat. Im Kontrollfaktor wird die Kontrolle über die Ereignisse in der virtuellen Umgebung, die Unmittelbarkeit der Kontrolle, die Antizipation der Ereignisse, der Modus der Kontrolle (gewohnte oder ungewohnte Kontrollmodi) sowie die Modifikationsmöglichkeiten der physischen Umwelt zusammengefasst. Der sensorische Faktor umfasst die sensorische Modalität,

²⁰ Umfassende Itemlisten aus verschiedenen Studien zur Präsenz in virtuellen Umgebungen, Fernsehen etc. finden sich auf der website der International Society for Presence Research: „www.temple.edu/mmc/ispr/measure.htm“.

die Reichhaltigkeit der Umgebung, die multimodale Präsentation, die Konsistenz der multimodalen Information, das Ausmaß der Bewegungswahrnehmung sowie die aktive Suchmöglichkeit. Als Distraktorfaktor wird die Isolation von der aktuellen physischen Umgebung, die selektive Aufmerksamkeit auf die virtuelle Umgebung sowie die Aufmerksamkeit bezüglich des Mediums aufgefasst. Der Realismusfaktor beinhaltet das realistische Aussehen des Interfaces, also die Darstellung und die Konsistenz der Information mit der realen Welt, die Bedeutungshaltigkeit der Erfahrung sowie das Ausmaß an Desorientierung beim Verlassen der virtuellen Umgebung. Die Messung erfolgt anhand eines semantischen Differentials auf einer siebenstufigen Likert-Skala (Witmer & Singer, 1998). Zur Überprüfung der Konstruktvalidität wurde von Witmer und Singer (1998) eine Clusteranalyse durchgeführt, die drei Subskalen ergab:

- *Involviertheit / Kontrolle (11 Items)*: die wahrgenommene Kontrolle über die Ereignisse in der virtuellen Umgebung;
- *Natürlichkeit (3 Items)*: die wahrgenommene Natürlichkeit der Interaktion mit der virtuellen Umgebung (Konsistenz mit der Realität, Natürlichkeit der Bewegung);
- *Interface-Qualität (3 Items)*: die Interferenz oder Ablenkung von der zu bearbeitenden Aufgabe durch Steuerungsmechanismen oder Bildschirmmerkmale.

Die interne Konsistenz des *Presence Questionnaire* geben Witmer & Singer (1998) mit $\alpha=0,81$ (Cronbach's α) an. Von den eingesetzten 32 Items korrelierten 27 signifikant mit dem Präsenz-Gesamtwert. Durch eine Reduktion des Itempools auf 19 Items konnte eine Erhöhung der internen Konsistenz auf $\alpha=0,88$ erreicht werden. Wegen des großen Umfang des *Presence Questionnaires* mit 32 Items verzichteten Witmer & Singer (1998) auf eine faktorenanalytische Auswertung, da die vorliegenden Daten hierfür als nicht ausreichend eingeordnet wurden.

Immersion Tendency Questionnaire (ITQ): Der *Immersion Tendency Questionnaire* (Witmer & Singer, 1998) misst die Bereitschaft einer Person, sich in einer virtuellen Umgebung immersiv zu „verhalten“. Damit ist nach Ansicht von Slater (1999) eine „subjektive Immersion“ im Sinne einer Bereitschaft, sich in die Umgebung hineinzubegeben, operationalisiert.

Nach den definitorischen Setzungen dieser Arbeit (s.o.) sowie aus einer Analyse der Items des ITQ heraus erscheint es sinnvoll, den ITQ als Maß für personale Vorerfahrungen und die persönliche Bereitschaft anzusehen, sich in die virtuelle Umgebung hineinzusetzen. Damit erfüllt der ITQ die Bedingungen, die an ein Maß für personal stabile Attribute zu stellen sind, die sich auf das Konzept „Präsenz“ auswirken, wie es in Kapitel 3.2 beschrieben ist. Eine Clusteranalyse der Subskalen des ITQ durch Witmer und Singer (1998) ergab drei Bereiche, die folgenden Inhalten entsprechen:

- *Involvierung (7 Items)*: beschreibt den Hang, sich weniger eher passiv erscheinenden Aktivitäten zuzuwenden (z.B. Fernsehen);
- *Focus (7 Items)*: erfasst den Zustand der mentalen Wachsamkeit, d.h. sich gezielt Tätigkeiten zuzuwenden und Distraktoren auszublenken;
- *Spiele (2 Items)*: erfasst die Häufigkeit der Nutzung von und der Involviertheit in Videospiele.

Die interne Konsistenz des *Immersion Tendency Questionnaire* wurde von Witmer & Singer (1998) mit $\alpha=0,75$ (Cronbach's A) angegeben. Von den erhobenen 29 Items korrelierten 23 signifikant mit dem Gesamtwert der Präsenzbereitschaft („*Immersion Tendency*“). Mit einer Reduktion der Itemzahl auf 18 erreichten Witmer & Singer (1998) eine interne Konsistenz von $\alpha=0,81$. Eine faktorenanalytische Auswertung wird von Witmer & Singer (1998) nicht berichtet, da hierfür die vorliegenden Daten nach ihren Angaben nicht ausreichten.

Der *Immersive Tendency Questionnaire* bildet das Pendant zum *Presence Questionnaire*, um die allgemeine Bereitschaft zum Erleben von Präsenz und zu Vorerfahrungen von Präsenz mit verschiedenen Medien zu erfassen. Zwischen den beiden Fragebögen wurde von Witmer & Singer (1998) eine schwache, aber signifikante Korrelation festgestellt ($r=0,24$; $p<0,01$). Des Weiteren berichten Witmer & Singer (1998) eine signifikant negative Korrelation zwischen dem *Presence Questionnaire* und dem *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) von Kennedy et al. (1993) von $r=-0,43$ ($p<0,001$).

Der *Presence Questionnaire* und der *Immersion Tendency Questionnaire* bedürfen grundsätzlich noch einer umfassenden Validierung, um als

reliables und valides Messinstrument im testtheoretischen Sinne zu gelten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch sind sie die Messinstrumente, zu denen die meisten Informationen zu Skaleneigenschaften und Reliabilität berichtet wurden. Demzufolge wurden sie bereits mehrfach in Studien zum Lernen mit virtuellen Umgebungen eingesetzt oder dienten als Itembasis für Untersuchungen (z.B. bei Moreno & Mayer, 2002). Somit bilden diese beiden Fragebögen die Messinstrumente der Wahl zur Erfassung von Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft.

3.7 Fazit zu Immersion und Präsenz

In diesem Kapitel wurde zunächst eine klare Unterscheidung zwischen der medialen Immersion und der subjektiv erlebten Präsenz hergestellt. Diese möglicherweise überspitzt erscheinende Trennung ist notwendig, um deutlich zwischen den Gegebenheiten des Mediums einerseits und dem damit verbundenen, aber in Teilen auch unabhängig davon entstehenden Erleben der Benutzer andererseits zu unterscheiden.

Die bislang recht unklare Forschungslage zum Lernen in virtuellen Umgebungen spiegelt dieses theoretische Defizit deutlich wider. Eine klare und eindeutige Operationalisierung des Faktors Immersion bedarf einer sauberen Definition desselben, die hiermit vorliegt. Ebenfalls kann das subjektive Erleben von Präsenz nur dann sauber gemessen werden, wenn deutlich ist, worauf dieses Erleben zurückzuführen ist und aus welchen Bestandteilen es besteht. Bis hierhin lässt sich damit zu den bislang formulierten Erkenntnissen zum Zusammenhang zwischen Immersion, Präsenzbereitschaft und Präsenz und dem resultierenden Wissenserwerb folgendes festhalten:

1. Immersion ist der entscheidende Faktor des Mediums virtuelle Umgebung, der die Basis des subjektiven Erlebens bildet. Die Immersivität des Mediums trägt beim Benutzer des Mediums zum Ausblenden der realen Umgebung bei, so daß sich dieser grundsätzlich in die virtuelle Umgebung hineinbegeben kann. Der Einfluß der Immersivität der virtuellen Umgebung auf den Wissenserwerb zeigt sich vermittelt des beim Lerner hervorgerufenen Präsenzerlebens. Hinzu kommen die Möglichkeiten zur Interaktion und zur Darstellung der Lerninhalte, die in der virtuellen Umge-

bung vorhanden sind. Diese fließen einerseits in die Immersion mit ein und andererseits sind sie wichtige Elemente des Wissenserwerbsprozesses.

2. Entsprechend der vorhandenen Präsenzbereitschaft wird beim Benutzer das Erleben von Präsenz vorbereitet. Unter die Präsenzbereitschaft fallen insbesondere Vorerfahrungen mit anderen Medien sowie die persönliche Bereitschaft, sich auf das Erleben einzulassen und Distraktoren auszublenden. Zu erwarten ist, daß der Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen durch die Präsenzbereitschaft mittelbar beeinflusst wird, da höhere Präsenzbereitschaft zu höherem Präsenzerleben führt.

3. Der Begriff der Präsenz beschreibt das aktuelle Erleben des Nutzers oder Lernalters, sich in einer virtuellen Umgebung zu befinden. Diese aktuell erlebte Präsenz basiert auf der Immersivität des Mediums und der persönlichen Präsenzbereitschaft. Zu erwarten ist, daß kognitive Lernprozesse und der Wissenserwerb umso erfolgreicher stattfinden, je höher das Präsenzerleben ist.

Bevor der bisherige Erkenntnisstand in eine empirisch prüfbare Fragestellung überführt werden kann, ist es zunächst notwendig, genauer zu untersuchen, in welcher Weise kognitive Lernprozesse dem Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen zugrunde liegen. Nach einer detaillierten Analyse zu kognitiven Lernprozessen in Medien in Kapitel 4 soll deswegen das vorhandene Wissen zusammengefasst und auf die spezifischen Bedingungen virtueller Umgebungen angewendet werden. Erst anschließend wird es möglich sein, genauer zu beschreiben, wie sich der mediale Faktor Immersion, der Erlebnisfaktor Präsenz und die davon beeinflussten kognitiven Lernprozesse in virtuellen Umgebungen auf den Wissenserwerb auswirken können.

4 Kognitive Lerntheorien

Das Lernen in und mit virtuellen Umgebungen kann unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden. Insgesamt sind zum mediengestützten Lernen verschiedene Forschungsansätze vorhanden, die ausgehend vom Lernen mit statischen Bildern und illustrierten Texten (vgl. Clark & Paivio, 1991; Mayer & Anderson, 1991; Paivio, 1986; Sweller, 1988) zu kognitiven Theorien des multimedialen Lernens weiter entwickelt wurden (Mayer, 1997, 2001; Schnotz & Bannert, 1999). Bislang existiert allerdings keine Theorie, die explizit die Lernprozesse in virtuellen Umgebungen thematisiert. Daher ist es notwendig, auf theoretische Ansätze Bezug zu nehmen, die im Kontext multimedialer Wissensrepräsentationen oder anderer Medien wie Fernsehen und Video aufgestellt wurden.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß ein Lernen in und mit virtuellen Umgebungen ein Lernen mit Medien ist. Deswegen wird das Lernen in virtuellen Umgebungen nicht nur abhängig von der Präsenz sein. Vielmehr wird die Basis des Lernens durch kognitive Prozesse gebildet. In anderen Forschungstraditionen zum Lernen mit Medien wurden diese besonders mit dem Konzept des *mental effort* und dem Konzept der *cognitive-load*-Theorie²¹ untersucht. Mit der Betrachtung virtueller Umgebungen als *Medien* und genauer als *Wissensmedien*, soll unter Einbezug von Konzepten und Forschungsergebnissen zu anderen Medien weitere Hinweise darauf herausgearbeitet werden, auf welche Weise kognitive Lernprozesse in virtuellen Umgebungen unterstützt werden können. Auf dieser Basis sollen anschließend Hypothesen zur Wirkung charakteristischer Merkmale virtueller Umgebungen auf den Wissenserwerbsprozess formuliert werden.

Die Konzepte des *mental effort* und das Konzept der *cognitive-load*-Theorie sind für das Lernen in virtuellen Umgebungen von besonderer Bedeutung, weil von Ihnen eine weitgehende Aufklärung über die kognitiven Prozesse des Wissenserwerbs mit virtuellen Umgebungen zu erwarten ist. Gegenüber anderen theoretischen Ansätzen haben beide Konzepte den Vor-

²¹ Aus Konsistenzgründen gegenüber der Literatur wird die „*cognitive load theory*“ in dieser Arbeit als „Theorie“ bezeichnet, obwohl sie nach Ansicht des Autors eher ein plausibles Erklärungskonzept darstellt, aber nicht unbedingt als „Theorie“ im engeren Sinne bezeichnet werden sollte.

teil, daß sie sich explizit auf den Wissenserwerbsprozeß mit Medien beziehen. Zusätzlich ist der Aspekt der Zeitdauer zu berücksichtigen, denn beide Konzepte ermöglichen es, wechselnde Belastungen und das intrinsische Management der Prozessanteile während längerdauernder Lernphasen zu untersuchen. Hingegen wären Konzepte, die sich auf kurzfristige Änderungen der Prozessanteile beziehen würden, für virtuelle Umgebungen eher ungeeignet. Um eine gewisse Vertrautheit im Umgang mit virtuellen Umgebungen zu erreichen, erscheint eine längere ununterbrochene Aufenthaltsdauer darin als sinnvoll. Und um ein effektives Maß an Präsenzerleben in der virtuellen Umgebung zu erreichen, wird dies sogar notwendig. Die Erwartungen zum Erklärungspotential der beiden Konzepte beziehen sich zusätzlich darauf, daß aus der theoretischen Kombination oder Integration beider Konzepte konkrete Aussagen zu den am Lernprozess in virtuellen Umgebungen beteiligten kognitiven Prozessen und dem resultierenden Lernverhalten und Wissenserwerb abgeleitet werden sollen.

4.1 Kognitive Prozesse in virtuellen Umgebungen

Charakteristika virtueller Umgebungen, die für den Lernprozeß relevant sind, sind die dreidimensionale Präsentation der Lerninhalte und deren interaktive Exploration (vgl. Kapitel 2). Mit der Immersion wird das entscheidende mediale Merkmal virtueller Umgebungen zusammengefasst beschrieben. Das psychologisch relevante Charakteristikum virtueller Umgebungen wird mit dem Erleben von Präsenz bezeichnet (vgl. Kapitel 3.2).

Die Annahme, daß virtuelle Umgebungen Lernvorteile zumindest ermöglichen können, erscheint intuitiv gerechtfertigt: Virtuelle Umgebungen sollen durch die dreidimensionale Gestaltung den erlebnisorientierten kognitiven Verarbeitungsmodus unterstützen (Schwan & Buder, 2002). Jedoch sind die soweit angenommenen Vorteile virtueller Umgebungen für den Wissenserwerb an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. So muss erstens die Möglichkeit zum interaktiven Lernen mit dem vorhandenen Material im Lernprozess genutzt werden und zweitens muss diese Nutzung auch mit einem Lernerfolg einhergehen. Insofern wird es einerseits von den aktuellen Charakteristika der virtuellen Umgebung und andererseits von den Charakteristika der Lerner abhängen, inwieweit Lernen gefördert werden kann.

Bei der Verarbeitung der Lerninhalte und der Auseinandersetzung mit der virtuellen Umgebung ist das kognitive System des Lerners auf zwei Arten involviert (Sweller et al., 1998): als mentaler Aufwand und als kognitive Belastung. In der ersten Ansicht wird durch den Lerner ein mentaler Aufwand (*mental effort*) investiert, der die Verarbeitung der Lerninhalte umfasst, wie sie durch den Benutzer wahrgenommen werden (vgl. Salomon, 1983). Das Konzept des mentalen Aufwands beschreibt damit die subjektive Wahrnehmung der eigenen Anstrengung, die primär durch aufgabenbezogene, medienspezifische oder andere externe Anforderungen hergestellt wird. Je nach Lerninhalt, Vorwissen und Medium wird ein Lerner bereit sein, einen gewissen mentalen Aufwand zu investieren, um den Lerninhalt zu verarbeiten (Cennamo, 1993; Salomon, 1984). Aus dem zweiten Blickwinkel ist eine kognitive Belastung (*cognitive load*) des Lerners zu betrachten, die vor allem im Aufrufen von Prozessen im Arbeitsgedächtnis besteht (Sweller et al., 1998). Mit dem Konzept der kognitiven Belastung werden die Ressourcen oder die Kapazität erfasst, die innerhalb des kognitiven Systems bereitgestellt werden müssen, um die Verarbeitungsprozesse auszuführen. Jede kognitive Belastung wird sich damit innerhalb der Grenzen des Arbeitsgedächtnisses bewegen müssen. Für den Wissenserwerb bedeutet dies: Je größer die kognitive Kapazität ist, die für die Verarbeitung des Lerninhalts zur Verfügung steht, desto effizienter kann der Lernprozess ausgeführt werden und desto effektiver wird ein Lernerfolg erreicht.

Mit diesen beiden Konzepten werden somit die lernerseitige Dimension und die kognitive Dimension des Aneignungsprozesses erfasst (Sweller et al., 1998). Diese beiden Konzepte bilden im Folgenden die Basis, auf der umfassende Überlegungen zur vermuteten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen angestellt werden.

4.2 Mentaler Aufwand

Für den Wissenserwerb stellt die Nutzung der vorhandenen kognitiven Ressourcen eine zentrale Determinante des Lernerfolgs dar. Subjektiv erscheint dies als mentaler Aufwand, der seitens des Lerners betrieben wird (Salomon, 1983). Das Konzept des investierten mentalen Aufwands (*amount of invested mental effort*; vgl. Salomon, 1983) wird zunächst näher

erläutert. Dann werden die lernerseitige Wahrnehmung des Mediums und der Lerninhalte als weitere Einflussfaktoren diskutiert. Anschließend werden Forschungsergebnisse präsentiert, die mit diesem Konzept zu verschiedenen Medien erzielt wurden.

4.2.1 *Mentaler Aufwand – Konzept und Definition*

Das Konzept des investierten mentalen Aufwands thematisiert die lernerseitigen Unterschiede der kognitiven Anstrengung, die für das Lernen medial präsentierter Inhalte investiert wird. Dabei geht Salomon (1983) von der Überlegung aus, daß der Lerner nicht nur passiv Informationen wahrnimmt, sondern diese aktiv verarbeiten muss, damit ein Lernerfolg möglich wird. Der eigentliche Lernprozess kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, je nachdem in welcher Konstellation Vorwissen oder Fähigkeiten und Medium aufeinander treffen. Für die Verarbeitung sind sowohl Faktoren seitens des Mediums als auch seitens des Lerners verantwortlich. Denn diese Interaktion von Lerner und Medium entscheidet letztlich darüber, inwiefern eine tiefere Verarbeitung des dargestellten Lerninhalts erfolgt.

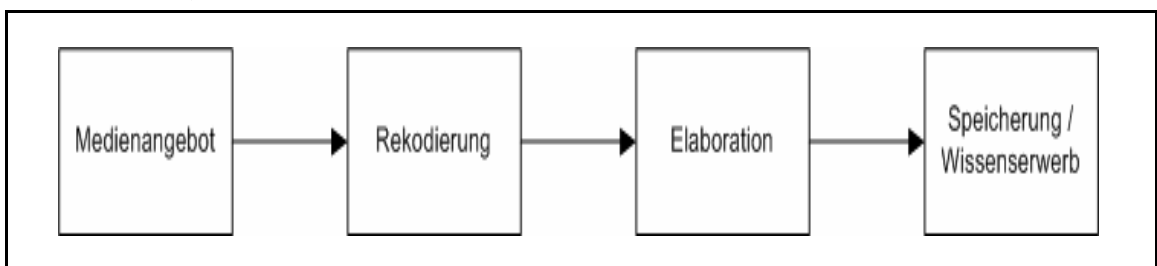
In seinem Konzept des mentalen Aufwands verbindet Salomon (1983) zwei Forschungslinien. Die eine Linie stammt aus der kognitionspsychologischen Gedächtnisforschung, die andere aus der Sozialpsychologie. In der kognitionspsychologischen Gedächtnisforschung wird von Craik und Lockhart (1972) zwischen einem Wiederholen von Inhalten (*maintenance rehearsal*; oberflächliche Verarbeitung) und dem Verarbeiten von Inhalten (*elaborative rehearsal*; tiefe Verarbeitung) unterschieden. In der zweiten, eher sozialpsychologisch orientierten Forschungslinie wird von Langer und Imber (1980) zwischen einer *gedankenreichen*, vertiefenden (*mindful*) und einer *gedankenlosen*, oberflächlichen (*mindless*) Verarbeitung unterschieden.

Salomon (1983) integriert beide Linien in ein einziges Konzept, da sich seiner Ansicht nach beide Ansätze auf vergleichbare Prozesse beziehen. Im Fall der *mindless* oder *oberflächlichen* Verarbeitung erfolgt jeweils eine automatische Integration in vorhandenes Wissen, die kaum einer bewussten Verarbeitung bedarf. Dabei werden bereits bekanntes Wissen und leicht erinnerbare Merkmale aktiviert. Hingegen steht bei einer *mindful*

bzw. *tieferen* Verarbeitung in beiden Konzepten eine bewusste Auseinandersetzung, eine anstrengende Nutzung nicht-automatischer Elaborationen im Vordergrund. Dies ist für Salomon (1983) auch das gemeinsame Konzept, auf das in beiden Konstruktpaaren rekurriert wird: eine mental aufwendige, nicht-automatische Elaboration des Lernmaterials. Deswegen definiert Salomon (1983: S.45): „Mental effort invested in processing means the employment of nonautomatic elaborations performed on the material“.

Diese Unterscheidung von automatischer und nicht-automatischer Verarbeitung zeigt sich in ähnlicher Form als *erlebnisorientierter* und *reflektierender* Verarbeitungsmodus, wie sie von Norman (1993) in die Diskussion eingeführt wurde²². Im Folgenden wird die Bezeichnung von Norman (1993) zur Kennzeichnung einer automatischen (d.h. erlebnisorientierten) und nicht-automatischen (d.h. reflektierenden) Verarbeitung benutzt. Diese Benennung ist gerade in Bezug auf virtuelle Umgebungen von Vorteil, da sie das *Erleben* der virtuellen Umgebung deutlich von der *Reflexion* über Lerninhalte in der virtuellen Umgebung abgrenzt.

Abbildung 11: Rekodierung und Elaboration der Wissensinhalte (in Anlehnung an Salomon, 1994).



In ähnlicher Weise unterscheidet Salomon (1994) präziser zwischen einem (automatischen) Rekodierungsprozess und einem Elaborationsprozess (vgl. Abbildung 11). Danach werden zunächst durch einen Rekodierungsprozess die Wissensinhalte aus den Symbolsystemen²³ des Mediums

²² Auf Detailunterschiede zwischen den verschiedenen Konzepten wird hier nicht näher eingegangen. Insgesamt spiegelt sich nach Ansicht des Autors in allen Konzepten ein Zwei-Prozess-Modell der kognitiven Verarbeitung wieder, wie es in vielen Theorien anzutreffen ist (zum Beispiel in der Sozialpsychologie bei Chaiken und Trope, 1999, oder in der kognitiven Medienpsychologie bei Vorderer, 1992).

²³ Unter Symbolsystemen versteht Salomon (1994) die Benutzung von „Symbolen“ in den verschiedenen Medien (so bilden Buchstaben das dominante Symbolsystem in Texten; in Bildmedien sind die Symbolsysteme wesentlich differenzierter und weniger standardisiert). Salomon

in eine interne Repräsentation überführt. Anschließend ist ein hiervon unabhängiger Elaborationsprozess notwendig, der eine Verarbeitung des aufgenommenen Materials bedeutet. Mögliche Elaborationen oder Reflexionen sind beispielsweise die Aktivierung von Schemata oder die Integration von neu erworbenem Wissen in Vorwissensinhalte.

Der Lernprozeß selbst wird dann nach Salomon (1983) durch zwei Faktoren beeinflusst. Erstens wird der mentale Aufwand durch die Einschätzung der Informationsquelle beeinflusst. Diese Einschätzung führt dazu, daß in unterschiedlichem Umfang Informationen extrahiert werden, daß zwischen den Informationseinheiten unterschieden wird oder daß die Inhalte in unterschiedlicher Weise verarbeitet werden. Zweitens wird der resultierende Wissenserwerb durch den Betrag an mentalem Aufwand beeinflusst, den die Lerner in die Verarbeitung des Lerninhalts investieren (*amount of mental effort*). Der investierte mentale Aufwand ist es damit, der nach Salomon (1983) zu einer tieferen und elaborierten Verarbeitung von Informationen führt.

Um die Interaktion zwischen Lerner und virtueller Umgebung genauer zu betrachten, können in virtuellen Umgebungen zwei Formen der Interaktion unterschieden werden: (1) die Interaktion mit der virtuellen Umgebung und (2) die Interaktion mit dem Lerninhalt (Wickens & Baker, 1995). Die Interaktion mit dem Medium erfüllt dabei zunächst den Zweck, eine gewisse Vertrautheit mit den Interaktions- und Steuerungsgeräten zu erlangen und sich an die Situation zu gewöhnen. Erst wenn dies zufrieden stellend gelingt, kann es den Lernern möglich sein, sich im zweiten Schritt auf die Lerninhalte zu konzentrieren (Wickens & Baker, 1995).

In Bezug auf die kognitiven Prozesse sollte die Komponente der in virtuellen Umgebungen gegebenen realitätsnahen räumlichen Situierung durch ihre „natürliche“ Darstellung und Interaktion zunächst einen *erlebnisorientierten* kognitiven Verarbeitungsmodus fördern. In diesem erlebnisorientierten Verarbeitungsmodus stünde das Aufnehmen und Wahrnehmen von Informationen im Vordergrund. Eine Fokussierung der Aufmerksamkeit in diesem erlebnisorientierten Modus sollte am leichtesten auf-

bezieht sich dabei auf den Begriff des „Symbols“, wie er von Goodman (1969) eingeführt wurde.

rechterhalten werden können, wenn das Erleben durch die Ereignisse und die Situation in der virtuellen Umgebung kontinuierlich angeregt wird. Diese externale Stimulation würde im Verbund mit der Interaktivität dazu beitragen, daß das Erleben der virtuellen Umgebung sehr natürlich erscheint (im Sinne einer „ökologischen Normalisierung“; Weidenmann, 1989).

Die *Interaktion mit dem Lernmaterial* hingegen sollte besonders durch einen *reflektierenden* kognitiven Modus gefördert werden. Denn dieser reflektierende kognitive Verarbeitungsmodus ist nach allgemeiner Ansicht notwendig, um eine Elaboration und weiterführende Verarbeitung der Inhalte zu erreichen. Schließlich sollen die Lerninhalte nicht nur wahrgenommen, sondern auch in Vorwissen integriert werden, um weitere Verknüpfungen zwischen den Inhalten zu ermöglichen. Gerade die hohe Interaktivität der virtuellen Umgebung könnte deswegen die Nutzung des Reflexionsmodus unterstützen, da die Lerner zu einer aktiven Auseinandersetzung mit der virtuellen Umgebung und den Inhalten angeregt werden (vgl. Norman, 1993).

4.2.2 *Subjektive Einschätzung von Medium und Lerninhalten*

In die Wahrnehmung eines Mediums gehen neben den eigenen Vorstellungen und Vorannahmen spezifische Charakteristika des jeweiligen Mediums ein (Mischel, 1993). Auf Lernerseite entscheiden nach Salomon (1983) die wahrgenommenen Aufforderungsmerkmale des Mediums (*perceived demand characteristics*) und die wahrgenommene Selbstwirksamkeit im Umgang mit dem Medium (*perceived self efficacy*; im Sinne von Bandura, 1997) über den Aufwand, der zur Verarbeitung der Inhalte geleistet wird.

Ein Lerner kann zum Beispiel ein Medium als sehr einfach empfinden, wenn er auf sehr umfangreiche Vorerfahrungen mit dem Medium zurückblicken kann. In diesem Fall postuliert Salomon (1983), daß dieser Lerner weniger kognitive Anstrengungen unternehmen wird als ein anderer, der diese Erfahrung nicht besitzt. Denn höhere Fähigkeiten implizieren nach der oben genannten Definition einerseits eine Automatisierung der Fähigkeitenausführung und andererseits einen geringeren mentalen Aufwand, der benötigt wird, um das präsentierte Material zu verstehen.

Die Wahrnehmung eines Mediums entscheidet somit über das Urteil, ob das jeweilige Medium viel bzw. wenig Anstrengung bei der Informationsverarbeitung erfordert. Besonders dann, wenn externe Instruktionen fehlen, vermindert sich der Einfluss der Lerninhalte, da sich der Einfluss von Vorannahmen und die damit verbundene Aufmerksamkeitszuwendung verringert. Wenn sich die Wahrnehmung des Mediums und des selbst erwarteten mentalen Aufwands auf den tatsächlich investierten mentalen Aufwand auswirken, dann können lernerseitige Vorannahmen im Sinne selbst erfüllender Prophezeiungen wirken (Salomon, 1984). So sollte die Wahrnehmung einer virtuellen Umgebung als spielerisches Medium („die virtuelle Umgebung sieht aus wie ein einfaches Spielzeug“) dazu führen, daß die Inhalte nur oberflächlich verarbeitet werden. Wenn hingegen ein eher ernsthafter Charakter derselben virtuellen Umgebung betont wird, beispielsweise durch ein Adventurespiel, so sollte dies mit höherem mentalem Aufwand und besseren Lernerfolgen einhergehen.

4.2.3 Forschungsergebnisse zum mentalen Aufwand

Die Untersuchungen zum investierten mentalen Aufwand wurden bislang besonders mit Vergleichen zwischen Printmedien und Fernsehen (Salomon, 1984) bzw. zwischen Fernsehen und interaktivem Video durchgeführt (Cennamo et al., 1991). Fernsehen wird zum Beispiel häufig als Unterhaltungsmedium wahrgenommen und erfüllt deswegen eine Art Fluchtfunktion (*escapist function*; vgl. Salomon, 1984). Demgegenüber werden Printinformationen als informierend und inhaltsreich wahrgenommen.

Um diese Überlegungen zu prüfen, untersuchte Salomon (1984) den Einfluß der Vorannahmen von Lernern zu Printmedien oder zum Fernsehen auf den mentalen Aufwand und das Lernergebnis. Nach der Erhebung der Vorannahmen bearbeiteten die Lerner eine Aufgabe in Printform bzw. sahen eine Videoaufzeichnung. Anschließend wurde der investierte mentale Aufwand erhoben. Das Lernergebnis wurde mit Behaltens- und Verstehensaufgaben gemessen. Die Ergebnisse von Salomon (1984) zeigen, daß Lerner die Charakteristika des Mediums Fernsehens anders wahrnehmen als die Charakteristika der Printinformationen. Die Wahrnehmung des Fernsehens als einem leichten Medium führt dazu, daß der investierte mentale Aufwand gering ausfällt. Dem entsprechend werden die Inhalte weni-

ger elaboriert verarbeitet und der resultierende Lernerfolg bleibt hinter den Möglichkeiten zurück.

In diese Richtung weisen auch die Ergebnisse von Cennamo et al. (1991) zum Vergleich von Lernen mit interaktivem Video, normalem Fernsehen und Fernsehen mit instruktionaler Unterstützung. Cennamo et al. (1991) nahmen an, die Möglichkeit, mit einem interaktiven Video zu lernen, könnte die Vorannahme, daß Lernen via Fernsehen „leicht“ sei, verändern. Die aktive Beteiligung, die durch die interaktiven Videoeinheiten notwendig wird, sollte die Vorannahmen der Lerner verändern und somit zu erhöhter mentaler Anstrengung und Lernerfolgen beitragen. Diese Idee wurde von Cennamo et al. (1991) in einer Studie überprüft, in der die Effekte der Vorannahmen von Lernern auf die Investition von mentalem Aufwand sowie auf Behaltens- und Verstehensleistungen untersucht wurden. Die Lerner füllten zunächst einen Fragebogen zu ihren Vorannahmen aus, dann bearbeiteten sie eine Aufgabe mit dem jeweiligen Medium. Anschließend wurden der investierte mentale Aufwand sowie die Behaltens- und Verstehensleistungen erhoben. In Übereinstimmung mit Salomon (1984) zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchung, daß Personen, die das Lernen mit einem Medium als leichter einschätzen, weniger mentalen Aufwand investieren und niedrigere Behaltens- und Verstehensleistungen zeigen (Cennamo et al., 1991).

Die Ergebnisse zum Lernen mit Fernsehen und Video bringen einige Implikationen für das Lernen in virtuellen Umgebungen mit sich. So ist zu erwarten, daß die Vorannahmen der Lerner zur Selbstwirksamkeit im Umgang mit dem Medium virtuelle Umgebung in ähnlicher Weise dazu führen, daß ein mentaler Aufwand zur Verarbeitung der Lerninhalte aufgewendet wird. Wenn die Lerner die virtuelle Umgebung als ein leichtes Medium wahrnehmen, würde dies demnach dazu führen, daß der investierte mentale Aufwand gering ausfällt. Entsprechend gering würde auch der Lernerfolg ausfallen. Aufgrund der realitätsnahen Gestaltung virtueller Umgebungen könnte es zu einer „ökologischen Normalisierung“ (Weidenmann, 1989) der virtuellen Umgebung kommen, die dazu führt, daß sie als leichtes Medium wahrgenommen würde. Um dieser Wahrnehmung entgegenzuwirken, wäre es demnach notwendig, die Lerner durch eine „Elaborationsinstruktion“ explizit auf eine notwendige Anstrengung zum Lernen der Inhalte hinzuweisen.

4.2.4 Lernen als Folge von investiertem mentalem Aufwand

Cennamo (1993) leitet drei Einflussfaktoren in Bezug auf den mentalen Aufwand und die Vorannahmen der Lerner ab: Demzufolge sind es Merkmale (1) des Mediums, (2) der Aufgabe und (3) des Lerners, die in die Vorannahmen zum Lernen eingehen. Diese Vorannahmen beeinflussen den mentalen Aufwand, der schließlich für das erreichte Ergebnis verantwortlich ist (Cennamo, 1993).

Charakteristika des Mediums: Als wesentliche Bestandteile des ersten Einflussfaktors, den Charakteristika des Mediums, benennt Cennamo (1993) insbesondere die Symbolsysteme des Mediums (Salomon, 1979, 1994) und die Struktur der Lerneinheit. Die wichtigsten Unterschiede im Einsatz von Symbolsystemen sieht Cennamo (1993) für Printmedien, Video und Fernsehen zunächst in Unterschieden der „Natürlichkeit“ oder „Alltagsnähe“ der dargestellten Inhalte. In Printmedien sind vorzugsweise Textinformationen und statische Bilder oder Graphiken anzutreffen. Im Fernsehen hingegen werden „reale“, dynamische Bilder oder Szenen eingesetzt, die durch sprachliche Informationen ergänzt oder begleitet werden. Demgemäß scheint es leichter zu sein, die Informationen zu verarbeiten, die in den Symbolsystemen des Fernsehens abgebildet sind. Der zweite mediale Faktor, die Struktur der Lerneinheit, bezieht sich auf die mediale Umsetzung des Lerninhalts. Hier fördert eine Korrespondenz zwischen Text und Bild oder zwischen Audio und Videokanal das Lernergebnis (Cennamo, 1993).

Für den Wissenserwerb im Wissensmedium „virtuelle Umgebung“ bedeutet dies, daß die Symbolsysteme der virtuellen Umgebung ähnlich dem Fernsehen von dynamischen Bildern und Szenen sowie eigenen Handlungen dominiert werden, deren Dynamik sehr realitätsnah von der eigenen Interaktion abhängt. Falls die Interaktion des Lerners keine Bewegungsänderung mit sich bringt, können deswegen auch statische Ansichten erscheinen. Zusätzlich können Texte, Bilder oder Graphiken integriert sein, die je nach Gestaltung interaktiv genutzt werden können. Die Struktur der jeweiligen Lerneinheit wird auch in virtuellen Umgebungen stets durch konkrete Umstände, wie durch das instruktionale Design und die Gestaltung der Lernmaterialien, bestimmt werden.

Aufgabencharakteristika: Zweitens beeinflussen die Aufgabencharakteristika die Vorannahmen der Lerner sowie den investierten mentalen Aufwand nach Cennamo (1993) vor allem durch die wahrgenommene Absicht der Aufgabenbearbeitung. Eine Instruktion, aus präsentiertem Material zu *lernen*, führte in verschiedenen Studien (zum Beispiel Salomon & Leigh, 1984) zu höherem mentalem Aufwand, als wenn eine Lerneinheit *nur zum Vergnügen* angesehen wurde.

Charakteristika des Lerners: Drittens sind die Charakteristika des Lerners besonders durch Vorwissen bzw. durch die wahrgenommene Schwierigkeit der Aufgabe an der Investition mentalen Aufwands beteiligt. Der Zusammenhang nimmt nach Cennamo (1993) die Form einer Parabel an. Der investierte mentale Aufwand steigt zunächst mit wachsender Schwierigkeit der Aufgabe an. Wenn jedoch eine Aufgabe als sehr oder extrem schwer eingestuft wurde, sinkt der investierte mentale Aufwand deutlich ab.

Diese drei Charakteristika und die darin enthaltenen Aspekte weisen darauf hin, daß die Interaktion von Lerner, Aufgabe und Medium darüber entscheidet, mit welchem mentalen Aufwand Lerninhalte verarbeitet werden. Und dieser investierte mentale Aufwand entscheidet darüber, welches Lernergebnis resultiert (Cennamo, 1993). Im Falle eines beabsichtigten Wissenserwerbs sollte der investierte mentale Aufwand einen entscheidenden Einfluß auf die Verarbeitung der Lerninhalte besitzen.

4.3 Cognitive-Load Theorie

Medial gestützte Lernprozesse können als Aufnahme externaler Informationen verstanden werden, in denen die Prozesse der Wissensaneignung durch instruktionale Massnahmen unterstützt werden sollen. Dazu sollten generell die Lerninhalte so dargestellt werden, daß es den Benutzern möglich ist, sie als kohärente mentale Wissensstrukturen in ihr kognitives System zu integrieren. Um diesen Prozess der internalisierenden Verarbeitung medialer Repräsentationen detaillierter zu beschreiben, stehen mehrere kognitive Modelle und Konzepte zur Verfügung. Prinzipiell können drei Typen von Konzepten bzw. Modellen unterschieden werden, die diese internalisierende Verarbeitung beschreiben.

- *Propositionale Ansätze* gehen von der Annahme aus, daß externe Repräsentationen direkt nach der Informationsaufnahme „recodiert“ werden. Anschließend werden die recodierten Informationen amodal, also unabhängig von den Symbolsystemen, in dem sie ursprünglich präsentiert wurden, zu internalen Repräsentationen weiterverarbeitet (zum Beispiel Pylyshin, 1973).
- *Multimodale Ansätze* basieren auf der Annahme, daß eine strikt getrennte Verarbeitung und Speicherung verbaler und nonverbaler Informationseinheiten erfolgt (vgl. zum Beispiel Clark & Paivio, 1991; Kosslyn, 1994; Paivio, 1986).
- Anderen Ansätzen ist gemeinsam, daß sie eine *Kombination von getrennter und integrierter Verarbeitung* annehmen. Dabei werden Bilder und Sprache zunächst getrennt verarbeitet und erst danach integriert und propositional repräsentiert (vgl. Schnotz & Bannert, 1999; Snodgrass, 1984).

In Bezug auf kognitive Lernprozesse sind propositionale Ansätze weniger einflussreich geworden, da sie den Aufbau komplexerer Repräsentationen nicht immer ausreichend erklären konnten, wie sich unter anderem in der Forschung zu mentalen Modellen zeigt (Johnson-Laird, 1983). Multimodale Ansätze hingegen lieferten die Basis für die *Cognitive-Load-Theorie* (Sweller et al., 1998), auf die im Folgenden näher eingegangen wird, da sie wichtige Erkenntnisse für das Verständnis von Lernprozessen in medialen Settings ermöglicht hat. Die Auswahl des Ansatzes erfolgte dabei einerseits unter dem Gesichtspunkt seiner empirischen Bestätigung und andererseits unter dem Gesichtspunkt seiner Anwendbarkeit auf eine Analyse des Lernprozesses in einer virtuellen Umgebung.

Das bereits dargestellte Konzept des investierten mentalen Aufwands beschreibt die Verarbeitung der Lerninhalte wie sie durch den Benutzer wahrgenommen wird: als subjektiver Aufwand, der zur Bearbeitung von Inhalten vom kognitiven System investiert wird. Der Benutzer ist je nach Lerninhalt, Vorwissen und Medium dazu bereit, einen gewissen Betrag an mentalem Aufwand zu investieren, um den Lerninhalt zu verarbeiten (Cenamo, 1993; Salomon, 1984). Demgegenüber beschreibt das Konzept der kognitiven Belastung (*cognitive load*) die *Belastung* des kognitiven Sys-

tems (Sweller et al., 1998) während der Interaktion mit der virtuellen Umgebung und in der Aneignung der Lerninhalte.

4.3.1 Voraussetzungen der Cognitive-Load-Theorie

Der Anspruch der *Cognitive-Load*-Theorie besteht darin, die Inanspruchnahme kognitiver Ressourcen durch relevante und irrelevante Informationen oder Verarbeitungsprozesse beim Lernen zu erfassen (Sweller, 1988, 1994; Sweller et al., 1998). Dabei beruht die *Cognitive-Load*-Theorie auf zwei Voraussetzungen, die die Kapazität der Gedächtnissysteme betreffen. Erstens wird ein begrenztes Arbeitsgedächtnis angenommen, das teilweise unabhängige Subkomponenten beinhaltet, um mit auditorisch-verbalem Material einerseits oder mit visuellen (zwei- oder dreidimensionalen) Informationen andererseits umzugehen (auf Basis der Theorie von Baddeley, 1997). Zweitens wird ein (theoretisch) unbegrenztes Langzeitgedächtnis postuliert, das insbesondere Repräsentationsformen in Form von Schemata beinhaltet, die sich im Grad ihrer „Automatisierung“ unterscheiden (Kirshner, 2002; Sweller et al., 1998). Unter Automatisierung wird der „automatische“ Abruf eines Schemas verstanden, der nur eine minimale Kapazität des Arbeitsgedächtnisses in Anspruch nimmt. Zusammengefasst verarbeitet damit ein begrenztes Arbeitsgedächtnis alle bewussten Aktivitäten des Lerners und ein unbegrenztes Langzeitgedächtnis kann dazu benutzt werden, um Schemata mit variablen Graden der Automatisierung zu speichern (vgl. Kirshner, 2002; Sweller et al., 1998). Die Verwendung von Schemata ermöglicht die gleichzeitige Nutzung multipler Elemente, die als ein einziges Element behandelt werden können (*chunking*; vgl. Baddeley, 2001; Miller, 1956). Gleichzeitig können irrelevante Elemente ignoriert und aus der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen werden. Wenn jedoch keine brauchbaren Schemata im Langzeitgedächtnis vorhanden sind, um ein Geschehen zu verarbeiten, muß primär das von der Kapazität her begrenzte Arbeitsgedächtnis benutzt werden, um die Informationen zu verarbeiten (Sweller, 1993).

Nach der „*Cognitive-Load* Theorie“ müssen die begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses beim Lernen mit externen Repräsentationen zwischen der Verarbeitung des Inhalts, dem instruktionalen Setting und den Metafunktionen aufgeteilt werden (Sweller et al., 1998). Die *Cognitive-Load*-Theorie thematisiert damit die Beanspruchung kognitiver Ressourcen

durch relevante und irrelevante Informationen beim Lernen. Die resultierende Belastung des Arbeitsgedächtnisses wird durch dieses Konzept in drei Anteilen erfasst: *intrinsic cognitive load*, *extraneous cognitive load* und *germane cognitive load* (Sweller et al., 1998).

4.3.2 *Intrinsic Cognitive Load*

Die *intrinsic cognitive load* beschreibt den notwendigen Bearbeitungsaufwand, der durch den Lerninhalt selbst gegeben ist. Die Beziehungen zwischen den Elementen eines Lerninhalts lassen sich dafür auf einem Kontinuum von vollkommen unverbunden bis hin zu hochgradig integriert anordnen. Ein Beispiel für vollkommen unverbundene Inhalte wären sinnlose Silben in der Tradition von Ebbinghaus. Hochgradig integrierte und nur vollständig erfassbare Elemente sind zum Beispiel in mathematischen, logischen oder naturwissenschaftlichen Systemen vorhanden (z.B. das Periodensystem der Elemente oder Atommodelle). Aber auch eine Sprache stellt ein hochgradig integriertes System dar, in dem syntaktische, semantische und pragmatische Beziehungen zwischen den Elementen bestehen. Dies hat im Kontext des Lernens zur Folge, daß die *intrinsic cognitive load* nicht direkt durch das instruktionale Design beeinflusst werden kann, obwohl sie darin berücksichtigt werden muss (Sweller et al., 1998). Denn die Komplexität eines Systems lässt sich nicht beliebig reduzieren, ohne seine Genauigkeit wesentlich einzuschränken. So ist beispielsweise das Dalton'sche Atommodell (Atome werden als Kugeln dargestellt) sehr anschaulich und leicht zu verstehen, aber eben auch sehr ungenau. Das Rutherfordsche Atommodell (Atome bestehend aus einem Kern und verschiedenen Schalen) ist deutlich detaillierter, aber auch komplexer und dementsprechend nicht ganz so einfach zu verstehen. Und das zur Erfassung der tatsächlichen Verhältnisse wesentlich angemessenere quantenmechanische Atommodell (Beschreibung von Prozessen in Atomkern und Atomhülle durch die Angabe von Wahrscheinlichkeiten zu Aufenthaltsorten und Zuständen der Elementarteilchen) ist ohne umfassende Erläuterung und eine komplexe mathematische Beschreibung kaum adäquat zu verstehen.

4.3.3 *Extraneous Cognitive Load*

Die *extraneous cognitive load* beschreibt den notwendigen Bearbeitungsaufwand, der durch die Art und Weise der Darstellung des Lerninhal-

tes in einem Medium entsteht. Hierzu zählen insbesondere lernvorbereitende Massnahmen, die das Verständnis des Lernmaterials betreffen. Die *extraneous cognitive load* wird demnach durch das instruktionale Design und durch das verwendete Medium bestimmt (Sweller et al., 1998). So sollte zum Beispiel eine Darstellung von Atommodellen deren Unterschiedlichkeit und die gemeinsamen Grundlagen deutlich hervortreten lassen. Dabei ist weniger die ideengeschichtliche Aufeinanderfolge der Modelle als die inhaltliche theoretische Weiterentwicklung in Bezug auf ablaufende physikalische Prozesse entscheidend, um die komplexeren Modelle zu verstehen. Unterschiede in der Darstellung können hier zum Beispiel durch verschiedene Medien entstehen und produktiv genutzt werden. Während beispielsweise ein Buch stets nur statische zweidimensionale Ansichten bieten kann, sind mit computerbasierten Medien dynamische zweidimensionale oder dynamische dreidimensionale Ansichten möglich.

4.3.4 *Germane Cognitive Load*

Die *germane cognitive load* umfasst den mentalen Bearbeitungsaufwand, der zur Konstruktion einer kognitiven Repräsentation und Verarbeitung des Lerninhalts notwendig ist. Damit beschreibt die *germane cognitive load* letztlich den *effektiv* für die Verarbeitung der Inhalte aufgewendeten Anteil der mentalen Kapazität. Darin können schemageleitete Prozesse eine besondere Rolle spielen, da sie den Verarbeitungsaufwand reduzieren helfen. Um die *germane cognitive load* durch instruktionale Veränderungen entscheidend zu beeinflussen, kommt es darauf an, die einzelnen konkretanschaulichen und abstrakten Elemente des Lerninhalts bereits im Medium in Beziehung zueinander zu setzen (Sweller et al., 1998). Je besser die Elemente in zunehmend komplexere Schemata eingeordnet werden können, desto einfacher wird die weitere Verarbeitung. So können im Beispiel der Atommodelle die Beziehungen genutzt werden, die ein Atom einem Planetensystem ähnlich erscheinen lassen (der Atomkern als „Zentralgestirn“ und die Elektronen als die umgebenden „Planeten“). Damit können die relevanten Wechselwirkungen zwischen den Elementarteilchen in einer gewissen Näherung verstanden werden (d.h. in Nutzung einer Analogiebeziehung zwischen elektromagnetischer und Gravitationswechselwirkung). Eine genauere Erfassung der Beziehungen zwischen den Teilchen bedarf jedoch einer detaillierten Beschreibung der Wechselwirkungen in Mehr-

Körper-Systemen (elektromagnetische, starke und schwache Wechselwirkung, jedoch kaum die Gravitationswechselwirkung). Je präziser und umfassender vorhandene Schemata eine systematische Einordnung solcher Elemente ermöglichen, desto geringer wird die kognitive Belastung, mit der diese Elemente verarbeitet werden müssen. Instruktionale Massnahmen müssen somit eine adäquate Verbindung zwischen konkret-anschaulicher und abstrakter Repräsentation herstellen. Im Falle dieses Beispiels könnte dies durch eine Visualisierung der physikalischen Beziehungen über die verschiedenen Modelle hinweg geschehen.

4.3.5 Kognitive Belastung im Lernprozeß

Zu beachten ist in theoretischer wie in praktischer Hinsicht, daß sich *intrinsic*, *extraneous* und *germane cognitive load* insgesamt *additiv* verhalten und sich zu einem Maximalwert ergänzen. Dabei benötigen insbesondere Prozesse der mentalen Integration von Inhalten eine große *germane cognitive load*. Das Konzept der *germane cognitive load* erlangt damit zentrale Bedeutung für den Lernerfolg (Sweller et al., 1998).

In einer erweiterten theoretischen Sichtweise weist Valcke (2002) darauf hin, daß Überwachungsaktivitäten die Lernprozesse in verschiedener Hinsicht begleiten. Diese Überwachungsaktivitäten sind ebenfalls der *germane cognitive load* zuzurechnen. Die Überwachungsaktivitäten bestehen unter anderem aus der Überwachung der Auswahl und Organisation sensorischer Informationen im Arbeitsgedächtnis, dem Abruf und der Speicherung von Schemata im Zusammenspiel von Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis sowie der Organisation von Ausgabeprozessen. Durch eine Erweiterung des Konzepts der *cognitive load* um metakognitive Funktionen kann nach Valcke (2002) die Überwachung kognitiver (Teil-)Prozesse mit in die resultierende Gesamtbelastung des kognitiven Systems einbezogen werden. Insofern würde nach Valcke (2002) das Konzept der *germane cognitive load* einerseits aus der Konstruktion und Automatisierung von Schemata (kognitiver Anteil) sowie andererseits aus der Überwachung dieser Prozesse (meta-kognitiver Anteil) bestehen. Durch diese Erweiterung der *cognitive load*-Theorie durch Valcke (2002) wird es dann möglich, eine Verbindung zu Konzepten des selbst-organisierten Lernens zu ziehen. Denn eine solche lernerseitige Kontrolle des Lernprozesses ermöglicht ein optimiertes internes Management der *cognitive load* (Ban-

nert, 2002). Und das internale Management der *cognitive load* kann lernerseitig genutzt werden, um die vorhandene kognitive Kapazität bestmöglich auszunutzen.

Ausgehend von diesen konzeptuellen Überlegungen sind nach der *Cognitive-Load-Theorie* effektive Instruktionsmaterialien so zu gestalten, daß die kognitiven Ressourcen des Lerners auf die Verarbeitung der Inhalte gelenkt werden und nicht auf aufgabenexterne kognitive Aktivitäten (wie beispielsweise die Bedienung eines Interaktionsgerätes zur Bewegung in einer virtuellen Umgebung). Für ineffektive Lernmaterialien ist kennzeichnend, daß sie die Lerner mit mentalen Integrationsaufgaben oder Interaktionsgeräten kognitiv belasten, die keinen positiven Effekt auf das Lernergebnis besitzen (Chandler & Sweller, 1991). Da nun die *intrinsic cognitive load* eines gegebenen Lerninhalts kaum veränderbar ist, sollen instruktionale Designs in der Regel die *extraneous cognitive load* vermindern. Denn gerade, wenn eine gewisse *intrinsic cognitive load* mit einem Lerninhalt verbunden ist und wenn der Lerner nur begrenzt über die Möglichkeit verfügt, das Arbeitsgedächtnis durch schemageleitetes oder automatisiertes Vorgehen zu entlasten (vgl. Pollock, Chandler & Sweller, 2002), besteht die Gefahr, daß keine ausreichende *germane cognitive load* zur Verfügung steht (Mayer & Chandler, 2001). Somit ist grundsätzlich stets beabsichtigt, die zur Verfügung stehende Kapazität des Arbeitsgedächtnisses im Sinne der *germane cognitive load* zu erhöhen (Sweller et al., 1998).

Diese Überlegungen heben die besondere Bedeutung hervor, die die *extraneous cognitive load* im *negativen Sinne* beim Lernen in virtuellen Umgebungen besitzen kann. Denn in virtuellen Umgebungen werden im Vergleich zu einfacheren Anordnungen zusätzliche kognitive Anforderungen an Lerner gestellt, wenn beispielsweise eine sehr komplexe Umgebung mit vielen Einzelheiten und integrierten Informationen zur Verfügung steht. Der eigentliche Lernprozess wird dann entscheidend davon abhängen, inwieweit es den Lernern gelingt, ausreichend kognitive Kapazität im Sinne der *germane cognitive load* zu nutzen (Sweller et al., 1998) und mit metakognitiven Prozessen ihren jeweiligen Lernprozess und Lernfortschritt zu überwachen (Bannert, 2002; Norman, 1993; Valcke, 2002).

Allerdings weist das Konzept des *mental effort* darauf hin, daß die als *germane cognitive load* zur Verfügung stehende kognitive Kapazität zur

Verarbeitung der Lerninhalte genutzt werden kann, aber nicht muß. Vielmehr bedarf es einer mentalen Anstrengung des Lerners, diesen freien Anteil kognitiver Kapazität für Verarbeitungsprozesse zu nutzen. Ansonsten würde wohl eine Informationsaufnahme („Rekodierung“) erfolgen, aber gerade die notwendige und anstrengungsreiche Elaboration des Lerninhalts würde unterbleiben.

Insofern betrachtet die *cognitive-load*-Theorie vor allem die Verteilung der kognitiven Kapazität auf den Lerninhalt, die Nutzung des Mediums und die mögliche kognitive Verarbeitung des Lernmaterials. Das Konzept des *mental effort* hingegen bezieht sich darauf, daß eine vorhandene *germane cognitive load* auch tatsächlich zur Elaboration des Lernmaterials und zur Reflexion über den Lerninhalt eingesetzt wird.

4.4 Fazit zu kognitiven Lernprozessen in virtuellen Umgebungen

Die Verarbeitung der Lerninhalte in virtuellen Umgebungen läßt sich nach den vorliegenden Forschungsergebnissen zu verschiedenen Medien auf zwei Arten beschreiben: Einerseits als optimale Ausnutzung der kognitiven Verarbeitungskapazität (d.h. als *cognitive load*); andererseits als mentalen Aufwand, der seitens der Lerner geleistet und durch die zu bearbeitende Aufgabe, den Lerner und das Medium bestimmt wird (*mental effort*; vgl. Cennamo, 1993; Salomon, 1983; Sweller et al., 1998).

Bei den vorgestellten Ergebnissen zum Lernen mit verschiedenen Medien wurde zum Teil eine eher lineare Präsentationsweise unterschiedlicher Symbolsysteme zugrunde gelegt und die Möglichkeiten der Interaktion mit den dargestellten Inhalten sowie deren dreidimensionale Darstellung weniger betrachtet. Gerade die Interaktionsmöglichkeiten und die dreidimensional-räumliche Darstellung und Anordnung jedoch sind es, die aus komplexen computerbasierten Informationsangeboten erst „virtuelle Umgebungen“ mit ihren spezifischen Möglichkeiten machen. Wenngleich die vorgestellten Theorien und Konzepte für den Wissenserwerb mit virtuellen Umgebungen noch keine vollständige Beschreibung der beteiligten Prozesse liefern können, so war es doch möglich, vielfältige Hinweise auf Prozesse des Wissenserwerbs mit virtuellen Umgebungen zu identifizieren. Unter praktischen wie theoretischen Gesichtspunkten ist es nun relevant, genauer zu untersuchen, in welcher Weise der Lernprozess in virtuellen Umgebun-

gen sinnvoll unterstützt wird und welche kognitiven Prozesse am Lernen in virtuellen Umgebungen maßgeblich beteiligt sind.

Während einige Studien ein positives Verhältnis zwischen investiertem mentalem Aufwand und Lernergebnis berichten, ist dies nach den Ergebnissen anderer Untersuchungen nicht anzutreffen (vgl. Cennamo, 1993). Diese Unterschiede wurden von Cennamo (1993) auf verschiedene Gründe zurückgeführt. Wenn ein hoher Aufwand zur perzeptuellen Verarbeitung geleistet werden muss oder wenn das Vorwissen nur mit hohem Aufwand mit dem aktuellen Inhalt verbunden werden kann, wird bereits ein besonders hoher mentaler Aufwand notwendig sein, um dem Lerninhalt einen Sinn zu geben. Dies kann zu verminderten Lernerfolgen führen, da ein tieferes Verstehen des Materials nicht zwangsläufig damit verbunden ist. Anderenfalls kann die kognitive Kapazität stärker zur Elaboration des Lernmaterials verwendet werden. Dann sollte nach Cennamo (1993) ein höheres Lernergebnis feststellbar sein.

Die in diesem Kapitel referierten Ergebnisse und Theorien bezogen sich in einigen Fällen nicht direkt auf den Gegenstandsbereich virtuelle Umgebung, sondern auf andere Medien, zum Beispiel Fernsehen, Videos oder multimediale Lernumgebungen. Deswegen müssen Einschränkungen bezüglich der Übertragbarkeit der referierten Ergebnisse auf virtuelle Umgebungen gemacht werden. Denn die grundsätzliche Frage, inwiefern spezifische Merkmale virtueller Umgebungen Lernprozesse unterstützen, wird nicht vollständig durch eine Analyse der Ergebnisse aus benachbarten Forschungsfeldern beantwortet werden können. Zu beachten ist insbesondere, daß virtuelle Umgebungen im Unterschied zu anderen Medien eine *höhere Immersion* ermöglichen, auf *dreidimensionalen Darstellungen* basieren und eine *interaktive Exploration der Umgebung* erlauben (Schwan & Buder, 2002).

Ein besonderer Aspekt virtueller Umgebungen wird aus psychologischer Sicht mit dem subjektiven Zustand der Präsenz erfasst. Gerade das Konzept der Präsenz könnte ähnlich dem Konzept des *flow*-Erlebens eingesetzt werden, um die *germane cognitive load* des Benutzers tatsächlich effektiv einzusetzen, da ein *flow*-Zustand mit einer kognitiven Fokussierung auf die Tätigkeit einhergehen soll (vgl. Kapitel 3.4). In ähnlicher Weise sollte eine hohe Präsenz wirken: Mit einem höheren Erleben von Präsenz

sollte eine Aufmerksamkeitszuwendung auf die virtuelle Umgebung einhergehen – und die kognitive Kapazität, die als *germane cognitive load* beschrieben wird, könnte tatsächlich zur Elaboration des wahrgenommenen Materials eingesetzt werden, wenn ausreichend mentaler Aufwand investiert wird. Je besser dies gelänge, desto umfassender würden die dortigen Inhalte wahrgenommen und verarbeitet werden. Insofern könnte gerade das Konzept der Präsenz einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der kognitiven Wirkmechanismen und der notwendigen Gestaltungsprinzipien virtueller Umgebungen ermöglichen.

In Kapitel 3.2 wurde dargelegt, wie Präsenz auf einen Nutzer wirken sollte und welche kognitiven Prozesse durch Präsenzerleben unterstützt werden. Mit einem höheren Präsenzerleben ist ein intensiveres Erleben der virtuellen Umgebung und ihrer Inhalte verbunden. Infolgedessen steht zunächst zu erwarten, daß ein Lerner die Lerninhalte in der virtuellen Umgebung eher als realitätsnahe oder gar reale Gegenstände wahrnimmt. Dementsprechend sollte die durch die Interaktion mit der virtuellen Umgebung gegebene *extraneous load* verringert werden, so daß die als *germane cognitive load* beschriebene kognitive Kapazität erhöht wird. Deswegen sollte entsprechend der jeweiligen Höhe des Präsenzerlebens zunächst eine erlebnisorientierte Verarbeitung der (Lern-)Inhalte in der virtuellen Umgebung unterstützt werden. Darüberhinaus soll eine hohe Präsenz in einer virtuellen Lernumgebung eine Fokussierung auf die darin vorhandene Lerninhalte und deren Beziehungen untereinander fördern. Ein hohes Präsenzerleben sollte damit die Nutzung der zur Verfügung stehenden *germane cognitive load* intensivieren, so daß durch ein hohes Präsenzerleben eine reflektierende Verarbeitung der (Lern-)Inhalte gefördert wird. Insofern sollte die erlebnisorientierte Verarbeitung der Lerninhalte (z.B. infolge hoher Präsenz) von sich aus mit einem erhöhten mentalen Aufwand einhergehen, der als Begleiterscheinung des reflektierenden Verarbeitungsmodus erscheint. Ein niedriges Präsenzerleben hingegen sollte zu einer geringeren erlebnisorientierten Verarbeitung und zu geringer Reflexion über die Lerninhalte führen.

Die Höhe des investierten mentalen Aufwands soll ebenfalls dazu beitragen, in welchem Umfang eine erlebnisorientierte Aufnahme und reflektierende Elaboration der Lerninhalte stattfindet. Der höhere mentale Aufwand kann beispielsweise durch eine Elaborationsinstruktion hervorge-

rufen werden (vgl. in Kap. 4.2 die Untersuchungen von Salomon, 1983 und 1984 sowie Cennamo, 1991). Damit würde eine Fokussierung auf die Lerninhalte einhergehen, die zu einem aktiven Verknüpfen von Informationen in einem reflektierenden Verarbeitungsmodus beiträgt. Durch eine solche Elaborationsinstruktion sollte die *extraneous cognitive load* zwar nicht beeinflusst werden, jedoch sollte die Kapazität der *germane cognitive load* intensiver genutzt werden. Falls es damit notwendig wäre, daß der mentale Aufwand dafür ausschlaggebend ist, daß die Lerninhalte nicht nur aufgenommen (rekodiert und erlebnisorientiert verarbeitet) sondern tatsächlich auch elaboriert und reflektierend verarbeitet werden, so sollte das Fehlen einer Elaborationsinstruktion zu geringerem Wissenserwerb führen.

Zunächst sollte grundsätzlich mit Untersuchungen geklärt werden, was getan werden kann, um den Lernprozess in virtuellen Umgebungen zu optimieren oder ob ein Lernvorteil gegenüber anderen Medien unter optimalen Bedingungen zu erwarten ist. Deswegen erscheint es als wesentlich, den Faktor mentaler Aufwand zu untersuchen. Die Bedeutung dieses Faktors für einen Lernerfolg wurde bereits in verschiedenen medienpsychologischen Arbeiten demonstriert. Hingegen würde eine Manipulation der kognitiven Belastung bedeuten, durch verschiedene Eingriffe in die virtuelle Umgebung die *extraneous cognitive load* günstig zu beeinflussen. Diese Variationen könnten sich jedoch negativ auf die Immersivität des Mediums und das entstehende Präsenzerleben auswirken, so daß die Ergebnisse möglicherweise nicht eindeutig zugeordnet werden könnten. Aufgrund der Möglichkeit in der Aufgabenbearbeitung eigenen Wegen im jeweils eigenen Tempo zu folgen, steht des weiteren zu erwarten, daß ein intrinsisches Management der kognitiven Belastung während der Interaktion erfolgreich möglich ist. Deswegen wird von einer Untersuchung und Erfassung der kognitiven Belastung abgesehen.

Zusammengefasst liegt es nahe, zunächst den Zusammenhang zwischen der Immersion, dem Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand zu untersuchen. Bislang konnten anhand theoretischer Überlegungen und mit der Übertragung von Untersuchungsergebnissen, die mit anderen Medien erzielt wurden, die kognitiven Lernprozesse mit virtuellen Umgebungen genauer beschrieben werden. Um zu erkennen, ob die damit implizit postulierten Lernvorteile virtueller Umgebungen auch empirisch

nachweisbar sind, ist es notwendig, empirisch prüfbare Hypothesen aufzustellen.

5 *Hypothesen zu Einflüssen auf den Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen*

In den vorangegangenen Kapiteln wurden wissenserwerbsrelevante Aspekte und Forschungsergebnisse zum Lernen mit virtuellen Umgebungen diskutiert. Aus den dargestellten Befunden und theoretischen Überlegungen kristallisierten sich mehrere Merkmale als die entscheidenden Faktoren heraus, um die Unterstützung eines erfolgreichen Wissenserwerbs mit virtuellen Umgebungen zu untersuchen: (1) die *Immersion*, (2) das *Präsenzerleben* und (3) der *investierte mentale Aufwand* zur Verarbeitung von Lerninhalten. Für den Lernprozess in virtuellen Umgebungen stellt sich damit als zentrale Frage: Welchen Einfluss besitzen diese drei Faktoren auf den Prozess und das Ergebnis des Wissenserwerbs? Grundsätzlich kann dies in die Frage eingebettet werden, ob eher das Medium, d.h. die „virtuelle Umgebung“, oder eher personale Faktoren oder eher eine instruktionale Unterstützung zum Lernerfolg beitragen (vgl. Moreno & Mayer, 2002).

So wäre erstens seitens des *Mediums* die Immersion der virtuellen Umgebung der zentrale Faktor, der zu einem Lernerfolg beitragen sollte. Ein gewisses Ausmaß an Immersion wird *per definitionem* als notwendige Voraussetzung für die Auseinandersetzung mit den Lerninhalten in einer virtuellen Umgebung vorhanden sein müssen. Es erscheint allerdings notwendig, genauer zu untersuchen, ob und wenn ja, wie Lernprozesse effizient durch die Immersion der virtuellen Umgebung unterstützt werden.

Zweitens wird „Präsenz“ als das spezifische Phänomen verstanden, das seitens des *Benutzers* mit dem Medium „virtuelle Umgebung“ verbunden ist (vgl. Kapitel 3.2). Allerdings ist es nicht nur das Erleben der virtuellen Umgebung, sondern die dadurch eventuell ausgelösten oder zumindest beteiligten kognitiven Prozesse, die letztlich zu einem Wissenserwerb führen werden. Dabei sind auch Vorerfahrungen mit Medien sowie die allgemeine Bereitschaft, sich auf ein solches Erleben einzulassen, mit zu berücksichtigen. Deswegen sind auf Seiten der Person *aktuelle subjektive Zustände* (das empfundene Präsenzerleben) und *personal stabile Attribute* (Präsenzbereitschaft) zu unterscheiden. Beide können in unterschiedlicher Weise auf Nutzerverhalten und Wissenserwerb wirken. So können personal stabile Attribute in Form von Vorerfahrungen, Mediennutzung und Wir-

kung von Distraktoren - zusammengefasst als Präsenzbereitschaft - auf die aktuelle Präsenz wirken. Für das aktuelle Nutzerverhalten und den resultierenden Wissenserwerb sollte jedoch der aktuelle Zustand der Präsenz der entscheidende Faktor des Erlebens sein.

Drittens können relevante Einflüsse durch *instruktionale Massnahmen* vorhanden sein, die über die Förderung einer vertiefenden Verarbeitung des zu lernenden Materials zum Wissenserwerb beitragen. Grundsätzlich wird ein hoher investierter mentaler Aufwand von mehreren Autoren als Voraussetzung für eine umfassendere Verarbeitung der Lerninhalte angesehen (vgl. Salomon, 1983, 1994). Die instruktionale Massnahme kann insbesondere umgesetzt werden, indem eine Aufforderung zum Investieren von mentalem Aufwand (*mental effort*) eingesetzt wird, die eine tiefere Verarbeitung der Lerninhalte anregt (in Anlehnung an Salomon, 1984). Auch in diesem Fall ist zwischen *aktuellen subjektiven Zuständen* (der aktuell investierte mentale Aufwand) und *personal stabilen Attributen* (Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand) zu unterscheiden. Für den konkreten Wissenserwerb steht zu vermuten, daß der tatsächlich investierte mentale Aufwand entscheidend sein wird. Die Höhe des aktuell investierten mentalen Aufwands wird jedoch nicht unwesentlich von der vorhandenen Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand abhängig sein.

Insgesamt wird während der Interaktion mit der virtuellen Umgebung eine kognitive Belastung (*cognitive load*) vorhanden sein, deren einzelne Bestandteile einen Einfluss auf die Wissenserwerbsleistungen besitzen werden. Da eine gewisse Unerfahrenheit im Umgang mit virtuellen Umgebungen bei Versuchspersonen nicht ganz ausgeschlossen werden kann, sollte besonders zu Beginn der Interaktion eine höhere kognitive Belastung vorhanden sein, die aus der Gewöhnung an die Umgebung resultiert. Im Fortgang der Interaktion sollte hingegen eine effiziente metakognitive Regulation der Belastung möglich sein, um den Lernprozess effizient zu gestalten. Inwieweit dies tatsächlich gelingt, soll durch eine Analyse des Explorationsverhaltens der Benutzer erfasst werden. Die Analyseeinheiten sollten die inhaltliche und zeitliche Exploration sowie nach die Explorationshäufigkeit der Lerninhalte differenzieren (in Anlehnung an Canter, Rivers & Storrs, 1985; vgl. Kapitel 2.3).

Grundsätzlich wird die kognitive Belastung in der Interaktion mit der virtuellen Umgebung eine Rolle für die Verarbeitung der Lerninhalte spielen. Nur wenn ausreichend kognitive Kapazität (als *germane cognitive load*) zur Verarbeitung der Lerninhalte vorhanden ist, kann diese ausreichen, um die Elaboration der Inhalte effizient zu ermöglichen. Wenn die kognitive Belastung durch die Interaktion mit der virtuellen Umgebung zu hoch würde (*extraneous cognitive load*), dann müsste die Verarbeitung der Inhalte darunter leiden und ein suboptimaler Lernerfolg resultieren.

In vielen theoretischen Ansätzen wird zwischen zwei kognitiven Verarbeitungsmodi unterschieden (vgl. Kapitel 4.1ff.). In dieser Arbeit werden die Bezeichnungen der Verarbeitungsmodi von Norman (1993) übernommen, der zwischen einem *erlebnisorientierten* und einem *reflektierenden Verarbeitungsmodus* unterscheidet. Dies geschieht, um erfassen zu können, inwieweit das *Erleben* von Präsenz zu einer *erlebnisorientierten* und zu einer *reflektierenden* Verarbeitung der Lerninhalte beitragen kann. Die allgemein formulierten Rahmenbedingungen zu den erwarteten Wirkungen der Immersion, des Präsenzerlebens und dem investierten mentalen Aufwand werden nun in konkrete Hypothesen überführt, die anschließend empirisch geprüft werden sollen.

5.1 Erwartete Wirkungen der Immersion

Die Wirkung der (medialen) Immersion auf die (personale) Präsenz ist insofern ausgezeichnet, als dies die Grundannahme der bisherigen Forschungsergebnisse darstellt, auf deren Basis in Kapitel 3 die hypothetischen Konstrukte „Immersion“ und „Präsenz“ definiert wurden. Diese Annahme besagt, daß eine höhere mediale Immersion mit einem höheren Erleben von Präsenz einhergeht. Nach dem Modell von Steuer (1992; vgl. Kapitel 3.1) sind es die Aspekte der Lebendigkeit (*vividness*) und der Interaktivität der virtuellen Umgebung, auf denen sich dieses Erleben von Präsenz gründet.

1. Hypothese (H1): Höhere Immersion führt zu höherer Präsenz.

Unterschiede in Nutzerstrategien und im Explorationsverhalten der Benutzer als Wirkungen der Immersion anzunehmen, ist bedingt plausibel zu begründen. So sollten die Lerner bei einer erhöhten Immersion eine Normalisierung der Interaktion erfahren und die Interaktion mit der virtuellen Umgebung sollte ähnlich der Interaktion in der realen Umgebung von

statten gehen. Die Teilnehmer sollten einen höheren Anteil der Informationsknoten aufsuchen und an diesen mehr Zeit verbringen, als wenn die Immersion niedriger wäre und die Teilnehmer von der virtuellen Umgebung weniger „sensorisch absorbiert“ werden. Allerdings basiert diese Überlegung auf einem komplexen Merkmalsmuster des Mediums und weniger auf Überlegungen zur direkteren Beeinflussung kognitiver Prozesse.

2. Hypothese (H2): Höhere Immersion führt zu intensiverer Exploration der Lerninhalte.

Mögliche Wirkungen der Immersion auf den resultierenden Wissenserwerb sollen ebenfalls vorhanden sein. In dem Fall, in dem eine hohe Immersion das Lernen maßgeblich beeinflusst, würden hoch-immersive virtuelle Umgebungen den Lernprozess eher als ein Lernen mit realen Gegenständen erscheinen lassen (und dabei zusätzlich eine höhere Präsenz fördern). Dann wären Effekte der höheren Immersion zu erwarten, in denen das Lernergebnis nur davon abhängig ist, ob eine hohe oder niedrige Immersion realisiert wurde. Im Kontext dieser Untersuchung wird zunächst davon ausgegangen, daß eine hohe Immersion zu einer erhöhten Aufmerksamkeitszuwendung auf die virtuelle Umgebung führt. Insofern sind positive Effekte auf das Behalten von Inhalten zu erwarten. Für Verstehensleistungen, die ein aktives Verknüpfen von Informationen in einem *reflektierenden Verarbeitungsmodus* notwendig machen, läßt sich ein direkter Einfluß jedoch nicht plausibel begründen. Allerdings wird sich ein indirekter Einfluß der Immersion über das Präsenzerleben auf das Verstehen zeigen (vgl. Hypothese 1 und Hypothese 8).

3. Hypothese (H3): Höhere Immersion führt zu höherer Behaltensleistung.
4. Hypothese (H4): Höhere Immersion führt zu höherer Verstehensleistung.

Zusammengefasst sollte die Variable Immersion dazu führen, daß sich die medialen Besonderheiten der virtuellen Umgebung auf die Präsenz in der Umgebung, auf das Explorationsverhalten sowie auf die Behaltensleistung und die Verstehensleistung auswirken.

5.2 Erwartete Wirkungen der Präsenz

Allgemein finden sich in der Literatur Hinweise und vielfältige Aussagen, daß eine hohe Präsenz zu Aufgabenperformanz und Lernerfolgen beiträgt (vgl. Kapitel 3.5). Neben der Immersion werden besonders personal stabile Zustände am Zustandekommen des Präsenzerlebens beteiligt sein (vgl. Witmer & Singer, 1998). Die personal stabilen Zustände konstituieren sich aus Präsenzerfahrungen mit anderen Medien, z.B. mit Videospielen oder Spielfilmen, und aus der allgemeinen Ablenkbarkeit durch Distraktoren. Grundsätzlich ist deshalb anzunehmen, daß die Präsenzbereitschaft als Prädisposition auf die aktuelle Präsenz einwirkt.

5. Hypothese (H5): Höhere Präsenzbereitschaft führt zu höherer Präsenz.

Der Standpunkt, daß sich hohe Präsenz in positiver Weise auf Performanz, Aufgabenbearbeitung und Wissenserwerb auswirkt (vgl. Kapitel 3.5), enthält implizit die Erwartung, daß das Explorationsverhalten der Benutzer positiv beeinflusst wird. Dabei ist wichtig, daß es vor allem die fokussierte und zielgerichtete Exploration und Analyse der Lerninhalte ist, die zu einer optimalen Aufgabenbearbeitung und zu einem optimalen Lernerfolg führen. Wenn hohe Präsenz das Explorationsverhalten sinnvoll unterstützt, so sollte es deswegen zu einer intensiveren Exploration der Lerninhalte führen.

6. Hypothese (H6): Höhere Präsenz führt zu intensiverer Exploration der Lerninhalte.

Die allgemeinen Erwartungen zur Wirkung der Präsenz auf den Wissenserwerb laufen darauf hinaus, daß dieser unterstützt und gefördert wird. Wenn eine hohe Präsenz vorhanden ist, sollte dies auf den Prozess des Wissenserwerbs einwirken. Unter kognitionspsychologischen Gesichtspunkten sollte eine positive Wirkung der Präsenz auf den Prozess des Wissenserwerbs mit einer erhöhten Aufmerksamkeitsfokussierung auf die virtuelle Umgebung sowie einer effektiven Nutzung der kognitiven Kapazität im Sinne einer *germane cognitive load* einhergehen. Denn eine hohe Präsenz sollte die Interaktion mit der virtuellen Umgebung als eine sehr normale, natürliche Interaktion erscheinen lassen. Deswegen sollte zunächst die durch die Interaktion mit der virtuellen Umgebung gegebene *extrane-*

ous load verringert werden, so daß die als *germane cognitive load* beschriebene kognitive Kapazität erhöht wird. Damit wird durch eine hohe Präsenz zumindest ein *erlebnisorientierter Verarbeitungsmodus* begünstigt. Die Nutzung der effektiv verfügbaren kognitiven Kapazität (*germane cognitive load*) entscheidet dann darüber, ob der Wissenserwerb im Sinne des Verstehens der Lerninhalte unterstützt wird. Durch eine höhere Präsenz soll über die Fokussierung auf die virtuelle Umgebung hinaus eine Fokussierung der Lerninhalte und deren Beziehungen untereinander ermöglicht werden. Deswegen sollte die tatsächliche Nutzung der erhöhten *germane cognitive load* intensiviert werden, so daß eine höhere Elaboration der Lerninhalte erfolgt. Insofern sollte die Wirkung der Präsenz in einer verbesserten Behaltensleistung und in einer umfassenderen Verstehensleistung nachweisbar sein.

7. Hypothese (H7): Höhere Präsenz führt zu höherer Behaltensleistung.
8. Hypothese (H8): Höhere Präsenz führt zu höherer Verstehensleistung.

Der Faktor Präsenz sollte somit dazu führen, daß sich das Erleben in der Umgebung präsent zu sein, fördernd auf das Explorationsverhalten sowie auf die Behaltens- und Verstehensleistung auswirkt.

5.3 Erwartete Wirkungen des mentalen Aufwands

In verschiedenen Untersuchungen führte bereits eine Instruktion, „sich ‚ernsthaft‘ mit dem präsentierten Material zu beschäftigen“, zu einer Erhöhung des mentalen Aufwands in der Verarbeitung der Inhalte (Kwiatk & Watkins, 1984). Nach diesen und weiteren Ergebnissen zum Lernen mit Fernsehen (Salomon, 1984) und Video (Cennamo, 1993) wäre auch für virtuelle Umgebungen zu erwarten, daß eine tiefere Verarbeitung der Lerninhalte durch instruktionale Anweisungen zu erreichen ist. Demnach wäre in diesem Fall eine instruktionale Aufforderung zur Investition von mentalem Aufwand ein relevanter Faktor in der Aneignung der Lerninhalte. Wenn hingegen eine explizite Aufforderung zur Investition von mentalem Aufwand fehlt, sollte dies dazu führen, daß die Lerninhalte mit weniger mentalem Aufwand und nur wenig in einem *reflektierenden* Verarbeitungsmodus verarbeitet werden.

Eine Voraussetzung für die Investition von mentalem Aufwand stellt die persönliche Vorerfahrung mit dem Medium und die wahrgenommene Selbst-Wirksamkeit im Umgang mit demselben dar (Salomon, 1983, 1984). Generell wäre zumindest anzunehmen, daß sich eine höhere Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand tatsächlich in einem höheren investierten mentalen Aufwand zeigt.

9. Hypothese (H9): Höhere Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand führt zu einem höheren investierten mentalen Aufwand.

Ein höherer investierter mentaler Aufwand sollte sich im allgemeinen positiv auf die Nutzerstrategie auswirken. Gerade, wenn eine Elaborationsinstruktion eingesetzt wird, die die Lerner auf die Aufnahme oder Verarbeitung der Lerninhalte hinweist, sollten die Lerner die präsentierten Inhalte ernsthaft und zielgerichtet aufnehmen und verarbeiten. Insofern sollte sich ein höherer investierter mentaler Aufwand in einer intensiveren Exploration der Lerninhalte zeigen.

10. Hypothese (H10): Höherer investierter mentaler Aufwand führt zu intensiverer Exploration der Lerninhalte.

Die Wirkung einer Elaborationsinstruktion zur Anregung des mentalen Aufwands der Lerner in einer virtuellen Umgebung sollte auf jeden Fall nicht negativ auf den resultierenden Wissenserwerb wirken. Vielmehr ist zumindest ein Effekt auf Behaltensleistungen mehr als plausibel, da die instruktionale Anweisung als Förderung des Lernverhaltens verstanden werden sollte. Darüber hinaus sollte sich der investierte mentale Aufwand positiv auf die Verstehensleistungen auswirken. Denn die mit einem höheren mentalen Aufwand als Folge einer Elaborationsinstruktion einhergehende Fokussierung auf die Lerninhalte sollte zu einem aktiven Verknüpfen von Informationen in einem *reflektierenden* Verarbeitungsmodus beitragen. Die *extraneous cognitive load* sollte durch eine solche Manipulation zwar nicht beeinflusst werden, jedoch sollte die Kapazität der *germane cognitive load* intensiver genutzt werden. Deswegen werden bei einem höheren mentalen Aufwand höhere Behaltens- und Verstehensleistungen erwartet.

11. Hypothese (H11): Höherer investierter mentaler Aufwand führt zu höherer Behaltensleistung.

12.Hypothese (H12): Höherer investierter mentaler Aufwand führt zu höherer Verstehensleistung.

Zusammengefasst sollten sich positive Einflüsse eines hohen investierten mentalen Aufwands auf die Exploration sowie die Behaltens- und Verstehensleistung zeigen.

5.4 Erwartungen zu Zusammenhängen zwischen den Variablen

Zusätzlich zu den bisher erwarteten Effekten der einzelnen unabhängigen Variablen ist zu betrachten, ob und wenn ja, in welcher Weise sich ein Zusammenhang zwischen den subjektiven (abhängigen) Maßen zeigt. Dies könnte sich unter Umständen auf die Maße zum Explorationsverhalten oder zum Wissenserwerb auswirken. Die erwartete Wirkung der Immersion auf die Präsenz wurde bereits diskutiert. Die Effekte könnten sich vor allem als mögliche Wirkung der Elaborationsinstruktion auf das Präsenzerleben sowie in einem Zusammenhang zwischen dem Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand zeigen. Ein Einfluß der Immersion auf den investierten mentalen Aufwand erscheint nicht direkt plausibel zu sein: Denn warum sollte ein mediales Merkmal auf den Benutzer in der Form wirken, daß dieser einen geringeren oder höheren mentalen Aufwand leistet? Allerdings wäre es möglich anzunehmen, daß die Immersion indirekt auf die Lernmotivation der Teilnehmer wirkt. Eine direkte Wirkung der Immersion wäre insofern denkbar, wenn die realitätsnahe Wahrnehmung der Inhalte in der virtuellen Umgebung direkt oder indirekt dazu führt, daß der Benutzer dazu angeregt wird, einen höheren mentalen Aufwand aufzuwenden. Da diese Überlegungen jedoch eher spekulativen Charakter besitzen, ist zunächst nicht von einer Wirkung der Immersion auf den investierten mentalen Aufwand auszugehen.

13.Hypothese (H13): Immersion beeinflusst den investierten mentalen Aufwand nicht.

Eine instruktionale Aufforderung zur Investition von mentalem Aufwand könnte sich unter Umständen auf das Präsenzerleben auswirken, da sich diese ebenfalls auf die Lerninhalte bezieht, die innerhalb der virtuellen Umgebung zu bearbeiten sind. Zu beachten ist allerdings, daß es sich bei dieser instruktionalen Maßnahme um einen zielgerichteten Hinweis auf die Lerninhalte handeln sollte (vgl. Kapitel 4.2.3). Eine solche instruktiona-

le Aufforderung würde im Kontext des komplexen Interaktionsgeschehens in der virtuellen Umgebung wahrscheinlich keine substantielle Änderung des Erlebens der Umgebung mit sich bringen, da dies weitgehend von anderen Faktoren bestimmt wird (vgl. Kapitel 3.2). Insofern ist zunächst nicht davon auszugehen, daß eine solche Instruktion das Präsenzerleben beeinflusst.

14.Hypothese (H14): Elaborationsinstruktion zur Investition von mentalem Aufwand beeinflusst das Präsenzerleben nicht.

Hingegen ist eine Interaktion zwischen Präsenz und mentalem Aufwand durchaus möglich. Denn beide Merkmale beziehen sich auf interne Zustände des Benutzers. Die Präsenz soll eher ein generelles „Erleben“ erfassen, das ähnlich einem *flow*-Erleben erfahren wird. Dieser Zustand würde nicht nur nahe legen, eine höhere erlebnisorientierte sondern auch eine höhere reflektierende Verarbeitung der Lerninhalte zu erwarten (vgl. Hypothese H8). Bei der Einschätzung des investierten mentalen Aufwands handelt es sich gerade um ein subjektives Maß für eine reflektierende Verarbeitung der Lerninhalte. Deswegen steht zu erwarten, daß sich ein positiver Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand zeigt.

15.Hypothese (H15): Es besteht ein Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand.

Ebenso wurde eine generell positive Wirkung der Präsenz auf die erlebnisorientierte und die reflektierende Verarbeitung der Wissensinhalte angenommen. Sowohl wenn eine hohe Präsenz, als auch wenn ein hoher investierter mentaler Aufwand vorliegen, soll jeweils die effektiv verfügbare kognitive Kapazität, die *germane cognitive load*, intensiver genutzt werden. Das bedeutet, es sollte mehr mentaler Aufwand investiert werden, um die Lerninhalte in einem reflektierenden Verarbeitungsmodus zu behandeln.

Es könnte allerdings notwendig sein, daß die Lerner sich zwischen einer hohen Präsenz und der Instruktion zur Verarbeitung der Lerninhalte entscheiden müssen. Der erlebnisorientierte Zustand der Präsenz könnte mit der Anweisung zur Verarbeitung der Lerninhalte interagieren und deren Befolgung behindern oder fördern. Dann würde möglicherweise die Integration von konkreten und abstrakten Lerninhalten nicht ausreichend für ein

substantielles Lernergebnis vorgenommen. Dies ist allerdings weniger plausibel, da die instruktionale Anweisung keine komplexen Bearbeitungsschritte notwendig machen muss, sondern eher als eine allgemeine Fokussierung auf die Lerninhalte umgesetzt werden soll. Insgesamt sollten sich Präsenz und mentaler Aufwand gegenseitig positiv verstärken und zu einem insgesamt besseren Explorationsverhalten und einer besseren Verarbeitung der Lerninhalte führen. Dies sollte sich in höherer Exploration sowie in höheren Behaltens- und in höheren Verstehensleistungen zeigen. Insofern wird von einem positiven Effekt des Zusammenhangs zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb ausgegangen.

16.Hypothese (H16): Ein Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand bewirkt eine intensivere Exploration der Lerninhalte.

17.Hypothese (H17): Ein Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand bewirkt höhere Behaltensleistungen.

18.Hypothese (H18): Ein Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand bewirkt höhere Verstehensleistungen.

Insgesamt wird kein Zusammenhang zwischen Immersion und dem investierten mentalen Aufwand erwartet. Zwischen dem Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand wird ein Zusammenhang erwartet, der sich positiv das Explorationsverhalten und die Behaltens- und Verstehensleistungen auswirken soll.

5.5 Zusammenfassung der Hypothesen

Die vorstehenden Hypothesen wurden zu den möglichen Wirkungen der Faktoren Immersion, Präsenz und mentalem Aufwand formuliert. In Bezug auf die Hypothesen zum Explorationsverhalten und Wissenserwerb unterscheidet sich die Richtung der Hypothesen nicht: Für die Wirkungen der Immersion, der Präsenz und des investierten mentalen Aufwands werden intensiveres Explorationsverhalten und höherer Wissenserwerb vorhergesagt. Die möglichen Interaktionen zwischen den Faktoren können weite-

re Erkenntnisse dazu liefern, in welcher Weise das Medium, der Lerner und instruktionale Massnahmen am Wissenserwerb beteiligt sind. Während keine Interaktion zwischen Immersion und mentalem Aufwand angenommen wird, wird eine Interaktion zwischen Präsenz und mentalem Aufwand erwartet, die sich positiv auf den Wissenserwerb auswirken soll. Die damit erwarteten Auswirkungen der drei genannten Faktoren sind:

1. Die Immersion der virtuellen Umgebung wird sich direkt auf das Präsenzerleben der Lerner auswirken. Die realitätsnahe Gestaltung und die Ausblendung der Realität durch die virtuelle Umgebung bedeuten für den Lerner, daß sich konkurrierende Reize weniger auf die Informationsaufnahme auswirken. Die Immersion wirkt ebenfalls direkt auf das Explorationsverhalten, weil sie die Wahrnehmung der (Lern-)inhalte unterstützt. Zusätzlich wirkt die Immersion einer virtuellen Lernumgebung durch eine realitätsnahe Gestaltung der (Lern-)inhalte direkt auf die Aufnahme der Inhalte, nicht jedoch auf das Verstehen der Inhalte. Da die Präsenz maßgeblich durch die Immersion der virtuellen Umgebung beeinflusst wird, wird die Immersion allerdings über das Präsenzerleben indirekt auf das Verstehen der Lerninhalte wirken.
2. Das Präsenzerleben entsteht auf Basis der individuellen Präsenzbereitschaft. Die Immersion der virtuellen Umgebung löst das aktuelle Präsenzerleben entsprechend der jeweiligen Charakteristika der virtuellen Umgebung aus. Das Präsenzerleben wirkt dann direkt auf das Explorationsverhalten, da es eine intensivere Auseinandersetzung mit den Lerninhalten fördert. Die Lerner werden bei höherem Präsenzerleben intensiver mit den Lerninhalten interagieren und diese vermehrt explorieren. Der Wissenserwerb wird ebenfalls durch höheres Präsenzerleben gesteigert, da der entstehende *flow*-ähnliche Zustand zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den Lerninhalten führt. Deswegen wird ein höheres Präsenzerleben zu besserem Behalten und Verstehen von Lerninhalten führen.
3. Der investierte mentale Aufwand beruht zunächst auf der individuellen Bereitschaft zur Investition von mentalem Aufwand. Durch eine geeignete Elaborationsinstruktion, die den Lerner auf die Aufnahme der Lerninhalte lenkt, wird der investierte mentale Aufwand

gesteigert. Die damit einhergehende Fokussierung der Lerner auf die Lerninhalte wird ein intensiveres Explorationsverhalten auslösen. In ähnlicher Weise wird der Wissenserwerb unterstützt, da eine umfassendere und gezieltere Auseinandersetzung mit den Lerninhalten erfolgt. Der höhere investierte mentale Aufwand wird somit zu besserem Behalten und Verstehen von Lerninhalten führen.

Mit einer ersten Studie ist vor allem beabsichtigt, zunächst einen in der kognitiven Medienpsychologie gut untersuchten instruktionalen Faktor (*mentaler Aufwand*) mit dem Einfluß der zentralen Merkmale virtueller Umgebungen (*Immersion*) und dem subjektiven Erleben der Benutzer (*Präsenz*) auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb zu vergleichen. Die vorliegenden Befunde lassen Hinweise auf die Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen erkennen. Allerdings ist bislang weitgehend unklar inwieweit dies auf mediale Merkmale, subjektive Zustände oder instruktionale Unterstützungen zurückzuführen ist und wie die verschiedenen Einflüsse einzuordnen sind. Diese unklare Befundlage ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß bislang nur wenige Studien durchgeführt wurden, die auf einer so deutlichen Trennung zwischen Immersion und Präsenz basierten, wie sie in dieser Arbeit (vgl. Kapitel 3) vorgenommen wird. Hinzu kommt der Umstand, daß oftmals Vergleiche zwischen und nicht innerhalb eines Mediums vorgenommen wurden. Deswegen können eventuell weitere Faktoren das Lernergebnis beeinflusst haben, so daß nicht immer eine deutliche Verbindung zu Immersion und Präsenzerleben gezogen werden kann.

Das Ziel einer zweiten Studie wird es dann sein, auf den Ergebnissen der ersten Untersuchung aufzubauen. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse soll eine sehr gezielte und optimierte Manipulation von Immersion und Präsenz erfolgen, um noch deutlicher zu erkennen, worin die Auswirkungen dieser Faktoren auf Wissenserwerbsleistungen bestehen und in welchem Umfang sie zu einem erfolgreichen Wissenserwerb beitragen.

6 Planung und Durchführung der Untersuchungen

Den Untersuchungen lagen einige Vorarbeiten zu Grunde, die sich auf die Planung der Versuchsdurchführung bezogen. Insbesondere die Auswahl des Untersuchungsmaterials, das heißt der virtuellen Umgebung, wurde anhand verschiedener Kriterien getroffen, die das Lernmaterial und eine geeignete Experimentalumgebung betreffen.

6.1 Auswahl der virtuellen Umgebung

Virtuelle Umgebungen sollten ihre spezifischen Vorteile und Möglichkeiten gegenüber anderen Medien am besten mit eher abstrakten, unanschaulichen Lerninhalte belegen können. Denn die dreidimensionale Darstellung der Inhalte, ein hohes Ausmaß an realisierter Interaktivität sowie die Möglichkeit, unter vielfältigen Darstellungsvarianten auszuwählen (Schwan & Buder, 2002), sollte Vorteile gegenüber anderen Medien bieten. Naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge umfassen einen Gegenstandsbereich, der sich bekanntermaßen durch abstrakte, unanschauliche Inhalte auszeichnet. Und genau dort zeigen sich typische Probleme von Lernern. Denn ein Lernen naturwissenschaftlicher Zusammenhänge basiert nach de Jong und van Joolingen (1998) als primär wissenschaftliches Lernen auf operationalen Modellen. Die dabei auftretenden Lernprinzipien werden als experimentierendes und erlebendes Lernen bezeichnet. Strukturell ist das wissenschaftlich orientierte entdeckende Lernen nach de Jong und van Joolingen (1998) vor allem durch die Generierung von Hypothesen, die Gestaltung von Experimenten, die Interpretation der Daten sowie die Regulierung des entdeckenden Lernens selbst gekennzeichnet. Die typischen Probleme von Lernern werden allgemein darin ersichtlich, daß sie eine Tendenz zeigen, ihre ursprünglichen Ideen beizubehalten (de Jong & van Joolingen, 1998) und neue Hypothesen oder Ergebnisse auch dann eher nicht zu akzeptieren, wenn sie durch entsprechende experimentelle Ergebnisse belegt sind (Klahr & Dunbar, 1988). Das zugrunde liegende generelle Problem scheint zu sein, die erhobenen Daten und die zugrunde liegenden Beziehungen adäquat zu verknüpfen (de Jong & van Joolingen, 1998).

Virtuelle Umgebungen erscheinen nun für naturwissenschaftliche Zusammenhänge besonders geeignet, da sie es ermöglichen, den Aneignungsprozess in ein realitätsnahes Setting einzubetten, das die Strukturierung der Lerninhalte erleichtern kann. Die Verknüpfung eines freien „experimentierenden“ Zugangs und des direkten Erlebens von Effekten der eigenen Handlungen sollte durch die medienspezifischen Besonderheiten wirkungsvoll unterstützt werden können. Nach den postulierten Vorteilen virtueller Umgebungen für Lernprozesse, die in Kapitel 4.4 diskutiert wurden, wurde deswegen ein naturwissenschaftlicher Anwendungsbereich gewählt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der als Randbedingung der Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen anzusehen ist, ist eine optimierte Gestaltung der konkret einzusetzenden virtuellen Umgebung. Es wird notwendig sein, als Untersuchungsumgebung eine nach didaktischen Prinzipien gestaltete virtuelle Umgebung auszuwählen, in der didaktisch sehr gut aufbereitetes Lernmaterial vorhanden ist.

Auswahl der virtuellen (Versuchs-)Umgebung: Die wichtigsten Ziele in der Auswahl des Untersuchungsmaterials betrafen neben den allgemeinen Kennzeichen der virtuellen Umgebung besonders die Lerninhalte und die Gestaltungsaspekte der Umgebung. Dabei wurden im einzelnen folgende Kriterien für die Auswahl einer geeigneten virtuellen Umgebung angesetzt:

- der Lerninhalt soll aus naturwissenschaftlichen Inhalten bestehen;
- Lerninhalt und virtuelle Umgebung sollen nach didaktischen Prinzipien gestaltet sein;
- Informationen als Grundlage für einen Wissenserwerb müssen vorhanden sein;
- eine einfache Navigierbarkeit und Bewegung in der virtuellen Umgebung soll möglich sein;
- ein hoher Detailliertheitsgrad in der Gestaltung der virtuellen Umgebung soll realisiert sein und
- die Grenze des Interaktionsbereiches in der virtuellen Umgebung darf nicht überschreitbar sein.

Allgemeine Kennzeichen der virtuellen Umgebung: Allgemeine Kriterien zur *Benutzbarkeit* der virtuellen Umgebung umfassen die schnelle Erlernbarkeit und ein intuitives Eingangsverstehen (*easy to learn*; vgl. Spool, Scanlon & Schroeder, 1999) der Interaktion mit und der Navigation in der virtuellen Umgebung. Deswegen sollte die virtuelle Umgebung mit allgemein bekannten Interaktionsgeräten benutzbar sein (z.B. Maus oder Joystick). Zusätzlich sollten die Bewegungs- und Handlungsalternativen innerhalb der virtuellen Umgebung intuitiv erkennbar und benutzbar sein und nach Möglichkeit allgemein bekannten Mustern folgen (z.B. das Anklicken von „Richtungspfeilen“ zur Fortbewegung oder die Bewegung von Gegenständen mit angezeigten „Händen“).

Gestaltung der virtuellen Umgebung: Die Gestaltung sollte insgesamt durch eine möglichst hohe Detailliertheit der dargestellten Gegenstände charakterisiert sein. Hierzu gehört unter anderem, daß die virtuelle Umgebung den Bildschirm möglichst vollständig ausfüllt. Um dies zu erreichen, sollte die Bildschirmauflösung entsprechend skalierbar sein. Die Gestaltbarkeit der virtuellen Umgebung nach lerntheoretischen Vorgaben wurde zunächst lediglich als wünschenswert erachtet. Die virtuelle Umgebung sollte im *single-user Modus* zu benutzen sein und demzufolge keine Chat-Funktionen beinhalten. Insofern soll die Benutzung einer virtuellen Umgebung als reine *single-user*-Umgebung und gegebenenfalls ein Ausblenden anderer Benutzer möglich sein. Als bevorzugte Ansicht für die Versuchsperson sollte eine *first-person-view* vorhanden sein (d.h. die Person sieht die Umgebung „durch die eigenen Augen“ und sieht nicht etwa einen Avatar). Diese Ansicht sollte keine Umschaltmöglichkeit für die Lerner bieten. Die *Interaktion* generell sollte für die Versuchsperson restringiert werden können. Insbesondere sollten bestimmte Funktionen (avatarbezogen; bewegungsbezogen, geschwindigkeitsbezogen) ausgeschaltet werden können und eine Begrenzung der Fortbewegungsart sollte möglich sein (nur „gehen“ - kein „fliegen“). Zusätzlich sollten Menüleisten, Browserleisten etc. ausgeblendet werden können. Ein recht eng begrenzter Arbeits- oder Lernraum sollte vorhanden sein, damit die zur Testung vorgesehenen Items möglichst vollständig betrachtet und exploriert werden können.

(Lern-)Inhalte in der virtuellen Umgebung: Bezüglich der Inhalte, die als Grundlage für den Wissenserwerb in der virtuellen Umgebung vor-

handen sein sollten, ist erstens festgelegt worden, daß die zu *lernenden Inhalte* teilweise unbekannt, von mittlerem Schwierigkeitsgrad und möglichst intrinsisch motivierend sein sollten. Zusätzlich müssten ein Ansatz zur instruktionalen Vorgabe einer Aufgabe und ein Ansatz zur Testung des erworbenen Wissens gegeben sein. Zweitens sollte die *Präsentation der Inhalte* auditiv, visuell und als Kombination von beiden realisiert werden. Und schließlich sollte drittens eine *Aktivierung von Metawissen* oder *Wissen über Zusammenhänge* durch das Verknüpfen einzelner Lerninhalte möglich sein.

Ansätze zur Testung des erworbenen Wissens: In Bezug auf die Testung des Wissenserwerbs ist zu beachten, inwiefern Lerninhalte bereits vorliegen bzw. erst geschaffen werden müssen. Eine detaillierte *Quantifizierung der Testung* sollte durch das Vorliegen unverbundener Einzelelemente (Behaltenstest) und eventuell mögliche Schlussfolgerungen und Inferenzen (Verstehenstest) möglich sein (vgl. Kap. 6.4.4). Zu den Behaltensaufgaben sollten einzeln abfragbare Informationspartikel vorhanden sein, die nicht tätigkeitsbezogen präsentiert werden. Für die Verstehensaufgaben wurden Verbindungen zwischen (zunächst) isolierten Fakten und Vergleichen zwischen Informationen herangezogen. Dies erfolgte vor dem Hintergrund der Überlegung, daß für die Bewertung, wie gut Lerner eine multimediale Erläuterung verstanden haben, eine Verstehensleistung womöglich ein besseres Maß als eine Behaltensleistung darstellen kann.

Sonstige Anforderungen: Als zusätzliche Anforderungen wurde die Protokollierbarkeit der Interaktion formuliert (zum Beispiel durch die Aufzeichnung des Bildschirms). Eine weitere Anforderung stellte die Möglichkeit zur experimentellen Variation der Immersion dar, die ohne Informationsverlust für die Versuchsperson möglich sein sollte (d.h. Konstanthalten der verfügbaren inhaltsbezogenen Informationen für alle Versuchspersonen).

6.2 Beschreibung der Versuchsumgebungen

Die Entscheidung für die sogenannten „Lernadventures“ *Physikus* (Studie 1) und *Chemicus* (Studie 2) als Experimentalumgebungen wurde nach einer umfassenden Recherche zu virtuellen Umgebungen getroffen. Beide Lernadventures werden vom Heureka-Klett-Verlag (Stuttgart) herge-

stellt und auf je zwei CD-ROM oder DVD ausgeliefert. Die Software ist mit den derzeit üblichen Betriebssystemen (alle aktuellen Versionen von MS Windows oder Apple Macintosh) auf Rechnern mit üblicher Ausstattung installierbar und ausführbar. Während die erste CD lediglich zur Installation des Programms benutzt wird, dient die zweite CD zur ständigen Aktualisierung und dem Nachladen von Dateien während der Interaktion. Ein Vorteil dieses Systems liegt damit im schnellen Zugriff auf benötigte Daten, so daß für die Benutzer keine nennenswerten Verzögerungen erkennbar sind.

Zur Eignung und Zuverlässigkeit der Medien ist festzustellen, daß die Lerninhalte in didaktisch aufbereiteter Form von einem der führenden deutschen Hersteller von Lehr-Lernmedien (Fa. Heureka-Klett, Stuttgart) an eine Multimediaagentur (Fa. Ruske & Püretmayer, Wiesbaden) geliefert werden, die Konzeption, Design und technische Realisierung des Adventurespiels übernimmt²⁴. Dieser Herstellungsprozess zielt auf ein erfolgreiches Produkt zum Lernen ab, das sich am Markt beweisen muss. Nach der eingehenden Prüfung der Materialien wurde das Lernmaterial als motivational ansprechend gestaltet und didaktisch sinnvoll konzipiert eingeordnet.

Vergleichbare Adventurespiele sind unter den Namen „Myst“, „Riven“ (der Name für „Myst 2“) und „Myst 3“ im Handel. In diesen Adventurespielen werden ähnliche Bildschirmdarstellungen realisiert, wie die, die in *Physikus* und *Chemicus* dargestellt werden. Nach einer explorativen Erhebung in Tübinger und Stuttgarter Fachgeschäften für Computerspiele bieten gerade diese Spiele den Spielern eine hohe Präsenz: Daran sollen insbesondere die Bildübergänge, die Gestaltung der virtuellen Umgebung und die implementierten Interaktionsmöglichkeiten beteiligt sein. Insofern wurde davon ausgegangen, daß den Probanden mit diesen Lernadventures eine hohe Immersion und eine ausreichende Präsenz in *Physikus* und *Chemicus* ermöglicht werden kann.

²⁴ Persönliche Mitteilung des Geschäftsführers der Multimediaagentur Ruske & Püretmayer, Herrn Axel Ruske, im Rahmen der Roundtable-Veranstaltung „Lernspiele in der betrieblichen Weiterbildung“ am Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO) der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart, am 01.10.2002.

Abbildung 12: Adventureteil im *Physikus*²⁵.



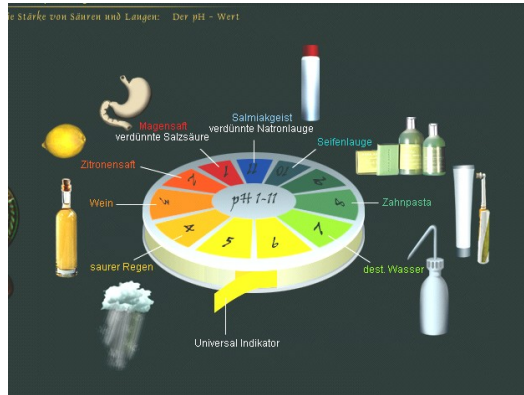
Abbildung 14: Lernteil im *Physikus*²⁷.



Abbildung 13: Adventureteil im *Chemicus*²⁶.



Abbildung 15: Lernteil im *Chemicus*²⁸.



²⁵ Abbildung 12 wurde aus einem screenshot der *Physikus*-Software angefertigt.

²⁶ Abbildung 13 wurde aus einem screenshot der *Chemicus*-Software angefertigt.

²⁷ Abbildung 14 wurde aus einem screenshot der *Physikus*-Software angefertigt.

²⁸ Abbildung 15 wurde aus einem screenshot der *Chemicus*-Software angefertigt.

Im Falle des *Physikus* basiert die Rahmenhandlung auf der Idee, die Welt wäre durch einen Meteoriteneinschlag zum Stillstand gekommen und könnte durch eine „Rückstoßmaschine“ wieder in Bewegung gebracht werden. Dabei sind vielfältige Aufgaben zur Physik in freier Exploration auf einer Insel zu bearbeiten. Für das experimentelle Setting wurde ein bestimmter, gut abtrennbarer Teil der Adventureumgebung ausgewählt, in dem insbesondere Aufgaben zur Mechanik und zur Elektrizitätslehre bearbeitet werden sollten. Ein Beispiel zu der Gestaltung des Adventureteils im *Physikus* ist mit Abbildung 12 und die Gestaltung des Lernteils ist in Abbildung 14 dargestellt.

Für den *Chemicus* besteht die Rahmenhandlung darin, einen verschollenen Freund in einem nicht näher bekannten Land wiederzufinden, da dieser dort entführt wurde. Der ausgewählte Teil der virtuellen Umgebung beschränkt sich auf ein chemisches Labor und einen hinzugehörigen Gang, in denen verschiedene Aufgaben zu einfacheren chemischen Prozessen, wie Säuren und Laugen, zu bearbeiten waren. Ein Beispiel zu der Gestaltung des Adventureteils im *Chemicus* ist mit Abbildung 13 und die Gestaltung des Lernteils ist in Abbildung 15 dargestellt.

Die einzelnen Aufgaben können in der Regel nur mit entsprechendem Fachwissen bearbeitet werden, das in diesem Fall aus der Physik bzw. Chemie stammt. Dieses Fachwissen wird in einem multimedial gestalteten Lernteil zur Verfügung gestellt (in Form von Informationen und Graphiken, von Simulationen und Animationen). Dementsprechend bestehen diese Lernadventures aus einem multimedialen Lernteil und der virtuellen Umgebung des Adventureteils. In der virtuellen Umgebung des Adventureteils sind in freier Exploration verschiedene Aufgaben zu bearbeiten, um das Ziel des Spiels zu erreichen. Die Lernadventures *Physikus* und *Chemicus* stellen somit eine innovative Verbindung eines klassischen Adventure-Szenarios und einer multimedialen Lernsoftware dar. Das Niveau des Adventures und des Lernteils mit den zu erarbeitenden Inhalten wird seitens des Herstellers für die Altersstufe von 12 bis 20 Jahren als besonders geeignet eingestuft (so wird zum Beispiel in der Elektrizitätslehre der elektrische Widerstand nur als „Ohmscher Widerstand“ eingeführt; in der Mechanik wird nur die „Newtonsche Mechanik“ verwendet). Dennoch war nicht

zu erwarten, daß die beteiligten Versuchspersonen Deckeneffekte im praktischen Umgang mit den vorbereiteten Lerninhalten zur Physik bzw. Chemie zeigen würden. Dies ist vom Autor auf Grund allgemeiner Erfahrungen vorausgesetzt worden und bestätigte sich nach einer explorativen Befragung zum Physik- und Chemiewissen mit mehreren studentischen Hilfskräften, die am Lehrstuhl für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie tätig waren. Eine explizite Kontrolle dieser Annahme sollte im Rahmen der Untersuchung mit einer Erhebung des Physik-Vorwissens bzw. Chemie-Vorwissens der Versuchspersonen erfolgen. Insgesamt sind die virtuellen Umgebungen *Physikus* und *Chemicus* durch folgende Charakteristika gekennzeichnet:

- die virtuelle Umgebung ist jeweils desktopbasiert, damit ist eine Darstellung auf einem handelsüblichem Monitor möglich;
- es ist nur eine *single-user* Interaktion mit der virtuellen Umgebung möglich;
- die Ansicht der virtuellen Umgebung erfolgt in der Perspektive „erster Person“ (*first-person-view*; Sicht auf das Geschehen wie durch die eigenen Augen);
- die virtuelle Umgebung ist realitätsnah gestaltet; die Größenverhältnisse sind äquivalent zur Lebensgröße einer beteiligten Person;
- Bild und Ton sind in integrierten Formaten vorhanden; Ton ist einzeln zu- und abschaltbar, die Audioinformationen besitzen nur atmosphärischen Charakter und keine inhaltliche Bedeutung.

Physikus und Chemicus als virtuelle Umgebung: Die beiden Versuchsumgebungen *Physikus* und *Chemicus* unterscheiden sich deutlich von einigen anderen Arten virtueller Umgebungen, wie sie in Kapitel 1.2 vorgestellt wurden. Allgemein sind *Physikus* und *Chemicus* als virtuelle Umgebungen einzuordnen, da sie eine weitgehend freie Bewegung und Interaktion in einer dreidimensional gestalteten synthetischen Umgebung erlauben (vgl. Schwan & Buder, 2002).

Nach dem Modell von Slater und Wilbur (1997) lassen sich *Physikus* und *Chemicus* anhand der Kategorien *inclusiveness*, *extensiveness*, *surround* und *vividness* einordnen (vgl. Kapitel 3.1). Die Ausblendung der realen Umgebung (*inclusiveness*) erfolgt hier allerdings nur in begrenztem

Maße, da ein desktop-PC verwendet wird. Die durch die virtuelle Umgebung angesprochenen Sinnesmodalitäten sind primär visuell; im auditiven Kanal befinden sich atmosphärische Zusatzinformationen (*extensiveness*). Die Person des Benutzers wird durch die virtuelle Umgebung nur begrenzt eingeschlossen, da selbst ein großer Monitor das Blickfeld nicht vollständig ausfüllen kann (*surround*). Die Auflösung und Aktualisierung der virtuellen Umgebung wird durch eine hohe Bildschirmauflösung und gute Tonqualität gewährleistet (*vividness*).

Ebenfalls können *Physikus* und *Chemicus* nach dem Modell von Steuer (1992) in den Bereichen Lebendigkeit (*vividness*) und Interaktivität genauer beschrieben werden (vgl. Kapitel 3.1). Die Lebendigkeit des *Physikus* und des *Chemicus* zeigt sich zunächst in der sensorischen Breite und Tiefe der dargebotenen Informationen, die mit hoher Bildschirmauflösung, detaillierter Farbpalette und sehr guter Tonqualität auf einem *desktop*-PC bereitgestellt werden können. Hinzu kommt die Interaktivität von *Physikus* und *Chemicus*, die durch eine hohe Geschwindigkeit der Interaktion (schneller Bildaufbau, schnelle Reaktion des Systems auf Benutzereingaben) und umfangreiche Handlungsmöglichkeiten innerhalb des Szenarios gekennzeichnet ist.

Eine ergänzende Einordnung von *Physikus* und *Chemicus* als virtuelle Umgebungen kann nach der Unterscheidung von McLellan (1996) unter technischen und psychologischen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Hierbei werden die oben aufgestellten Kriterien für eine virtuelle Umgebung besonders berücksichtigt.

Technische Einordnung: Die Realisation der Lernadventures *Physikus* und *Chemicus* durch die Multimediaagentur erfolgte nach Herstellerangaben mit der Software Director der Firma Macromedia, die eine anspruchsvolle dreidimensionale Darstellung, interaktive Elemente sowie eine sehr einfache Interaktion und Navigation über den Mauszeiger ermöglicht. In die Umgebung integriert sind Audioelemente (zum Beispiel Hintergrundgeräusche oder Geräusche beim Betätigen bestimmter Elemente) und Animationen (zum Beispiel ein Flaschenzug oder ein Schmiedehammer). Die Darstellung erfolgt auf einem handelsüblichen Bildschirm, so daß ein Aufbau in einem normalen Versuchsraum möglich ist.

Psychologische Einordnung: Die virtuellen Umgebungen in *Physikus* und *Chemicus* bestehen jeweils aus einer realitätsnah wirkenden Umgebung. Die Rahmenhandlung der beiden Umgebungen ermöglicht eine Übernahme der Handlungsformen in einer phantastischen und künstlich geschaffenen, aber dennoch realistisch wirkenden Welt. So ist zum Beispiel die im Vorspann-Video des *Physikus* präsentierte Idee, die Welt wäre durch einen Meteoriteneinschlag zum Stillstand gekommen und sollte durch eine *Rückstoßmaschine* wieder in Bewegung gebracht werden, rein phantastisch. Jedoch sind die dargestellten Häuser auf der Insel und die vorhandenen Gerätschaften in Darstellung und Proportionen sehr realitätsnah gehalten. Auch die Orientierung an bekannten und real existierenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten tragen zur Realitätsnähe bei. Ähnlich ist das Spielszenario im *Chemicus* gestaltet: Die Idee, einen Freund aus einer Gefahrensituation zu retten, ist frei erfunden; die dargestellte Umgebung und die eingebetteten Aufgaben hingegen sind sehr realitätsnah gestaltet. Der spielerische Charakter von *Physikus* und *Chemicus* wird durch das graphische Design der Gegenstände und Gebäude etwas verstärkt, die an eine recht realitätsnah gestaltete „Märchenwelt“ erinnern.

Darstellung der Lerninhalte: Die Lerninhalte in *Physikus* und *Chemicus* bestehen sowohl aus gegenständlichen als auch aus abstrakten Sachverhalten (vgl. Kapitel 2.1). Dabei werden für die gegenständlichen Sachverhalte vor allem abbildungstreue und für die abstrakten Sachverhalte vor allem metaphorische Veranschaulichungen verwendet. So wurden die Aufgaben in der virtuellen Umgebung insgesamt eher realitätsnah gestaltet, was die Lernförderlichkeit der Interaktion unterstützen sollte.

Vorteile von Physikus und Chemicus: Die grundlegenden Vorteile von *Physikus* und *Chemicus* liegen primär in einer sehr guten Benutzbarkeit und in leicht erlernbaren Interaktionselementen (Kriterien: *easy to learn* and *easy to use*), die durch eine detaillierte graphische Gestaltung, eine gut durchdachte inhaltliche Struktur sowie relativ einfaches und z.T. bekanntes Material ergänzt wird (das zudem didaktisch gut aufbereitet, lernanregend und motivationsfördernd gestaltet ist). Durch die Gestaltungsmerkmale, die spannende Rahmenhandlung, die Integration von Audio bei Probeläufen konnte ein notwendiges Mindestmaß an Immersion und an Präsenz vorausgesetzt werden. Es schien möglich, durch inhaltlich bedeutungslose Manipulationen unterschiedliche Grade an Immersion zu in-

duzieren. Der mentale Aufwand schien durch eine geeignete Instruktion gut manipulierbar zu sein und der didaktisch gelungene Lernteil sollte eine gewisse Elaboration der Inhalte anregen. Die Interaktionen in *Physikus* und *Chemicus* können durch den Verlauf des Spiels auf einen gut begrenzten Navigationsraum eingeschränkt werden. Der Behaltenstest konnte durch gut isolierbare Informationspartikel zur Physik bzw. Chemie und zu Ereignissen im Adventureteil umgesetzt; der Verstehenstest konnte mit den Lerninhalten zur Physik bzw. Chemie und zu Ereignissen und Inhalten im Adventure gestaltet werden.

Die Fortbewegung der Versuchsperson innerhalb dieser Lernadventures ist durch ein Fortschreiten von Bild zu Bild realisiert. Insofern ist keine vollkommen freie Interaktion und Bewegung möglich. Allerdings hat dies den Vorteil, daß jede Versuchsperson grundsätzlich dieselben Ansichten betrachten kann. Nur Häufigkeit und Dauer sind verschieden und gegebenenfalls sieht nicht jede Versuchsperson alle Szenen.

Nachteile von Physikus und Chemicus: Die grundsätzlichen Nachteile von *Physikus* und *Chemicus* bestehen darin, daß sie keine vollkommen „freie“ Bewegung zulassen, was negativ auf die subjektive Präsenz wirken und gegebenenfalls zu Frustrationserlebnissen führen könnte. Für den mentalen Aufwand könnte negativ wirken, daß das Material selbst einen gewissen mentalen Aufwand erfordert und daß somit eine relativ hohe Aufmerksamkeit für den Spielerfolg notwendig erscheint. Der Einfluss von Vorkenntnissen aus der Physik bzw. Chemie und aus dem Umgang mit Adventure- oder Computerspielen kann nicht vollständig ausgeschlossen werden. Das Lernmaterial selbst („Physik“ und „Chemie“) könnte eine abschreckende Wirkung besitzen, da viele Schüler in ihrer Schullaufbahn eine Abneigung gegen naturwissenschaftliche Fächer erwerben. Da die Inhalte mit einem Computer präsentiert werden, könnten sich gegebenenfalls Abneigungen gegen Computer hinzuaddieren. Für die Behaltens- und Verstehensleistungen konnten keine explizit positiven oder negativen Wirkungen zum *Physikus* oder *Chemicus*-Adventure sowie der Durchführung der Untersuchungen formuliert werden. Eine zusammenfassende Übersicht zur Erfüllung der im vorangegangenen Kapitel ausführlich dargestellten Rahmenbedingungen bietet Tabelle 2.

Trotz einiger Nachteile überwiegen die Vorteile dieser virtuellen Umgebungen: Entscheidend für die Auswahl war neben der didaktischen Eignung die Möglichkeit einer effektiven und einfachen Manipulation der Immersion. Hinzu kam eine sehr gute Möglichkeit zur Begrenzung der Interaktion und zur Identifikation gut isolierbarer Informationspartikel. Die dargestellten Nachteile wären zumindest in äquivalenter Form, wenn nicht gravierender, bei anderen virtuellen Umgebungen zu erwarten gewesen, die zudem nicht unbedingt in demselben Umfang in lernförderlicher Weise gestaltet sind. Insofern stellt diese Auswahl zwar einen Kompromiss dar, jedoch schien keine andere zur Verfügung stehende virtuelle Umgebung die vorgenannten Kriterien besser zu erfüllen.

Tabelle 2: Erfüllung der Anforderungen an eine Versuchsumgebung.

Kriterium	<i>Physikus</i>	<i>Chemicus</i>
Naturwissenschaftlicher Lerninhalt	Erfüllt	Erfüllt
Lerninhalte und virtuelle Umgebung nach didaktischen Prinzipien gestaltet	Erfüllt	Erfüllt
Informationen für einen Wissenserwerb und Ansätze zur Testung vorhanden	Erfüllt	Erfüllt
Schwierigkeitsgrad der Lerninhalte	ca. Niveau der Jahrgangsstufe 10/11	ca. Niveau der Jahrgangsstufe 10/11
Präsentation der Lerninhalte	Visuell	Visuell
Verknüpfung von Wissen möglich bzw. notwendig	Erfüllt	Erfüllt
Einfache Navigierbarkeit und Bewegung in der virtuellen Umgebung	Erfüllt	Erfüllt
Hoher Detailliertheitsgrad in der Gestaltung der virtuellen Umgebung	Erfüllt	Erfüllt
Grenze des Interaktionsbereiches in der virtuellen Umgebung nicht überschreitbar	Erfüllt	Erfüllt

6.3 Räumlichkeiten, Hard- und Software

Die Datenerhebung beider Untersuchungen fand in einem Experimentalraum der Abteilung für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie der Universität Tübingen mit normaler Büroausstattung statt. Der eingesetzte Experimentalrechner des Herstellers FujitsuSie-

mens war mit einem Intel-Pentium 854-Chipsatz (Pentium IV; CPU mit 1,6GHz) und einer 64MB NVidia-GeForce-Graphikkarte ausgestattet. Als Bildschirm wurde ein 21-Zoll-Monitor von FujitsuSiemens verwendet. Die eingestellte Bildschirmauflösung nutzte die softwareseitig vorgegebenen Darstellungsvarianten für ein möglichst großes Bild aus. Die Audiowiedergabe erfolgte über Stereo-Lautsprecher.

Alle Handlungen und Bewegungen der Versuchspersonen in der virtuellen Umgebung wurden in Form von Bildschirmaufzeichnungen mit der Software „Camtasia“ protokolliert²⁹. Die Aufzeichnung des Bildschirms erfolgte mit einer Frequenz von einem Bild pro Sekunde. Hierbei wurde jeweils die vollständige Bildschirmdarstellung inklusive Mauszeiger aufgezeichnet, genauso wie sie für die Versuchsperson sichtbar war. Die Aufzeichnung wurde jeweils vollständig in einer Datei gespeichert, die später ähnlich einem Videoclip abgespielt und sekundengenau ausgewertet werden konnte.

6.4 Meßverfahren und Meßinstrumente

Die Datenerhebung umfasste neben den Maßen zur Präsenz und zum mentalen Aufwand die Maße des Wissenserwerbs, die in Form von Behaltens- und Verstehenstests eingesetzt wurden. Zusätzlich wurde die Aufzeichnung des Interaktionsverhaltens genutzt, um den Explorationsprozess genauer zu untersuchen. Schließlich wurden Kontrollvariablen erhoben, die mögliche Störeinflüsse erkennen sollten.

6.4.1 Messung der Präsenz

In Studie 1 wurde der Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ eingesetzt, der nach den Vorlagen aus der Literatur erstellt wurde. Der Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ wurde in Anlehnung an den *Presence Questionnaire* von Witmer & Singer (1998) erstellt. Ausgehend vom *Presence Questionnaire* wurden die für die Untersuchung geeigneten Items ausgewählt. Der resultierende Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ besteht aus insgesamt 18 Items. Die Items wurden mit einer siebenstufigen Likert-Skala erhoben.

²⁹ Weitere Informationen zu dieser Software finden sich auf der *website* des Herstellers unter „www.techsmith.com“.

Ergänzend wurde in Studie 2 der neu erstellte Fragebogen „Präsenzerleben“ verwendet. Dieser Fragebogen besteht aus zwei Subskalen (vgl. Kapitel 8.3), der Subskala „Präsenzerleben im Chemicus“ (5 Items), deren Items in Anlehnung an die Items der Subskalen „Spielfilme“, „Computerspiele“ und „Bücher“ des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ erstellt wurden und der Subskala „Ablenkbarkeit durch Distraktoren“ (3 Items), die in Anlehnung an die entsprechende Subskala des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ formuliert wurde. Die Items des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ wurden dabei in beiden Fällen übernommen. Es wurde lediglich in der Formulierung der Bezug zum *Physikus* hergestellt.

6.4.2 Messung des investierten mentalen Aufwands

Der investierte mentale Aufwand der Lerner wurde mit einem Fragebogen erhoben. Die Items stammten aus den Arbeiten von Salomon (1983, 1984) zum Lernen aus Fernsehsendungen und von Cennamo (1993) sowie Cennamo et al. (1991) zum Lernen mit Videofilmen. Diese Items wurden übersetzt und an das Medium virtuelle Umgebung angepasst. Der resultierende Fragebogen für den investierten mentalen Aufwand besteht aus 4 Items, die mit einer siebenstufigen Likert-Skala erhoben wurden.

6.4.3 Messung der Exploration

Als Lerninhalt wurden in Studie 1 Bereiche des Adventureteils im *Physikus* ausgewählt, in dem physikalische Gesetzmäßigkeiten aus der Mechanik (zum Beispiel Hebelgesetze, Flaschenzug) und der Elektrizitätslehre (zum Beispiel Reihen- und Parallelschaltung; Ohmsches Gesetz) dargestellt sind.

Für die zweite Untersuchung wurde als Lerninhalt ein Teilbereich des Adventureteils im *Chemicus* ausgewählt, in dem chemisches Grundlagenwissen zu Stoffen und Stoffveränderungen (zum Beispiel Oxidation und Reduktion), zu Säuren und Laugen sowie zur Organischen Chemie dargestellt wird.

Die Inhalte sind in beiden Fällen Gegenstand des Schulunterrichts und werden üblicherweise spätestens in der gymnasialen Oberstufe behandelt. Somit sollten diese Inhalte zumindest in ihren Grundzügen einer studentischen Stichprobe bekannt sein. Um zu erfassen, in welchem Ausmaß

die Teilnehmer die Lerninhalte in der virtuellen Umgebung explorierten, wurden diese in Form von 17 Informationsknoten (*Physikus*) bzw. 14 Informationsknoten (*Chemicus*) identifiziert und festgelegt. Informationsknoten und Lerninhalte konnten damit einander zugeordnet werden und die Exploration der Lerninhalte konnte gezielt in ihrer Bedeutung für den Wissenserwerb betrachtet werden. Die Auswertung erfolgte anhand der Nutzungsdaten, die während des Aufenthaltes in der virtuellen Umgebung mit der Software Camtasia aufgezeichnet wurden.

Die eigentlichen Explorationsmaße wurden in Anlehnung an Canter et al. (1985) erstellt. Von Canter et al. (1985) wurde erstens die *Extensität der Exploration* als der Anteil der tatsächlich besuchten Informationsknoten an den vorhandenen Knoten bestimmt (d.h. „Extensität = besuchte Knoten / Knotenzahl“; mit einem Wertebereich von 0 bis 1). Zweitens wurde die *Explorationshäufigkeit in der Nutzerstrategie* durch die durchschnittliche Häufigkeit mit der jeder Knoten aufgesucht wird, festgelegt (d.h. „Explorationshäufigkeit = Gesamtanzahl der Knotenbesuche / Anzahl der Knoten“). Diese Maße von Canter et al. (1985) wurden als Grundlage genommen, um darauf aufbauend geeignete Maße zur Bestimmung der inhaltlichen und zeitlichen Exploration und der Häufigkeit der Exploration im *Physikus* zu entwickeln (vgl. auch die Anforderungen aus Kapitel 2.3). Unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Interaktion mit der virtuellen Umgebung in dieser Untersuchung wurden neben der inhaltlichen Exploration und der Häufigkeit der Exploration von Canter et al. (1985) zusätzlich ein Maß für die zeitliche Exploration eingesetzt. Dieses zusätzliche Maß erfasst den Anteil der Gesamtdauer im *Physikus* bzw. *Chemicus*, der an den Informationsknoten verbracht wurde. Infolgedessen ergaben sich die folgenden Explorationsmaße:

- „inhaltliche Exploration“:
Anteil der besuchten Informationsknoten an den im *Physikus* / *Chemicus* insgesamt vorhandenen Informationsknoten (in Übereinstimmung mit Canter et al., 1985);
- „zeitliche Exploration“:
Verhältnis der an den Informationsknoten verbrachten Zeit zur Gesamtzeit im *Physikus* / *Chemicus*;

- „Explorationshäufigkeit“:
Verhältnis der Anzahl insgesamt besuchter Informationsknoten zur Anzahl der vorhandenen Informationsknoten (in Übereinstimmung mit Canter et al., 1985).

6.4.4 Maße des Wissenserwerbs

Für die Erfassung des erworbenen Wissens wurden Wissensfragen ausgearbeitet, die den Versuchspersonen als Tests vorgelegt wurden. Dabei wurden zwei Wissensarten berücksichtigt: der Erwerb von deklarativem Wissen (*declarative knowledge*) und der Erwerb von Wissen über Beziehungen (konditionales Wissen; *conditional knowledge*, vgl. Gagné & Briggs, 1979; Yildirim, Ozden & Aksu, 2001). Das deklarative Wissen besteht aus Bezeichnungen und Fakten. Dieses deklarative Wissen kann deswegen als Maß für das *Behalten* von Lerninhalten dienen, die aus dem Gedächtnis abzurufen sind.

In Studie 1 wurden die Fragen zum *Physikus* auf der Grundlage der im Adventure präsentierten Inhalte ausgesucht, denn der Test sollte alle Themenbereiche der zu bearbeitenden Inhalte (Mechanik und Elektrizitätslehre) abdecken. Die Items der Wissenstests waren jeweils frei zu beantworten. Zur Behaltensleistung wurden insgesamt 11 Items erhoben, von denen 7 Items als *free-recall*-Items und 4 Items als *cued-recall*-Items erfasst wurden. Beispielsweise wurde gefragt, wie viele Gewichte auf einem Tisch vorhanden waren, die als Gegengewicht an einen Hebelarm angehängt werden sollten.

Entsprechend wurden in Studie 2 die Fragen auf der Grundlage der im *Chemicus* präsentierten Inhalte ausgesucht. In diesem Fall wurden zur Behaltensleistung insgesamt 8 Items erhoben, von denen 5 Items als *free-recall*-Items und 3 Items als *cued-recall*-Items konzipiert waren. Dabei wurde zum Beispiel danach gefragt, wo Gegenstände gesehen oder gefunden wurden.

Ein Wissen über Bedingungen, Beziehungen oder Inferenzen setzt sich aus kausalen Zusammenhängen oder Gesetzmäßigkeiten zusammen (Yildirim et al., 2001). Das konditionale Wissen stellt demnach ein Maß für ein *Verstehen* der Lerninhalte dar. Die entsprechenden Fragen zielen auf Beziehungen zwischen den einzelnen Lerninhalten ab.

Die Verstehensleistung zum *Physikus* wurde mit 14 Items erhoben, die das Verständnis für komplexe Beziehungen oder Inferenzen erfassten. Davon entfielen 6 Items auf Verstehensleistungen zwischen Inhalten in der virtuellen Umgebung, 4 Items erfassten Verstehensleistungen für den weiteren Verlauf des Adventures und 4 Items bezogen sich auf Verstehensleistungen von Physikinhalt. So wurde zum Beispiel nach dem Verständnis der Hebelgesetze gefragt, indem angegeben werden sollte, welches der Gewichte auf einem Tisch zu einem Gleichgewichtszustand mit einem an einem Hebelarm befestigten Gewicht führen würde. Die Verstehensleistung zum *Chemicus* wurde mit 10 Items erhoben. Davon entfielen 5 Items auf Verstehensleistungen zwischen Inhalten in der virtuellen Umgebung und 5 Items bezogen sich auf das Verstehen von Lerninhalten. Beispielsweise wurde danach gefragt, wie ein rostiger Schlüssel entrostet wird oder wie ein pH-Wert eingestellt werden kann.

6.4.5 Kontrollvariablen

Für verschiedene Kontrollvariablen wurden Maße festgelegt bzw. Tests konstruiert, um mögliche Einflüsse auf Wissenserwerbsleistungen, die nicht auf die experimentelle Instruktion zurückzuführen wären, aufdecken zu können. Hierzu zählte besonders das Vorwissen der Teilnehmer, aber auch die Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand, die Präsenzbereitschaft, die kognitive Belastung (nur in Studie 2; vgl. Kapitel 8) sowie die Gesamtdauer der Interaktion.

Physik-Vorwissen in Studie 1: Mit einem *Vorwissenstest* wurde das Physik-Vorwissen erhoben, um zu prüfen, ob sich zwischen den Versuchsgruppen Unterschiede zeigen. Der Vorwissenstest bestand aus insgesamt 18 Items. Hiervon bezogen sich 5 Items auf Inhalte der Mechanik und 13 Items auf Inhalte der Elektrizitätslehre. Mit zielgerichteten, offenen Fragen wurden die später im *Physikus* zu bearbeitenden Inhalte bzw. das darin erworbene Wissen erhoben.

Chemie-Vorwissen in Studie 2: Das Chemie-Vorwissen wurde ebenfalls mit einem *Vorwissenstest* erhoben. Dieser Vorwissenstest bestand aus 6 Items. Auch diese Items setzten sich aus offenen Fragen zusammen, die die erworbenen bzw. später im *Chemicus* zu bearbeitenden Inhalte betrafen.

Präsenzbereitschaft: Zur Erfassung der allgemeinen Bereitschaft, sich in immersive Umgebungen hinein zu begeben und diese subjektiv als „Realität“ zu akzeptieren, wurde der *Immersion Tendency Questionnaire* (ITQ; Witmer & Singer, 1998) als Basis genommen (vgl. Kapitel 3.6). Die Items wurden übersetzt und dem Anliegen der Untersuchung angepasst. Insgesamt bestand der resultierende Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ in Studie 1 aus 9 Items. In Studie 2 kam zusätzlich ein weiterentwickelter und hinsichtlich der Reliabilität geprüfter Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ mit insgesamt 21 Items zum Einsatz (vgl. Kapitel 8.2). In beiden Fällen wurde eine siebenstufige Likert-Skala verwendet, um die Items zu erheben.

Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand: Zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand wurden Items aus den Arbeiten von Solomon (1983, 1984) zum Lernen aus Fernsehsendungen und von Cennamo (1993) sowie Cennamo et al. (1991) zum Lernen mit Videofilmen eingesetzt. Diese Items wurden übersetzt und an das vorliegende Medium angepasst. Der resultierende Fragebogen zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand bestand aus 11 Items, die mit einer siebenstufigen Likert-Skala erhoben wurden.

Kognitive Belastung: Abweichend von Studie 1 wurde in Studie 2 zusätzlich die kognitive Belastung der Versuchspersonen erfragt. Die Erhebung erfolgte in Anlehnung an die Messung der kognitiven Belastung in den Arbeiten von Kalyuga, Chandler und Sweller (2000) und Kalyuga, Chandler, Tuovinen und Sweller (2001). Deswegen wurden zwei Items formuliert, die erstens die kognitive Belastung in der Interaktion mit der virtuellen Umgebung und zweitens die kognitive Belastung im Bearbeiten der Aufgaben in der virtuellen Umgebung auf einer siebenstufigen Likert-Skala messen.

Gesamtdauer in Physikus bzw. Chemicus: Die Gesamtdauer in den virtuellen Umgebungen *Physikus* und *Chemicus* wurde anhand der mit der Software Camtasia aufgezeichneten Interaktion der Probanden sekunden genau bestimmt.

6.5 Versuchsablauf

Die Erhebung der einzelnen Gruppen erfolgte in beiden Untersuchungen in gleicher Weise, da der Ablauf von Studie 2 mit geringen Anpassungen das Schema von Studie 1 wiederholte. Die Gesamtdauer betrug in der ersten Studie ungefähr drei Stunden und in der zweiten Studie rund zwei Stunden. Die Versuchspersonen wurden vor dem Beginn über das Anliegen und den Ablauf der Untersuchung informiert. Die eigentliche Untersuchung gliederte sich dann in fünf Phasen:

In *Phase 1* erhielten die Teilnehmer einen Fragebogen, mit dem die Daten zur Bereitschaft zur Investition von mentalem Aufwand und zur Präsenzbereitschaft erhoben wurden.

In *Phase 2* schloß sich eine Lerneinheit an, in der ein Auffrischen des Vorwissens zur Physik bzw. Chemie erfolgte. In der ersten Untersuchung waren dies physikalische Prinzipien und Gesetze und in Studie 2 wurde das Vorwissen zu chemischen Prozessen aufgefrischt. Die Inhalte umfassten das notwendige Grundlagenwissen zur Physik bzw. Chemie, das für die nachfolgenden Aufgaben relevant war.

In *Phase 3* erfolgte die Erhebung des aktuellen Vorwissensstandes zu den für die Untersuchung interessierenden Inhalten. Das Ziel dieses Vorgehens war es, einen möglichst homogenen Vorwissensstand unter den Versuchsteilnehmern zu erreichen.

In *Phase 4* erfolgte die Interaktion mit der Adventureumgebung des *Physikus* bzw. *Chemicus*. Zunächst wurde die Art und Weise der Interaktion bzw. der Bewegung im *Physikus* oder *Chemicus* kennengelernt. Dann wurde die Aufgabe bekanntgegeben, die im *Physikus* bzw. *Chemicus* zu bearbeiten ist.

In Studie 1 wurde die Aufgabe für den *Physikus* so formuliert: „Finde drei Gewichte, die jeweils 2 kg wiegen“. Um diese Findeaufgabe auszuführen, waren verschiedene Aufgaben aus der Physik zu lösen bzw. zu bearbeiten. Als Zeitvorgabe wurde eine Begrenzung von 60 Minuten vorgegeben. Wenn alle drei Gewichte vor Erreichen der Zeitvorgabe gefunden wurden, wurde die Aufgabenbearbeitung zu diesem Zeitpunkt beendet. Ansonsten erfolgte der Abbruch bei Erreichen des Zeitlimits.

Die Aufgabe in Studie 2 mit der virtuellen Umgebung *Chemicus* bestand darin, ein verstecktes Amulett zunächst zu finden und es dann am ebenfalls noch zu findenden Zielort einzusetzen. Um diese Aufgabe auszuführen, waren mehrere Aufgaben aus der Chemie zu lösen bzw. zu bearbeiten. Als Zeitvorgabe wurde eine Begrenzung von 40 Minuten vorgegeben. Wenn die Aufgabe vor Erreichen des Zeitlimits erfüllt war, wurde die Interaktion zu diesem Zeitpunkt beendet.

In *Phase 5* wurde die Erhebung von Daten vorgenommen: Der investierte mentale Aufwand, das subjektive Präsenzerleben sowie zusätzlich in Studie 2 die kognitive Belastung wurden mit den vorgestellten Fragebögen erhoben. Anschließend wurden die Behaltens- und Verstehenstests zur Erfassung des Wissenserwerbs bearbeitet.

Abschließend wurden die Versuchspersonen ausführlich über das Anliegen der Untersuchung informiert. Die Untersuchung endete mit der Aushändigung der Aufwandsentschädigung an die Probanden oder der Erhebung ihrer persönlichen Daten für die zu bescheinigenden Versuchspersonenstunden.

7 Studie 1: Immersion, Präsenz und mentaler Aufwand

Aus den konzeptionellen Überlegungen und den empirischen Ergebnissen, die in den vorangegangenen Kapiteln referiert wurden, leiteten sich die Ansatzpunkte ab, um die Prozesse des Wissenserwerbs in virtuellen Umgebungen zu untersuchen. In einer ersten Studie wurde der Einfluß von Immersion, Präsenz und mentalem Aufwand auf den Wissenserwerb bestimmt. Das Hauptziel dieser Untersuchung ist es, herauszufinden, in welchem Umfang die Immersion des Mediums oder das Präsenzerleben der Lerner oder eine Elaborationsinstruktion den Lernprozeß und den Wissenserwerb beeinflussen.

Die in Kapitel 5 aufgestellten Hypothesen lassen erkennen, daß die spezifischen Hypothesen zur Wirkung von Immersion und Präsenz in Bezug auf die kognitiven Prozesse des Wissenserwerbs zwar formuliert werden können, aber zum Teil eher auf plausiblen Überlegungen als auf präzisen Vorhersagen oder ausgearbeiteten Theorien beruhen. Es wäre zwar wünschenswert, präzisere Vorhersagen formulieren zu können, aber dies schien nach der derzeitigen Forschungslage kaum vertretbar. Insofern hatte die erste Studie die Funktion weitere Erkenntnisse zu den Einflüssen von Immersion und Präsenz auf Prozesse und Leistungen im Wissenserwerb im Vergleich zum besser untersuchten Faktor Mentaler Aufwand zu erhalten.

7.1 Untersuchungsdesign

Die Überlegungen und Erwartungen mündeten in eine Operationalisierung der Fragestellung in einem zweifaktoriellen Untersuchungsdesign. Damit sollte es möglich werden, erstens die Wirkungen und Interaktion der Immersion (Faktor 1) empirisch zu testen. Hinzu kam zweitens die Notwendigkeit, deren Wirkung im Vergleich zu instruktionalen Massnahmen zum mentalen Aufwand mit bereits bekannten Auswirkungen auf Wissenserwerbsleistungen einzuordnen (Faktor 2). Insofern wurde ein 2 (Immersion) * 2 (Elaborationsinstruktion) – faktorielles Versuchsdesign gewählt. Beide Faktoren wurden als *between-subjects* Faktoren umgesetzt, so daß die Variablen Immersion und Elaborationsinstruktion jeweils in hoher und niedriger Ausprägung realisiert wurden (vgl. Tabelle 3). Das Präsenzerleben wurde zunächst als abhängige Variable erhoben. Um des Effekt des

Präsenzerlebens auf den Wissenserwerb zu bestimmen, wurde die Stichproben nach der Datenerhebung in hoch-präsente und gering-präsente Probanden aufgeteilt.

Tabelle 3: Untersuchungsdesign in Studie 1.

Unabhängige Variable		Elaborationsinstruktion	
		Mit	Ohne
Immersion	Hoch	Gruppe 1	Gruppe 2
	Niedrig	Gruppe 3	Gruppe 4

Unabhängige Variable „Immersion“: Die Manipulation der unabhängigen Variablen „Immersion“ erfolgte durch Eingriffe in die virtuelle Umgebung ohne deren Informationsgehalt und ohne das Lernmaterial zu verändern. Insgesamt wurden die Bedingungen hoher bzw. niedriger Immersion durch drei Manipulationen realisiert:

- Audiokanal: ein / aus;
- Überblendung der Szenen im *Physikus*: ein / aus.
- Einführung in den *Physikus*: per Videoeinspielung / per bebildertem Textheft;

Für die Bedingung „hohe Immersion“ ermöglicht die Einschaltung des Audiokanals eine Darbietung atmosphärischer Zusatzinformationen (z.B. das Geräusch einer sich öffnenden Tür oder eine allgemeine musikalische Untermalung des Geschehens). Diese Zusatzinformationen besitzen keine inhaltliche Bedeutung für das Behalten oder Verstehen des Lernmaterials. Die Umgebungsgeräusche des Audiokanals sollten die Involvierung der Teilnehmer in die virtuelle Umgebung erhöhen, indem ein Ausblenden von Distraktoren aus dem realen Raum erleichtert wird. Mit der Option „Blende“ wurde der integrierte Überblendungsmodus der virtuellen Umgebung genutzt, indem eine Fortbewegung von Bild zu Bild nicht abrupt, sondern als fließender Übergang erfolgt (ähnlich einer Überblendung bei Kino- oder Fernsehfilmen). Diese Überblendungsoption gestaltet die Bewegung in der virtuellen Umgebung realitätsnäher, denn der Wechsel von Bild zu Bild ähnelt eher einem realen „Gehen“ oder „Dahingleiten“ als es das abrupte Wechseln von Ansichten ermöglicht. Als Einführung und als Rahmengeschichte für den *Physikus* wurde zur Unterstützung der Immersion ein vorab gezeigtes Video mit gesprochenem Text benutzt. Die Immer-

sionsförderlichkeit dieses Videos bestand darin, daß es die Aufmerksamkeit der Teilnehmer sehr stark auf das Geschehen und die Ereignisse in der virtuellen Umgebung lenkt.

Unter der Bedingung „niedrige Immersion“ wurden der Audiokanal und die Option „Blende“ ausgeschaltet. Die Szenenabfolge in der virtuellen Umgebung erfolgte damit ohne Überblendung, also eher wie ein *Filmschnitt*. Anstelle der Videoeinführung wurde den Versuchspersonen eine durch *screenshots* illustrierte Texteingführung vorgelegt.

Die Wirkung der Manipulation der Immersion mithilfe dieser drei Einstellmöglichkeiten bestätigte sich in explorativen Vorversuchen mit mehreren wissenschaftlichen Hilfskräften der Abteilung für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie.

Unabhängige Variable „Mentaler Aufwand“: Die Manipulation der zweiten unabhängigen Variablen „Mentaler Aufwand“ für die Elaboration des Materials wurde entsprechend der Untersuchungen von Salomon (1983, 1984) mit einer Elaborationsinstruktion durchgeführt. In diesen Untersuchungen wurde eine instruktionale Anweisung, sich „ernsthaft“ mit den vorgestellten Materialien zu beschäftigen, als hinreichend für eine erhöhte kognitive Anstrengung festgestellt. Das Fehlen einer solchen Instruktion kann nach Salomon (1983, 1984) als Basisrate des investierten mentalen Aufwands angesehen werden. In dieser Studie wurde diese Instruktion in der Form umgesetzt, daß die Probanden explizit darauf hingewiesen wurden, Inhalte aus der Physik und physikalische Gesetzmäßigkeiten während der Suchaufgabe zu beachten und zu bearbeiten. Im folgenden wird der experimentelle Faktor mentaler Aufwand mit der Bezeichnung „Elaborationsinstruktion“ gekennzeichnet, um ihn von den erhobenen Daten zum „mentalalen Aufwand“ zu unterscheiden.

7.2 Methoden

Für die erste Studie wird zunächst die untersuchte Stichprobe beschrieben. Anschließend wird die Reliabilität der erhobenen Daten betrachtet.

7.2.1 Stichprobe

An der ersten Studie nahmen insgesamt 74 Personen teil. Für die Versuchsteilnahme erhielten die Probanden entweder eine Bescheinigung über die im Rahmen des Psychologiestudiums zu erbringenden Versuchspersonen-Stunden oder eine Vergütung von €20,--. Die Versuchspersonen waren im arithmetischen Mittel 25 Jahre alt (Standardabweichung 5,8 Jahre). Der Anteil der weiblichen Versuchspersonen betrug 83,3% und der Anteil der männlichen Versuchspersonen 16,7%. Die Mehrheit der Probanden waren Studierende (78,3% Hauptfach Psychologie; 13,3% andere Fächer); die restlichen 8,3% waren berufstätig oder Schulabgänger mit Abitur.

Nach der Datenerhebung wurden die Daten von 10 Versuchspersonen aufgrund technischer Fehler und Probleme während der Interaktion mit der virtuellen Umgebung aus den Analysen ausgeschlossen. Drei weitere Versuchspersonen wurden wegen mangelhafter Motivation oder mangelnder Fähigkeit nicht weiter berücksichtigt, da sie nicht bereit oder fähig waren, die Interaktion in der virtuellen Umgebung in adäquater Weise auszuführen. Außerdem konnten die Daten einer weiteren Versuchsperson aufgrund eines Fehlers des Versuchsleiters nicht in die Analyse miteinbezogen werden. Die verbliebenen 60 Versuchspersonen verteilen sich gleichmäßig auf die experimentellen Bedingungen, so daß in jeder der vier Bedingungen 15 Probanden untersucht wurden.

7.2.2 Reliabilität der Daten

Um zu einer Bewertung der im Folgenden vorgestellten Ergebnisse zu kommen, werden die eingesetzten Instrumente der Datenerhebung (d.h. die Fragebögen) und die Auswertung der erhobenen Testleistungen (Behalten und Verstehen) zunächst hinsichtlich ihrer Reliabilität überprüft.

Reliabilität der Fragebögen: Die Reliabilität der eingesetzten Instrumente zum Präsenzerleben und zur Präsenzbereitschaft sowie zum investierten mentalen Aufwand und zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand wurde als interne Konsistenz mit Cronbach's Alpha (α) der Fragebögen bestimmt. Der Alpha-Koeffizient wird jeweils als Summenscore der durchschnittlichen Paralleltestreliabilität für alle möglichen Paare von Testitems gebildet (vgl. Krauth, 1995: S.249ff und Bortz, 1999: S.543). Dieses Maß wurde eingesetzt, da der Alpha-Koeffizient eine untere

Schranke für die interne Konsistenz eines Fragebogens darstellt. Deswegen ist für den verwendeten Fragebogen der empirische Wert mindestens so hoch ist wie der errechnete Alpha-Koeffizient (Krauth, 1995).

Im Falle der Präsenz ergab sich eine interne Konsistenz von $\alpha=0,86$ für den Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ und von $\alpha=0,35$ für den Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“. Für den Faktor mentaler Aufwand wurde die interne Konsistenz für den Fragebogen zum „investierten mentalen Aufwand“ mit $\alpha=0,75$ und für den Fragebogen zur „Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand“ mit $\alpha=0,81$ berechnet. Bis auf den Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ wurden somit zufriedenstellende Werte in Bezug auf die Reliabilität der Instrumente erzielt. Mögliche Auswirkungen der nicht optimalen internen Konsistenz des Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ auf die im Folgenden referierten Ergebnisse werden in Kapitel 7.5 diskutiert.

Reliabilität der Maße zum Wissenserwerb: Die Auswertung der Items zum Physik-Vorwissen und der Behaltens- und Verstehenstests erfolgte unabhängig voneinander durch zwei Personen. Dabei wurden zu jedem Item entweder 0, 1 oder 2 Punkte vergeben. Die Punktezuweisung entsprach der Bewertung: keine/falsche Antwort (0 Punkte), unvollständige richtige Antwort (1 Punkt) und vollständige richtige Antwort (2 Punkte). Im Falle divergenter Urteile wurden die abweichenden Fälle unabhängig von der vorherigen Beurteilung durch einen dritten Auswerter beurteilt. Die resultierende Bewertung bildete die Grundlage zur Berechnung der Summenscores aus den einzelnen Bewertungen. Ergänzend wurde die Inter-Rater-Reliabilität der Auswertung durch die beiden Beurteiler jeweils mit Cohen's Kappa (κ) für die Tests zum Physik-Vorwissen, zur Behaltensleistung und zur Verstehensleistung berechnet (vgl. Krauth, 1995: S. 54ff). Da in allen drei Fällen Daten auf ordinalem Datenniveau erhoben wurden, wurde nicht der einfache Kappa-Koeffizient verwendet. Denn dieser ist in seiner üblichen (ungewichteten) Form für geordnete Kategorien wenig brauchbar, da die Abweichungen der Beurteiler unabhängig von vorhandenen Distanzen gleich gewichtet würden. Insofern wurde ein *gewichteter Kappa-Koeffizient* (κ_w) berechnet (vgl. Krauth, 1995).

Es ergab sich für die Auswertung der Daten zum *Physik-Vorwissen* eine Inter-Rater-Reliabilität von $\kappa_w=0,89$. Für die Auswertung der Daten

zum Wissenserwerb wurde im Falle der *Behaltensleistung* eine Inter-Rater-Übereinstimmung von $\kappa_w = 0,91$ und im Falle der *Verstehensleistung* von $\kappa_w = 0,92$ erreicht. Damit wurden in der Datenauswertung zufriedenstellende Werte in Bezug auf die Inter-Rater-Reliabilität erzielt.

7.3 Ergebnisse zur Immersion und zur Elaborationsinstruktion

Vor der Darstellung der eigentlichen Ergebnisse der ersten Untersuchung werden zunächst die Effektivität der experimentellen Manipulation und der mögliche Einfluß von Kontrollvariablen betrachtet. Anschließend werden die Wirkungen der Immersion und der Elaborationsinstruktion auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb vorgestellt.

7.3.1 Immersion und Präsenz

Zunächst wurde geprüft, in welchem Umfang sich die experimentelle Manipulation der Immersion und der Elaborationsinstruktion in Unterschieden zwischen den untersuchten Gruppen nachweisen lässt. Die Zusammensetzung der Gruppen wurde auf Unterschiede in der Präsenzbereitschaft oder in der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand geprüft.

Manipulation der Immersion: In Bezug auf ihr aktuelles Präsenzerleben berichteten die Versuchspersonen im Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ einen arithmetischen Mittelwert von 78,07 Punkten (SD=15,22) bei 126 möglichen Punkten. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit subjektivem Präsenzerleben als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren ergab keine signifikanten Effekte. Ob die deskriptiv sichtbaren Mittelwertunterschiede in den Werten des subjektiven „PQ-Präsenzerlebens“ auf Unterschiede in der „ITQ-Präsenzbereitschaft“ zurückzuführen sind, wurde ebenfalls bestimmt. In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit „PQ-Präsenzerleben“ als abhängiger Variable, mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren und „ITQ-Präsenzbereitschaft“ als Kovariate zeigte sich ein signifikanter Einfluß der Kovariate „ITQ-Präsenzbereitschaft“ ($F=18,838$; $df=1$; $p=0,000$), ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Immersion ($F=4,269$; $df=1$; $p=0,044$) und ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Elaborationsinstruktion ($F=5,802$; $df=1$; $p=0,019$). Wenn die „ITQ-Präsenzbereitschaft“ der Versuchsteilnehmer berücksich-

tigt wird, ist eine signifikante Wirkung der experimentellen Manipulation der Immersion im „PQ-Präsenzerleben“ nachweisbar. Der signifikante Haupteffekt der Elaborationsinstruktion deutet darauf hin, daß diese das „PQ-Präsenzerleben“ verminderte.

Tabelle 4: „PQ-Präsenzerleben“.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	80,00	14,72	81,93	16,34	80,97	15,31
Immersion niedrig	72,33	12,95	78,00	16,42	75,17	14,81
Gesamt	76,17	14,17	79,97	16,22	78,07	15,22

Manipulation des investierten mentalen Aufwands: Die Versuchspersonen berichteten im arithmetischen Mittel einen investierten mentalen Aufwand von 18,37 Punkten (SD=4,40) von 28 möglichen Punkten. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit investiertem mentalem Aufwand als abhängige Variable und mit Immersion und der Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren ergab keine signifikanten Effekte. Dies zeigt, daß sich der tatsächlich investierte mentale Aufwand der Teilnehmer nicht auf die Elaborationsinstruktion zurückführen lässt.

Tabelle 5: Investierter mentaler Aufwand.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	18,40	3,79	17,47	5,04	17,93	4,41
Immersion niedrig	17,67	3,68	19,93	4,92	18,80	4,42
Gesamt	18,03	3,69	18,70	5,05	18,37	4,40

Des Weiteren wurde bestimmt, ob die deskriptiv sichtbaren Mittelwertunterschiede im investierten mentalen Aufwand auf Unterschiede in der Bereitschaft zur Investition mentalen Aufwands zurückzuführen sind. Die zu diesem Zweck durchgeführte zweifaktorielle Varianzanalyse mit

dem investierten mentalen Aufwand als abhängige Variable, mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren und Bereitschaft zur Investition mentalen Aufwands als Kovariate erbrachte einen signifikanten Einfluß der Kovariate Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand ($F=6,039$; $df=1$; $p=0,017$), jedoch keine weiteren signifikanten Effekte. Dies bedeutet, daß der tatsächlich investierte mentale Aufwand nicht signifikant auf den experimentell manipulierten Faktoren beruhte.

Präsenzerleben und mentaler Aufwand: Der mögliche Zusammenhang zwischen dem Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand wurde korrelationsstatistisch geprüft. Die Korrelation zwischen den abhängigen Variablen „PQ-Präsenzerleben“ und „investierter mentaler Aufwand“ wurde signifikant ($r=0,344$; $p=0,007$). Dies zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem „PQ-Präsenzerleben“ und dem investierten mentalen Aufwand.

Ergebnisse zu Immersion und Elaborationsinstruktion: Die experimentelle Manipulation der Immersion wirkte sich auf die Werte im Fragebogen „PQ- Präsenzerleben“ aus, die signifikant von der „objektiven Präsenzmanipulation“ (Faktor Immersion) beeinflusst wurden. Dabei ergab sich ein deutlicher Einfluß der personal stabilen Attribute (d.h. die „ITQ-Präsenzbereitschaft“), der sich in den Meßwerten niederschlug. Die Elaborationsinstruktion beeinflusste das „PQ-Präsenzerleben“ negativ, ergab jedoch keine signifikante Beeinflussung des investierten mentalen Aufwands. Zur Interaktion zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Maßen „PQ-Präsenzerleben“ und „investierter mentaler Aufwand“ festgestellt.

7.3.2 Kontrollvariablen

Als Kontrollvariablen wurden die „ITQ-Präsenzbereitschaft“, die Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand, das Vorwissen der Teilnehmer zur Physik und die Gesamtdauer des Aufenthaltes im *Physikus* erfasst. Die Korrelation zwischen Physik-Vorwissen und Gesamtdauer im *Physikus* war nicht signifikant ($r=0,155$; n.s.).

„ITQ-Präsenzbereitschaft“: Die Versuchspersonen gaben ein mittlere Präsenzbereitschaft in Höhe von 36,12 Punkten ($SD=5,22$) von 63 mög-

lichen Punkten im Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ an. In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit „ITQ-Präsenzbereitschaft“ als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren wurde ein signifikanter Haupteffekt des Faktors mentaler Aufwand ($F=6,000$; $df=1$; $p=0,017$) festgestellt. Dieser Effekt deutet auf einen *a priori*-Unterschied zwischen den experimentellen Gruppen in Bezug auf die „ITQ-Präsenzbereitschaft“ hin. In den Gruppen, in denen die Elaborationsinstruktion eingesetzt wurde, zeigte sich eine höhere „ITQ-Präsenzbereitschaft“.

Tabelle 6: „ITQ-Präsenzbereitschaft“.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	38,13	4,27	33,27	4,67	34,17	4,84
Immersion niedrig	37,27	5,50	35,80	5,48	34,77	5,12
Gesamt	37,70	4,86	34,53	5,16	36,12	5,22

Tabelle 7: Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	49,40	9,91	43,93	10,89	46,67	10,60
Immersion niedrig	45,27	5,16	48,00	7,57	46,63	6,52
Gesamt	47,33	8,04	45,97	9,44	46,65	8,72

Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand: Die Versuchspersonen berichteten eine mittlere Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand von 46,65 Punkten ($SD=8,72$) bei 77 möglichen Punkten. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren zeigte einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Immersion und Elabora-

tionsinstruktion ($F=3,354$; $df=1$; $p=0,072$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt.

Physik-Vorwissen: Im Fragebogen zum Physik-Vorwissen erzielten die Versuchspersonen einen arithmetischen Mittelwert von 21,97 Punkten ($SD=6,21$) bei 34 möglichen Punkten (absolute Punktwerte). Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Physik-Vorwissen als abhängiger Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren ergab keine signifikanten Effekte.

Tabelle 8: Mittlere Kennwerte zum Physik-Vorwissen.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	22,40	5,50	22,67	7,16	22,53	6,27
Immersion niedrig	20,07	6,03	22,73	6,26	21,40	6,19
Gesamt	21,23	5,79	22,70	6,61	21,97	6,21

Tabelle 9: Gesamtdauer im *Physikus*.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	2604 s	824 s	3145 s	761 s	2875 s	826 s
Immersion niedrig	2982 s	826 s	2708 s	863 s	2845 s	842 s
Gesamt	2793 s	833 s	2926 s	830 s	2860 s	827 s

Gesamtdauer im Physikus: Die Gesamtdauer des Aufenthaltes im *Physikus* wurde anhand der Nutzungsdaten bestimmt, die mit der Software Camtasia aufgezeichnet werden. Die Versuchspersonen hielten sich im arithmetischen Mittel für eine Dauer von 2860 Sekunden ($SD=827$ Sekunden) in der virtuellen Umgebung auf (bei einer Zeitvorgabe von 60 Minuten = 3600 Sekunden). Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Gesamtdauer im *Physikus* als abhängiger Variable und den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren zeigte eine

tendenziell signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Immersion und Elaborationsinstruktion ($F=3,713$; $df=1$; $p=0,059$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt.

Ergebnisse zu Kontrollvariablen: Es zeigten sich *a priori* vorhandene Unterschiede zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ und zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand zwischen den untersuchten Gruppen, die sich in der varianzanalytischen Auswertung widerspiegeln. Zwischen den beiden anderen Kontrollvariablen – Physik-Vorwissen und Gesamtdauer im *Physikus* – wurde kein signifikanter korrelativer Zusammenhang nachgewiesen. Das Physik-Vorwissen wirkte sich weder auf den investierten mentalen Aufwand noch auf das „PQ-Präsenzerleben“ der Teilnehmer aus. Die deskriptiv sichtbaren Unterschiede zwischen den Gruppen in bezug auf die Gesamtdauer im *Physikus* ergaben keine signifikanten Unterschiede im erhobenen investierten mentalen Aufwand oder im „PQ-Präsenzerleben“.

7.3.3 Explorationsverhalten

Das Explorationsverhalten der Lerner wurde anhand der Maße zur inhaltlichen Exploration, zur zeitlichen Exploration und zur Häufigkeit der Exploration ausgewertet. Dabei wurden die Lerninhalte als „Informationsknoten“ aufgefasst, so daß mit dem erfassten Ausmaß des Explorationsverhaltens eine Einordnung des Lernaufwands und Lernumfangs möglich ist (vgl. Kapitel 2.3 und Kapitel 6.4.3).

Die Maße zur inhaltlichen und zur zeitlichen Exploration werden jeweils als relative Häufigkeiten angegeben. In der Auswertung von relativen Häufigkeiten ist zu berücksichtigen, daß die Voraussetzungen der Normalverteilung, der Varianzhomogenität und der Additivität bei relativen Häufigkeiten in der Regel verletzt sind (Stahel, 2002). Deswegen werden die Daten transformiert, um zu erreichen, daß die transformierten Daten die Voraussetzungen besser erfüllen als die untransformierten Daten. Für relative Häufigkeiten wird üblicherweise die Arcus-Sinus-Wurzel-Transformation eingesetzt (Mosteller & Tukey; 1977)³⁰. Hierbei werden

³⁰ Die Arcus-Sinus-Funktion zeichnet sich dadurch aus, daß sie stetig und streng monoton wachsend ist sowie daß sie eine Nullstelle bei $x=0$ besitzt. Durch ihre Eigenschaften ist sie gut geeignet, die Verteilung der relativen Häufigkeiten in eine Verteilung zu überführen, die die Voraussetzungen für varianzanalytische Auswertungen besser erfüllt (vgl. Stahel, 2002).

die Daten nach der Vorschrift $x' = \arcsin\sqrt{x}$ umgewandelt. Die statistische Auswertung der transformierten Daten behält Gültigkeit für die Originaldaten (Stahel, 2002).

Inhaltliche Exploration: Die Versuchspersonen erreichten im arithmetischen Mittel eine inhaltliche Exploration von 90,2% (SD=8,5 Prozentpunkte). Damit besuchten die Teilnehmer im Durchschnitt über 90 % aller Informationsknoten. Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Gruppen. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit inhaltlicher Exploration als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren zeigte keine signifikanten Effekte.

Des Weiteren wurde bestimmt, ob die deskriptiv sichtbaren Mittelwertunterschiede in der inhaltlichen Exploration auf Unterschiede in der Gesamtdauer im *Physikus* zurückzuführen seien. Denn gerade Unterschiede in der Gesamtdauer im *Physikus* könnten mit einer unterschiedlich umfangreichen Exploration verbunden sein. Die zu diesem Zweck durchgeführte zweifaktorielle Varianzanalyse mit inhaltlicher Exploration als abhängige Variable, mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren und Gesamtdauer im *Physikus* als Kovariate erbrachte keinen signifikanten Einfluss der Kovariate Gesamtdauer im *Physikus*.

Tabelle 10: Inhaltliche Exploration.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	91,8 %	7,0 %-Pt.	86,7 %	9,6 %-Pt.	89,2 %	8,6 %-Pt.
Immersion niedrig	92,2 %	7,3 %-Pt.	90,2 %	9,6 %-Pt.	91,2 %	8,4 %-Pt.
Gesamt	92,0 %	7,0 %-Pt.	88,4 %	9,6 %-Pt.	90,2 %	8,5 %-Pt.

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der inhaltlichen Exploration und anderen Variablen berechnet, um Hinweise auf vorhandene Zusammenhänge zu erhalten. Die Korrelation der inhaltlichen Exploration mit dem Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ wurde signifikant ($r=0,332$;

$p=0,009$), ebenfalls war die Korrelation mit den Werten zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ signifikant ($r=0,403$; $p=0,001$). Die Korrelation zwischen der inhaltlichen Exploration mit dem investierten mentalen Aufwand war nicht signifikant ($r=0,067$; n.s.), während die Korrelation mit der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand signifikant wurde ($r=0,381$; $p=0,003$). Des Weiteren war die Korrelation zwischen der inhaltlichen Exploration mit der Gesamtdauer im *Physikus* signifikant negativ ($r=-0,405$; $p=0,001$).

Zeitliche Exploration: Die Versuchspersonen erreichten im arithmetischen Mittel eine zeitliche Exploration von rund 42,2 % (SD=10,8 Prozentpunkte). Damit verbrachten die Versuchspersonen durchschnittlich über 42 % der Gesamtdauer in der virtuellen Umgebung an den Informationsknoten, d.h. an den Lerninhalten. Das bedeutet, daß die Versuchspersonen die Informationsknoten ausgiebig explorierten. Die restliche Zeit waren die Versuchspersonen damit beschäftigt, die Wege zwischen den einzelnen Lerninhalten zurückzulegen. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Gruppen. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit zeitlicher Exploration als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren ergab einen signifikanten Effekt des Faktors Elaborationsinstruktion ($F=4,534$; $p=0,038$). Da die Gesamtdauer im *Physikus* in die Berechnung der zeitlichen Exploration mitgeflossen ist, konnte ein Einfluss der Gesamtdauer im *Physikus* als Kovariate nicht betrachtet werden.

Tabelle 11: Zeitliche Exploration.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	43,9 %	7,5 %-Pt.	36,3 %	8,6 %-Pt.	40,1 %	8,8 %-Pt.
Immersion niedrig	46,2 %	10,9 %-Pt.	42,5 %	13,5 %-Pt.	44,4 %	12,2 %-Pt.
Gesamt	45,1 %	9,3 %-Pt.	39,4 %	11,6 %-Pt.	42,2 %	10,8 %-Pt.

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der zeitlichen Exploration und anderen Variablen berechnet, um Hinweise auf vorhandene Zusammenhänge zu erhalten. Die Korrelation der zeitlichen Exploration war

weder für den Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ ($r=0,176$; n.s.) noch für den Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ signifikant ($r=0,194$; n.s.). Die Korrelation zwischen der zeitlichen Exploration mit dem investierten mentalen Aufwand wurde signifikant ($r=0,330$; $p=0,010$), ebenso die Korrelation mit der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand ($r=0,303$; $p=0,019$).

Explorationshäufigkeit: Die Versuchspersonen suchten jeden Informationsknoten im arithmetischen Mittel 5,61mal ($SD=1,88$) auf. Das bedeutet, daß die Versuchspersonen fast alle Informationsknoten mehrfach explorierten. Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Gruppen. In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Explorationshäufigkeit als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren wurden keine signifikanten Effekte festgestellt.

Tabelle 12: Explorationshäufigkeit.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	5,01	1,60	5,73	1,67	5,37	1,65
Immersion niedrig	5,99	2,31	5,71	1,91	5,85	2,09
Gesamt	5,50	2,02	5,72	1,77	5,61	1,88

Ergänzend wurde geprüft, ob die deskriptiv sichtbaren Mittelwertunterschiede in der Häufigkeit der Exploration auf Unterschiede in der Gesamtdauer im *Physikus* zurückzuführen sind. Dies erschien sinnvoll, da die geringere Häufigkeit des Aufsuchens mit einer geringeren Aufenthaltsdauer insgesamt einhergehen könnte. Die zu diesem Zweck durchgeführte zweifaktorielle Varianzanalyse mit Häufigkeit der Exploration als abhängiger Variable, mit den Versuchsbedingungen Immersion und mentaler Aufwand als *between*-Faktoren und Gesamtdauer im *Physikus* als Kovariate zeigte einen signifikanten Einfluss der Kovariate Gesamtdauer im *Physikus* ($F=114,270$; $df=1$; $p=0,000$) und einen tendenziell signifikanten Haupteffekt des Faktors Immersion ($F=3,643$; $df=1$; $p=0,062$). Nur unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gesamtdauer im *Physikus* ist demnach ein

Effekt der Immersion auf die Explorationshäufigkeit aufgetreten. Dies zeigt sich darin, daß in den Gruppen „mit Elaborationsinstruktion“ in Abhängigkeit von der Immersion eine veränderte Explorationshäufigkeit aufgetreten ist. Dabei führte eine höhere Immersion zu niedriger Explorationshäufigkeit.

Des Weiteren wurden Korrelationen zwischen der Häufigkeit der Exploration und anderen Variablen berechnet, um Hinweise auf vorhandene Zusammenhänge zu erhalten. Die negative Korrelation der Explorationshäufigkeit mit dem „PQ-Präsenzerleben“ wurde signifikant ($r=-0,270$; $p=0,037$), während die negative Korrelation mit der „ITQ-Präsenzbereitschaft“ tendenziell signifikant war ($r=-0,243$; $p=0,061$). Die Korrelation zwischen der Explorationshäufigkeit mit dem investierten mentalen Aufwand wurde nicht signifikant ($r=0,177$; n.s.), während die negative Korrelation mit der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand signifikant war ($r=-0,294$; $p=0,023$). Ebenfalls wurde die negative Korrelation zwischen der Explorationshäufigkeit mit der Gesamtdauer im *Physikus* signifikant ($r=-0,813$; $p=0,000$).

Zusammenhänge zwischen den Explorationsmaßen: Um mögliche Zusammenhänge zwischen den Explorationsmaßen zu erkennen, wurden Korrelationen berechnet. Diese sind in Tabelle 13 im Überblick dargestellt. Die Korrelation zwischen der zeitlichen und der inhaltlichen Exploration wurde signifikant.

Tabelle 13: Korrelationen zwischen den Explorationsmaßen.

	Inhaltliche Exploration	Zeitliche Exploration	Explorationshäufigkeit
Inhaltliche Exploration	1	0,397**	-0,226
Signifikanz	---	0,002	n.s.
Zeitliche Exploration		1	-0,074
Signifikanz		---	n.s.
Explorationshäufigkeit			1
Signifikanz			---

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Ergebnisse zum Explorationsverhalten: Aus den Ergebnissen zur Exploration der virtuellen Umgebung wurde ersichtlich, inwieweit die Versuchspersonen das Angebot der Lerninhalte in der virtuellen Umgebung

rezipierten. Zwischen den Explorationsmaßen inhaltliche Exploration und zeitliche Exploration zeigte sich ein signifikanter korrelativer Zusammenhang.

Im Falle der inhaltlichen Exploration wurde ein Deckeneffekt festgestellt: Fast alle Versuchspersonen suchen beinahe jeden Informationsknoten (im Mittel 90,2%) mindestens einmal auf. Wirkungen der experimentellen Variation auf die inhaltliche Exploration wurden nicht belegt. Es zeigte sich ein korrelativer Zusammenhang der inhaltlichen Exploration zum „PQ-Präsenzerleben“ und zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ sowie zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand. Ein negativer korrelativer Zusammenhang wurde zwischen der inhaltlichen Exploration und der Gesamtdauer im *Physikus* festgestellt.

In Bezug auf die zeitliche Exploration wurde ein durchschnittliches Explorationsverhalten nachgewiesen, da im Mittel 42,2% der Gesamtzeit an den Informationsknoten verbracht würde. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die räumlichen Distanzen zwischen den Informationsknoten nicht allzu gering waren, so daß die Probanden jeweils eine gewisse Zeit für deren Überbrückung aufwenden mussten. Eine signifikante Wirkung der Elaborationsinstruktion auf die zeitliche Exploration war feststellbar.

Die gefundene Häufigkeit der Exploration zeigt, daß die Probanden die Lerninhalte intensiv und umfassend wahrnahmen (im Mittelwert wurde jeder Informationsknoten 5,6mal aufgesucht). Es zeigte sich eine tendenzielle Wirkung des Faktors Immersion auf die Häufigkeit der Exploration und ein negativer korrelativer Zusammenhang der Explorationshäufigkeit zum „PQ-Präsenzerleben“ und tendenziell zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ sowie zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand. Ein negativer korrelativer Zusammenhang bestand zwischen der Explorationshäufigkeit und der Gesamtdauer im *Physikus*.

7.3.4 Wissenserwerb

Das erworbene Wissen wurde mit Wissenstests zu Behaltens- bzw. zu Verstehensleistungen erfasst. Die Korrelation zwischen der Behaltensleistung und der Verstehensleistung war signifikant ($r=0,441$; $p=0,000$).

Behaltensleistung: Die Versuchspersonen erzielten eine mittlere Behaltensleistung von 12,68 Punkten ($SD=3,61$) bei 22 möglichen Punkten

(absolute Punktwerte). Einen Überblick bietet Tabelle 14. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Behaltensleistung als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren ergab keine signifikanten Effekte.

Des Weiteren wurde geprüft, ob die deskriptiv sichtbaren Mittelwertunterschiede in der Behaltensleistung auf Unterschiede im Physik-Vorwissen zurückzuführen seien. Die zu diesem Zweck durchgeführte zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Behaltensleistung als abhängige Variable, mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationsinstruktion als *between*-Faktoren und Physik-Vorwissen als Kovariate zeigte keinen signifikanten Effekt der Kovariate Physik-Vorwissen und einen tendenziell signifikanten Haupteffekt des Faktors Elaborationsinstruktion ($F=2,976$; $df=1$; $p=0,090$). Es zeigte sich unter Berücksichtigung des Vorwissens, daß sich die Elaborationsinstruktion tendenziell positiv auf die Behaltensleistung auswirkte.

Tabelle 14: Behaltensleistung.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationsinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	13,27	2,74	11,60	3,64	12,43	3,28
Immersion niedrig	13,60	4,19	12,27	3,73	12,93	3,96
Gesamt	13,43	3,48	11,93	3,64	12,68	3,61

Tabelle 15: Korrelationen der Variablen mit der Behaltensleistung.

	Behaltensleistung	
	Korrelation	Signifikanz
PQ-Präsenzerleben	0,222	0,088
ITQ-Präsenzbereitschaft	0,317*	0,014
Investierter mentaler Aufwand	0,174	n.s.
Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	0,269*	0,037
Inhaltliche Exploration	0,388**	0,002
Zeitliche Exploration	0,268*	0,039
Explorationshäufigkeit	- 0,019	n.s.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der Behaltensleistung und anderen Variablen berechnet, um mögliche Zusammenhänge zu bestimmen. Einen Überblick bietet Tabelle 15. Signifikante korrelative Zusammenhänge zur Behaltensleistung wies der Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“, die Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand sowie die inhaltliche und zeitliche Exploration auf. Die Korrelation zwischen der Behaltensleistung und dem Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ wurde tendenziell signifikant.

Verstehensleistung: Die Versuchspersonen erzielten eine mittlere Verstehensleistung von 12,08 Punkten ($SD=3,82$) bei 28 möglichen Punkten (absolute Punktwerte). Einen Überblick bietet Tabelle 16. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Verstehensleistung als abhängige Variable und mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationssinstruktion als *between*-Faktoren erbrachte keine signifikanten Effekte.

Des Weiteren wurde ermittelt, ob die deskriptiv sichtbaren Mittelwertunterschiede in der Verstehensleistung auf Unterschiede im Physik-Vorwissen zurückführbar waren. Die zu diesem Zweck durchgeführte zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Verstehensleistung als abhängige Variable, mit den Versuchsbedingungen Immersion und Elaborationssinstruktion als *between*-Faktoren und Physik-Vorwissen als Kovariate zeigte einen signifikanten Effekt der Kovariate Physik-Vorwissen ($F=17,821$; $df=1$; $p=0,000$), jedoch keine weiteren signifikanten Effekte.

Tabelle 16: Mittlere Kennwerte zur Verstehensleistung.

	Mit Elaborationsinstruktion		Ohne Elaborationssinstruktion		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Immersion hoch	12,93	3,24	11,20	5,03	12,07	4,25
Immersion niedrig	11,87	3,02	12,33	3,85	12,10	3,41
Gesamt	12,40	3,12	11,77	4,44	12,08	3,82

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der Verstehensleistung und anderen Variablen berechnet, um etwa vorhandene Zusammenhänge zu erkennen. Einen Überblick bietet Tabelle 17. Die Korrelationen zwischen der Verstehensleistung und den Fragebögen „PQ-Präsenzerleben“ und

„ITQ-Präsenzbereitschaft“, der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand sowie der inhaltlichen und zeitlichen Exploration wurden signifikant. Ein tendenziell signifikanter korrelativer Zusammenhang zur Verstehensleistung war für den investierten mentalen Aufwand vorhanden.

Tabelle 17: Korrelationen der Variablen mit der Verstehensleistung.

	Verstehensleistung	
	Korrelation	Signifikanz
PQ-Präsenzerleben	0,307*	0,017
ITQ-Präsenzbereitschaft	0,384**	0,002
Investierter mentaler Aufwand	0,226	0,082
Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	0,317*	0,013
Inhaltliche Exploration	0,269*	0,037
Zeitliche Exploration	0,282*	0,029
Explorationshäufigkeit	0,023	n.s.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Ergebnisse zum Wissenserwerb: Zunächst wurden die Ergebnisse des Wissenserwerbs nur insoweit betrachtet, als notwendig ist, um die Wirkung der experimentellen Variation auf Faktoren zu identifizieren, die zu einem Lernerfolg beitragen können. Es konnten keine gesicherten Auswirkungen der experimentellen Variation auf die Behaltensleistung gezeigt werden. Tendenziell war eine Wirkung der Elaborationsinstruktion auf das Behalten erkennbar. Es zeigte sich ein korrelativer Zusammenhang der Behaltensleistung tendenziell zum PQ-Präsenzerleben, zur ITQ-Präsenzbereitschaft sowie zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand. Ein korrelativer Zusammenhang zwischen der Behaltensleistung und der Gesamtdauer im *Physikus* wurde tendenziell festgestellt. Des Weiteren wurde ein korrelativer Zusammenhang zwischen der Behaltensleistung und der inhaltlichen und zeitlichen Exploration der virtuellen Umgebung gezeigt.

Ebenfalls wurden keine Auswirkungen der Immersion oder der Elaborationsinstruktion auf die Verstehensleistung gezeigt. Festgestellt wurde ein korrelativer Zusammenhang der Verstehensleistung zum PQ-Präsenzerleben, zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ sowie tendenziell zum mentalen Aufwand und zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand. Ein korrelativer Zusammenhang zwischen der Verstehensleistung und dem Physik-Vorwissen war vorhanden. Ein korrelativer Zusammenhang zwi-

schen der Verstehensleistung und der inhaltlichen und zeitlichen Exploration der virtuellen Umgebung wurde belegt.

7.4 Ergebnisse zum Präsenzerleben und zum investierten mentalen Aufwand

Grundsätzlich können die experimentelle Manipulation der Immersion der virtuellen Umgebung und das subjektiv unterschiedliche Erleben der Benutzer zu unterschiedlichen Effekten auf den Wissenserwerb führen. Es ist nicht auszuschließen, daß das Ausmaß des erworbenen Wissens in dieser Untersuchung weniger von der objektiv vorhandenen Immersion der Umgebung abhängig war als vielmehr vom persönlich empfundenen Präsenzerleben. Dies wäre als Beleg dafür zu werten, daß weniger die vorgegebenen Faktoren des Mediums als die internal vorhandenen und zeitlich stabilen Zustände der Benutzer an einem Lernerfolg beteiligt sind.

Tabelle 18: Zellenbesetzung nach Rekonstruktion des Untersuchungsdesigns.

Faktor		Investierter mentaler Aufwand	
		Hoch	Niedrig
PQ-Präsenzerleben	Hoch	18	12
	Niedrig	12	18

Mit einer Rekonstruktion des Untersuchungsdesigns mit Hilfe von Median-Splits (vgl. Tabelle 18) wurde untersucht, inwieweit, unabhängig von der experimentellen Manipulation der Immersion und der Elaborationinstruktion, Unterschiede im aktuellen PQ-Präsenzerleben bzw. im investierten mentalen Aufwand auffindbar sind und ob diese mit Auswirkungen auf die erhobenen Variablen verbunden sind. Die Versuchspersonen wurden anhand der empirischen Werte zum „PQ-Präsenzerleben“ bzw. zum investierten mentalen Aufwand in Gruppen mit hohem bzw. niedrigem „PQ-Präsenzerleben“, respektive hohem bzw. niedrigem investierten mentalen Aufwand, eingeteilt. Personen mit medianidentischen Werten wurden den Gruppen zufällig zugewiesen, um eine Verminderung der Stichprobengröße zu vermeiden (vgl. zu diesem Vorgehen Bortz, Lienert & Boehnke, 2000: S.198 ff). Aus den entstehenden Gruppen wurden die Zellen der Datenmatrix nachgebildet, so daß anhand der unterschiedlichen empirischen

Ausprägungen der Faktoren das verwendete 2-faktorielle Experimentaldesign rekonstruiert wurde (vgl. Tabelle 18).

Dieses Vorgehen ist unabhängig davon anwendbar, ob die beiden Faktoren Immersion und Elaborationsinstruktion voneinander abhängig sind. Zur Überprüfung, ob die Rekonstruktion hinreichend zwischen den Gruppen unterscheidet, wurde zunächst diese Einteilung überprüft. Anschließend wurde die empirische Verteilung der Werte im Hinblick auf die Kontrollvariablen, das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb untersucht.

7.4.1 Rekonstruktion der Datenmatrix

Zunächst wurde überprüft, ob die rekonstruierte Datenmatrix hinreichend verschiedene Gruppen ergab. Die rekonstruierten Werte zum empirischen „PQ-Präsenzerleben“ sind in Tabelle 19 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit „PQ-Präsenzerleben“ als abhängiger Variable und den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=151,698$; $df=1$; $p=0,000$). Somit wird in der rekonstruierten Datenmatrix deutlich zwischen Gruppen mit hohem bzw. niedrigem „PQ-Präsenzerleben“ unterschieden.

Tabelle 19: Präsenzerleben.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	90,17	7,56	92,25	6,30	91,00	7,04
PQ-Präsenzerleben niedrig	67,00	6,24	63,89	9,98	65,13	8,69
Gesamt	80,90	13,47	75,23	16,53	78,07	15,22

Die rekonstruierten Werte zum investierten mentalen Aufwand sind in Tabelle 20 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit dem investierten mentalen Aufwand als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-

Faktoren zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors investierter mentaler Aufwand ($F=112,856$; $df=1$; $p=0,000$). In der rekonstruierten Datenmatrix wird demnach deutlich zwischen Gruppen mit hohem bzw. niedrigem „investierten mentalen Aufwand“ unterschieden.

Tabelle 20: Investierter mentaler Aufwand.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	22,39	1,75	15,08	2,39	19,47	4,15
PQ-Präsenzerleben niedrig	21,33	2,42	14,56	3,20	17,27	4,43
Gesamt	21,97	2,08	14,77	2,87	18,37	4,40

Ergebnisse zur Rekonstruktion: Die Ergebnisse zu den rekonstruierten Daten lassen erkennen, daß die Versuchspersonen anhand der empirischen Ergebnisse in eine rekonstruierte Datenmatrix mit vier Gruppen eingeordnet werden konnten. Diese Gruppen unterschieden sich jeweils in Bezug auf die Split-Faktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand signifikant voneinander.

7.4.2 Kontrollvariablen

Die möglichen Einflüsse der Kontrollvariablen wurden ebenfalls für die mit dem Median-Split gebildete Datenmatrix überprüft. Die Werte zur empirischen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ sind in Tabelle 21 dargestellt. In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit „ITQ-Präsenzbereitschaft“ als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren wurde ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=9,515$; $df=1$; $p=0,003$) festgestellt. Dies lässt einen Einfluss der „ITQ-Präsenzbereitschaft“ auf das „PQ-Präsenzerleben“ erkennen, der dazu führt, daß eine höhere „ITQ-Präsenzbereitschaft“ zu einem höheren „PQ-Präsenzerleben“ beiträgt.

Die Werte zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand sind in Tabelle 22 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Investi-

tionsbereitschaft für mentalen Aufwand als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=4,434$; $df=1$; $p=0,042$) und einen signifikanten Haupteffekt des Faktors investierter mentaler Aufwand ($F=4,847$; $df=1$; $p=0,032$). Demnach sind Unterschiede zwischen den Gruppen auszumachen, die zeigen, daß sowohl ein hohes „PQ-Präsenzerleben“ als auch ein hoher investierter mentaler Aufwand mit einer höheren Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand einhergehen. Demhingegen ist in der Gruppe „niedriges PQ-Präsenzerleben und niedriger investierter mentaler Aufwand“ deutlich geringere Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand vorhanden.

Tabelle 21: „ITQ-Präsenzbereitschaft“.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	36,50	5,08	36,25	5,80	36,40	5,28
PQ-Präsenzerleben niedrig	32,83	3,76	32,33	3,87	32,53	3,77
Gesamt	35,03	4,88	33,90	5,03	36,12	5,22

Tabelle 22: Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	50,17	9,44	48,08	10,62	49,33	9,80
PQ-Präsenzerleben niedrig	48,33	6,24	41,06	5,21	43,97	6,62
Gesamt	49,43	8,24	43,87	8,42	46,65	8,72

Die Werte zum Physik-Vorwissen sind in Tabelle 23 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Physik-Vorwissen als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren zeigte einen signifikanten Interaktionseffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ mit dem Faktor investierter mentaler Aufwand ($F=4,423$; $df=1$; $p=0,040$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt.

Tabelle 23: Physik-Vorwissen.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	24,67	4,27	20,17	6,93	22,87	5,82
PQ-Präsenzerleben niedrig	19,75	6,98	21,94	6,27	21,07	6,54
Gesamt	22,70	5,93	21,23	6,48	21,97	6,21

Tabelle 24: Gesamtdauer im *Physikus*.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	2862 s	818 s	2235 s	799 s	2611 s	855 s
PQ-Präsenzerleben niedrig	3058 s	788 s	3141 s	710 s	3108 s	730 s
Gesamt	2940 s	798 s	2779 s	861 s	2860 s	827 s

Die Werte zur Gesamtdauer im *Physikus* sind in Tabelle 24 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Gesamtdauer im *Physikus* als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren erbrachte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=7,242$; $df=1$; $p=0,009$) und einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt der

Faktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand ($F=3,019$; $df=1$; $p=0,088$). Demnach weisen die Versuchspersonen, die ein höheres „PQ-Präsenzerleben“ berichten, eine niedrigere Gesamtdauer im *Physikus* auf.

Ergebnisse zu den Kontrollvariablen: Die Ergebnisse zu den Kontrollvariablen deuten darauf hin, daß sich die „ITQ-Präsenzbereitschaft“ nur auf das subjektive „PQ-Präsenzerleben“ auswirkt. Bei der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand hingegen sind Einflüsse auf das „PQ-Präsenzerleben“ und den investierten mentalen Aufwand feststellbar. In beiden Fällen führt eine höhere Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand dazu, daß jeweils ein höheres „PQ-Präsenzerleben“ und ein höherer investierter mentaler Aufwand auftraten. Die Gesamtdauer im *Physikus* wirkte sich auf das „PQ-Präsenzerleben“ aus. Die Teilnehmer mit höheren Werten im „PQ-Präsenzerleben“ wiesen signifikant kürzere Verweildauern in der virtuellen Umgebung auf. Das Physik-Vorwissen schließlich erbrachte keine signifikanten Unterschiede.

7.4.3 Explorationsverhalten

Das Explorationsverhalten wurde wiederum in den Bereichen der inhaltlichen und zeitlichen Exploration sowie der Explorationshäufigkeit betrachtet. Die relativen Häufigkeiten zur inhaltlichen und zur zeitlichen Exploration wurden vor der varianzanalytischen Auswertung transformiert (Arcus-Sinus-Wurzel-Transformation; vgl. Kapitel 7.3.3).

Die Werte zur inhaltlichen Exploration sind in Tabelle 25 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit inhaltlicher Exploration als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=6,377$; $df=1$; $p=0,014$) und einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt von „PQ-Präsenzerleben“ und dem investierten mentalen Aufwand ($F=3,005$; $df=1$; $p=0,088$). Die in Tabelle 25 dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, daß dieser Effekt so zu interpretieren ist, daß bei höherem „PQ-Präsenzerleben“ eine umfangreichere inhaltliche Exploration erfolgte.

Die Werte zur zeitlichen Exploration sind in Tabelle 26 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit zeitlicher Exploration als abhängi-

ger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors investierter mentaler Aufwand ($F=5,781$; $df=1$; $p=0,020$) und einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt von „PQ-Präsenzerleben“ und dem investierten mentalen Aufwand ($F=3,143$; $df=1$; $p=0,082$). Eine Analyse der Mittelwerte zur zeitlichen Exploration (vgl. Tabelle 26) zeigt, daß die zeitliche Exploration in höherem Umfang vorhanden ist, wenn höherer mentaler Aufwand investiert wird.

Tabelle 25: Inhaltliche Exploration.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	91,8 %	7,9 %-Pt.	94,6 %	4,7 %-Pt.	92,9 %	6,8 %-Pt.
PQ-Präsenzerleben niedrig	89,7 %	10,1 %-Pt.	86,0 %	8,6 %-Pt.	87,5 %	9,2 %-Pt.
Gesamt	91,0 %	8,7 %-Pt.	89,4 %	8,4 %-Pt.	90,2 %	8,5 %-Pt.

Tabelle 26: Zeitliche Exploration.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	44,3%	9,2 %-Pt.	42,5 %	8,1 %-Pt.	43,6 %	8,7 %-Pt.
PQ-Präsenzerleben niedrig	47,7 %	13,7 %-Pt.	36,4 %	9,7 %-Pt.	40,9 %	12,5 %-Pt.
Gesamt	45,6 %	11,1 %-Pt.	38,9 %	9,4 %-Pt.	42,2 %	10,8 %-Pt.

Die rekonstruierten Werte zur empirischen Häufigkeit der Exploration sind in Tabelle 27 dargestellt. In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Explorationshäufigkeit als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren wurde ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=10,121$; $df=1$; $p=0,002$) und ein signifikanter Hauptef-

fekt des Faktors investierter mentaler Aufwand ($F=6,606$; $df=1$; $p=0,013$) festgestellt. Diese beiden Haupteffekte lassen erkennen, daß erstens eine niedrigere Explorationshäufigkeit als Folge höheren „PQ-Präsenzerlebens“ auftrat, und daß zweitens eine höhere Explorationshäufigkeit mit einem höheren investierten mentalen Aufwand einherging.

Tabelle 27: Explorationshäufigkeit.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	5,61	1,82	4,09	1,29	5,00	1,77
PQ-Präsenzerleben niedrig	6,70	2,08	5,89	1,60	6,21	1,82
Gesamt	6,05	1,97	5,17	1,71	5,61	1,88

Ergebnisse zum Explorationsverhalten: Die Ergebnisse zum Explorationsverhalten deuten auf unterschiedliche Wirkungen von „PQ-Präsenzerleben“ und dem investierten mentalen Aufwand hin. Ein höheres „PQ-Präsenzerleben“ bewirkt demnach eine höhere inhaltliche Exploration und eine geringere Explorationshäufigkeit. Ein größerer investierter mentaler Aufwand zeigt sich in einer umfangreicheren zeitlichen Exploration und einer größeren Explorationshäufigkeit.

7.4.4 Wissenserwerb

Die Werte zur Behaltensleistung sind in Tabelle 28 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Behaltensleistung als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren ergab keine signifikanten Effekte.

Die Werte zur Verstehensleistung sind in Tabelle 29 dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Verstehensleistung als abhängiger Variable und mit den Splitfaktoren „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand als *between*-Faktoren zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ ($F=5,580$; $df=1$; $p=0,022$) und einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt der Faktoren „PQ-

Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand ($F=3,062$; $df=1$; $p=0,086$). Eine Analyse der in Tabelle 29 dargestellten Werte zeigt, daß bei höherem „PQ-Präsenzerleben“ eine höhere Verstehensleistung vorhanden ist.

Tabelle 28: Behaltensleistung.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	13,50	4,25	12,83	2,76	13,23	3,68
PQ-Präsenzerleben niedrig	13,08	3,65	11,50	3,37	12,13	3,51
Gesamt	13,33	3,96	12,03	3,16	12,68	3,61

Tabelle 29: Verstehensleistung.

	Investierter mentaler Aufwand hoch		Investierter mentaler Aufwand niedrig		Gesamt	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
PQ-Präsenzerleben hoch	14,17	3,82	11,92	3,18	13,27	3,69
PQ-Präsenzerleben niedrig	10,25	4,37	11,33	3,09	10,90	3,62
Gesamt	12,60	4,43	11,57	3,08	12,08	3,82

Ergebnisse zum Wissenserwerb: Für den Wissenserwerb zeigten sich unterschiedliche Effekte von „PQ-Präsenzerleben“ und dem investierten mentalen Aufwand. Zunächst wird die Behaltensleistung weder vom „PQ-Präsenzerleben“ noch vom investierten mentalen Aufwand signifikant beeinflusst. Die Verstehensleistung wird signifikant vom Faktor „PQ-Präsenzerleben“ beeinflusst, während sich der investierte mentale Aufwand nicht auf die Verstehensleistung auswirkte.

7.5 Fazit zu Studie 1

Das Ziel der ersten Studie bestand darin, das Verhältnis zwischen medialer Immersion und der Präsenz sowie des investierten mentalen Aufwands in ihrer jeweiligen Auswirkung auf Explorationsverhalten und Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen zu untersuchen. Die Auswertung umfasste zunächst die Wirkung des medialen Faktors Immersion und die Wirkung der Elaborationsinstruktion. Um die Wirkung des Präsenzerlebens und des tatsächlich investierten mentalen Aufwands unabhängig von den Manipulationen zu bestimmen, wurde das Untersuchungsdesign anhand der (zunächst) abhängigen Maße „PQ-Präsenzerleben“ und investierter mentaler Aufwand rekonstruiert. Diese zweistufige Auswertung erlaubt eine Trennung zwischen der experimentellen Variation des Mediums und der Elaborationsinstruktion sowie der aufgetretenen subjektiven Zustände.

Hypothesen zur Immersion: Die erwarteten Effekte einer hohen Immersion sollten in einem höheren Präsenzerleben (H1) und in intensiverer Exploration (H2) liegen. Eine höhere Immersion sollte zu einer höheren Behaltensleistung (H3) führen und indirekt Einfluß auf die Verstehensleistung (H4) haben.

Ergebnisse zur Immersion: Die Ergebnisse zeigen, daß die experimentelle Manipulation der Immersion unter Berücksichtigung der personal stabilen Attribute das Präsenzerleben signifikant beeinflusste. Damit kann Hypothese H1 mit Einschränkungen als bestätigt angesehen werden. Eine Wirkung der Immersion auf die inhaltliche und zeitliche Exploration konnte nicht nachgewiesen werden. Die Explorationshäufigkeit fiel bei höherer Immersion geringer aus. Damit kann Hypothese H2 als nicht-bestätigt angesehen werden. In Bezug auf den Wissenserwerb konnten weder Auswirkungen der Immersion auf die Behaltensleistung noch auf die Verstehensleistung gezeigt werden. Damit konnten Hypothese H3 und H4 nicht bestätigt werden.

Hypothesen zur Präsenz: Zur Präsenz der Teilnehmer wurde erwartet, daß ein hohes Präsenzerleben mit einer höheren Präsenzbereitschaft verbunden sein sollte (H5). Die Wirkung des Präsenzerlebens sollte in einer intensiveren Exploration (H6) sichtbar werden. Für den Wissenserwerb wurde erwartet, daß höheres Präsenzerleben zu einer höheren Behaltensleistung (H7) und zu einer höheren Verstehensleistung (H8) führen sollte.

Ergebnisse zur Präsenz: Es konnte gezeigt werden, daß sich die Werte zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ signifikant auf das subjektive „PQ-Präsenzerleben“ auswirken. Damit kann Hypothese H5 als bestätigt angesehen werden. Zum Explorationsverhalten konnte ein signifikanter Effekt des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ auf die inhaltliche Exploration und die Explorationshäufigkeit gezeigt werden. Die zeitliche Exploration wurde nicht beeinflußt. Deswegen wird Hypothese H6 als bestätigt angesehen. Für den Wissenserwerb konnte kein signifikanter Einfluß des Faktors „PQ-Präsenzerleben“ auf die Behaltensleistung gezeigt werden. Hingegen bestand ein signifikanter Einfluß des „PQ-Präsenzerlebens“ auf die Verstehensleistung. Insofern kann Hypothese H7 als nicht-bestätigt und Hypothese H8 als bestätigt angesehen werden.

Hypothesen zur Elaborationsinstruktion und zum investierten mentalen Aufwand: Der tatsächlich aufgewendete mentale Aufwand sollte auf einer höheren Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand beruhen (H9). Die erwarteten Effekte eines hohen mentalen Aufwands sollten sich in intensiverer Exploration (H10) zeigen. Ein höherer mentaler Aufwand sollte zu einer höheren Behaltensleistung (H11) und einer höheren Verstehensleistung (H12) führen.

Ergebnisse zur Elaborationsinstruktion und zum investierten mentalen Aufwand: Es zeigte sich keine Wirkung der Elaborationsinstruktion auf den tatsächlich investierten mentalen Aufwand. Die Wirkung unterschiedlich hoher Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand zeigte sich in einem signifikanten Einfluß auf den tatsächlich investierten mentalen Aufwand (H9). Die Wirkung der instruktionalen Manipulation auf das Explorationsverhalten ergab für die inhaltliche Exploration keinen signifikanten Effekt. Die zeitliche Exploration und die Explorationshäufigkeit fielen signifikant höher aus. Damit kann Hypothese H10 als bestätigt angesehen werden. Zum Wissenserwerb wurden weder für die Behaltensleistung (H11) noch für die Verstehensleistung (H12) signifikante Effekte nachgewiesen. Damit können die Hypothesen H11 und H12 als nicht-bestätigt angesehen werden.

Hypothesen zu Zusammenhängen zwischen den Variablen: Zwischen den unabhängigen Variablen wurde keine Interaktion erwartet, so daß sich die Immersion der virtuellen Umgebung und die Elaborationsinstruktion

nicht gegenseitig beeinflussen sollten. Des weiteren sollte sich die Immersion nicht auf den investierten mentalen Aufwand (H13) und die Elaborationsinstruktion nicht auf das Präsenzerleben auswirken (H14). Zwischen den abhängigen Maßen wurde ein Zusammenhang zwischen dem Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand (H15) erwartet. Dieser Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand sollte zu einer intensiveren Exploration (H16) sowie einer höheren Behaltensleistung (H17) und einer höheren Verstehensleistung (H18) beitragen.

Ergebnisse zu Zusammenhängen zwischen den Variablen: Unter Berücksichtigung der „ITQ-Präsenzbereitschaft“ konnte neben der signifikanten Wirkung des Faktors Immersion ein signifikanter Effekt der Elaborationsinstruktion auf das subjektive „PQ-Präsenzerleben“ gezeigt werden. Auf den investierten mentalen Aufwand hingegen wirkten sich die experimentelle Manipulation der Immersion und die Elaborationsinstruktion nicht aus. In der Rekonstruktion der Datenmatrix zeigte sich, daß Unterschiede in der „ITQ-Präsenzbereitschaft“ zu signifikanten Unterschieden im „PQ-Präsenzerleben“ führen. Es zeigte sich ebenfalls, daß sich die Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand signifikant auf das den investierten mentalen Aufwand und auf das Präsenzerleben auswirkte. Demnach kann die Hypothese H13 als bestätigt und die Hypothese H14 kann als nicht-bestätigt angesehen werden. Der erwartete Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und mentalem Aufwand zeigte sich durch eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Maßen. Damit kann Hypothese H15 als bestätigt angesehen werden. Dieser Zusammenhang führte nur teilweise zu den angenommenen Wirkungen auf das Explorationsverhalten und die Wissenserwerbsleistungen. Positive Auswirkungen dieses Zusammenhangs auf die inhaltliche oder zeitliche Exploration konnte nicht gezeigt werden. Hingegen zeigte sich ein signifikanter Effekt der beiden Split-Faktoren Präsenzerleben und investierter mentaler Aufwand auf die Explorationshäufigkeit. Ein hohes Präsenzerleben führte hierbei zu einer niedrigeren Explorationshäufigkeit. Ein hoher investierter mentaler Aufwand hingegen zu einer höheren Explorationshäufigkeit. Dieser Befund ist jedoch hinreichend, um Hypothese H16 als nicht-bestätigt anzusehen.

Im Falle des Wissenserwerbs führte der Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand nicht zu einer hö-

heren Behaltensleistung (H17). Für die Verstehensleistung (H18) ließ sich ebenfalls kein signifikanter Einfluß des Zusammenhangs zwischen Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand erkennen. Demnach können die Hypothesen H17 und H18 beide als nicht-bestätigt angesehen werden.

Tabelle 30: Überblick zu Ergebnissen in Studie 1.

Hypothese	Ergebnis
1. Höhere Immersion führt zu höherer Präsenz	Bestätigt
2. Höhere Immersion führt zu intensiverer Exploration	Nicht-Bestätigt
3. Höhere Immersion führt zu höherer Behaltensleistung	Nicht-Bestätigt
4. Höhere Immersion führt zu höherer Verstehensleistung	Nicht-Bestätigt
5. Höhere Präsenzbereitschaft führt zu höherer Präsenz	Bestätigt
6. Höhere Präsenz führt zu intensiverer Exploration	Bestätigt
7. Höhere Präsenz führt zu höherer Behaltensleistung	Nicht-Bestätigt
8. Höhere Präsenz führt zu höherer Verstehensleistung	Bestätigt
9. Höherer investierter mentaler Aufwand beruht auf einer höheren Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	Bestätigt
10. Höherer investierter mentaler Aufwand führt zu intensiverer Exploration	Bestätigt
11. Höherer investierter mentaler Aufwand führt zu höherer Behaltensleistung	Nicht-Bestätigt
12. Höherer investierter mentaler Aufwand führt zu höherer Verstehensleistung	Nicht-Bestätigt
13. Immersion wirkt nicht auf den investierten mentalen Aufwand	Bestätigt
14. Elaborationsinstruktion zur Investition von mentalem Aufwand wirkt nicht auf das Präsenzerleben	Nicht-Bestätigt
15. Zusammenhang zwischen Präsenzerleben und investiertem mentalen Aufwand ist vorhanden	Bestätigt
16. Zusammenhang zwischen Präsenz und dem investierten mentalen Aufwand bewirkt intensivere Exploration	Nicht-Bestätigt
17. Zusammenhang zwischen Präsenz und dem investierten mentalen Aufwand bewirkt höhere Behaltensleistungen	Nicht-Bestätigt
18. Zusammenhang zwischen Präsenz und dem investierten mentalen Aufwand bewirkt höhere Verstehensleistungen	Nicht-Bestätigt

Diskussion der Ergebnisse: Die erwarteten Ergebnisse sind teilweise eingetroffen. Einen zusammenfassenden Überblick, welche Hypothesen bestätigt und nicht bestätigt wurden, bietet Tabelle 30. Die experimentelle Manipulation der Immersion konnte erfolgreich nachgewiesen werden, während sich die Manipulation des mentalen Aufwands als Elaboration-instruktion nicht in signifikanten Effekten im investierten mentalen Aufwand niederschlug. In den abhängigen Maßen zum Explorationsverhalten und zum Wissenserwerb lassen sich nur in gewissem Umfang Effekte der experimentellen Manipulationen oder der subjektiven Zustände aufzeigen.

Damit haben die Ergebnisse dieser ersten Studie bereits einige wichtige Erkenntnisse zu den Zielen dieser Arbeit ergeben. Die Ergebnisse sind jedoch unter der Einschränkung zu betrachten, daß die Reliabilität des Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ eine weitergehende Interpretation nur eingeschränkt zulässt. So zeigen die personal stabilen Attribute der Teilnehmer, die als „ITQ-Präsenzbereitschaft“ erfasst wurden und die in unterschiedlichem Maße ein Präsenzerleben möglich machen, einen deutlichen Einfluß auf das „PQ-Präsenzerleben“. Diese Bereitschaft, sich in die Umgebung hineinzusetzen, war daran beteiligt, inwieweit die Immersion der aktuell vorhandenen virtuellen Umgebung seitens der Lerner angenommen und in ein Präsenzerleben umgesetzt wurde. In einer Rekapitulation des Gesamtszenarios ergibt sich zunächst folgendes Bild:

1. Die Immersion der virtuellen Umgebung bewirkt ein erhöhtes Präsenzerleben. Hierzu trägt die individuelle Präsenzbereitschaft der Nutzer entscheidend bei. Die Immersion führt kaum zu verändertem Explorationsverhalten und nicht zu besserem Behalten oder Verstehen.
2. Das Präsenzerleben entsteht auf Basis der Immersion der virtuellen Umgebung und der personal stabilen Attribute, d.h. der Präsenzbereitschaft. Das aktuelle Präsenzerleben trägt zu einer intensiveren Exploration bei. Eine Wirkung des Präsenzerlebens auf den Wissenserwerb zeigt sich nicht in einer verbesserten Behaltensleistung, jedoch in einer höheren Verstehensleistung.
3. Die Elaborationsinstruktion zur Intensivierung des mentalen Aufwands ließ sich nicht in den erhobenen Maßen zum investierten mentalen Aufwand nachweisen. Allerdings zeigte sich als Folge

der Elaborationsinstruktion in gewissem Umfang eine intensivere Exploration und eine verbesserte Behaltensleistung, jedoch keine erhöhte Verstehensleistung.

4. Der tatsächlich investierte mentale Aufwand beeinflusste das Explorationsverhalten und trug zu einer intensiveren Exploration bei. Eine Wirkung des investierten mentalen Aufwands auf die Maße des Wissenserwerbs ließ sich weder in der Behaltensleistung noch in der Verstehensleistung nachweisen.
5. Zwischen dem Präsenzerleben und dem investierten mentalen Aufwand ließ sich ein korrelativer Zusammenhang nachweisen. Auswirkungen auf das Explorationsverhalten oder den Wissenserwerb waren nicht nachweisbar.

Insofern deutet einiges darauf hin, daß dem medialen Faktor der Immersion keine wesentliche Bedeutung zur Förderung der Exploration oder des Wissenserwerbs zukommt. Das persönliche Erleben von Präsenz hingegen bewirkte Unterschiede im Explorationsverhalten und in gewissem Umfang auch im Wissenserwerb. Die vorhandenen bzw. nicht-vorhandenen Unterschiede in der Behaltensleistung und der Verstehensleistung deuten darauf hin, daß die Lerner in der Lage waren, im Prozeß der Informationsaufnahme, kompensatorische Prozesse zur Informationsaufnahme einzusetzen. Gerade eine reflektierende Verarbeitung der Inhalte, die zum Verstehen notwendig ist, fand jedoch vermehrt bei erhöhtem Präsenzerleben statt.

Die Instruktion zur Elaboration des Lernmaterials hingegen wirkte sich vor allem auf die Aufnahme von Informationen und weniger auf deren reflektierende Verarbeitung aus. Das für einen Lernerfolg wesentliche Verstehen des Lernmaterials blieb in diesem Fall unbeeinflusst. Insgesamt hat sich die verwendete Elaborationsinstruktion anscheinend nicht wesentlich auf den investierten mentalen Aufwand, das Lernerverhalten oder den Wissenserwerb ausgewirkt. Dies könnte darauf beruhen, daß eine eher einfache, direkte Instruktion verwendet wurde, die im recht komplexen Geschehen keine ausreichende Wirkung entfalten konnte.

Insofern läßt nicht nur das Wirkungsgefüge zwischen Immersion und Präsenz und die Auswirkungen auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb noch einige offene Fragen erkennen: Es ist vor allem festzustellen, daß bislang eher unklar geblieben ist, wie deutlich die Immersion

für das Präsenzerleben verantwortlich ist. In der Operationalisierung der Immersion wurden hier einige der in der virtuellen Umgebung Physik vorhandenen Einstellmöglichkeiten genutzt. Diese Variation stellte sich als problematisch heraus, da nur unter Berücksichtigung des nicht ausreichend reliablen Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ der Nachweis gelang, daß die Immersion das Präsenzerleben beeinflusste. Es kann deswegen nicht ausgeschlossen werden, daß diese Mängel der entscheidende Grund dafür sind, daß aus dieser Untersuchung noch kein eindeutig interpretierbares Ergebnis ableitbar ist. Zusätzlich ist festzustellen, daß die „Elaboration-instruktion“ nicht optimal auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb einwirkte.

Kritisch zu hinterfragen ist bei dieser Befundlage auch, warum Effekte nicht aufgetreten sind, die zuvor in anderen Forschungsarbeiten gefunden wurden. So fand sich kein Zusammenhang zwischen dem investierten mentalen Aufwand und der Verstehensleistung. Dies könnte darauf beruhen, daß die Elaborationsinstruktion auf die *germane cognitive load* ausgerichtet war, daß jedoch mit dem verwendeten Maß zum mentalen Aufwand eher die *extraneous cognitive load* und weniger die *germane cognitive load* gemessen wurde. Allerdings zielt die eingesetzte Skala zum investierten mentalen Aufwand primär darauf ab, den eingesetzten Aufwand im Denken und zum Verstehen der Inhalte zu erfassen und nicht den mentalen Aufwand zur Interaktion mit der virtuellen Umgebung. Deswegen ist davon auszugehen, daß die *germane cognitive load* gemessen wurde.

Es ist festzustellen, daß die Ergebnisse im Einklang mit den Befunden von Moreno und Mayer (2002) stehen, die ebenfalls keinen Effekt der Immersion, d.h. des Mediums „virtuelle Umgebung“, auf Lernerfolge nachweisen konnten (weder für Behaltens- noch für Verstehensleistungen; vgl. Kapitel 2.5). Jedoch berichten Moreno und Mayer (2002) keine Ergebnisse zu möglichen Auswirkungen des Präsenzerlebens auf den Wissenserwerb. Hingegen zeigte sich in der Untersuchung von Mania und Chalmers (2001), daß die Behaltensleistung als Folge der höheren Immersion signifikant verbessert wurde (vgl. Kapitel 2.5). Jedoch berichten auch Mania und Chalmers (2001) keine Prüfung des Einflusses des Präsenzerlebens auf den Wissenserwerb. Insofern lässt sich zunächst noch kein abschließendes Urteil zur erwarteten Lernförderlichkeit der Immersion oder des Präsenzerlebens formulieren.

Nach den Ergebnissen der ersten Studie wurde deswegen beschlossen, den Vergleich von Immersion und Präsenzerleben mit einer Elaborationsinstruktion nicht weiter fortzusetzen. Diese Überlegungen mündeten in die Entscheidung, in einer zweiten Studie unter optimierten Bedingungen die Wirkung der Immersion auf das Präsenzerleben und die erwartete Lernförderlichkeit von Immersion und Präsenzerleben zu untersuchen.

Diese Entscheidung begründet sich mit dem Hauptanliegen dieser Arbeit, die mögliche Lernförderlichkeit des Mediums virtuelle Umgebung anhand seines zentralen medialen Faktors (der Immersion) und dem damit verbundenen subjektiven Präsenzerleben zu untersuchen. Insofern erschien es nach den ersten Ergebnissen notwendig, diese Faktoren deutlicher als bisher zu isolieren, um genauer zu betrachten, ob unter optimierten Bedingungen die erwarteten Wirkungen auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb feststellbar wären.

Hinzu kam die Erwartung, daß eine wesentlich effektivere Manipulation der Elaboration ohne massive Eingriffe in die Instruktion oder den Versuchsaufbau nicht möglich wäre. Diese Eingriffe hätten jedoch wahrscheinlich zur Folge, die Immersion und das Präsenzerleben stark zu beeinflussen oder gar zu beeinträchtigen. Allerdings erschien es sinnvoll, die Maße zum mentalen Aufwand weiterhin begleitend zu erheben, um die Ergebnisse zu den Wirkungen von Immersion und Präsenz im Vergleich zu vorliegenden Untersuchungen mit anderen Medien einordnen zu können (vgl. Kapitel 4).

Zunächst war in dieser ersten Studie davon ausgegangen worden, daß mit den vorgegebenen Variationen des Physikus (Audio ein / aus; Überblendung ein / aus und Video-Einführung / bebilderte Texteingführung) eine effektive Manipulation der Immersion erfolgen könne. Dies hat sich nicht hinreichend bestätigt. Der Faktor Lebendigkeit (*vividness*) aus dem Modell zur (Tele-)Präsenz von Steuer (1992) wurde als Ansatzpunkt genutzt, um die Gestaltung der virtuellen Umgebung (und damit ihre Immersion) zu verändern. Grundlegend für dieses Vorgehen war die Überlegung, die Interaktion mit der virtuellen Umgebung möglichst wenig zu ändern. Denn Interaktion mit der virtuellen Umgebung bedeutet auch Interaktion mit den Lerninhalten. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, die Dreidimensionalität der Umgebung stärker „aufzubrechen“.

Das Anliegen der zweiten Studie (vgl. Kapitel 8) ist demzufolge, die Ergebnisse zum Wirkungsgefüge zwischen Immersion und Präsenzerleben sowie die daraus resultierenden Wirkungen auf kognitive Prozesse noch genauer zu untersuchen. Grundlage der Erwartungen sind weiterhin die in Kapitel 5 dargestellten Hypothesen. Die eingesetzten Messinstrumente haben sich (bis auf den Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“) als konsistent und reliabel erwiesen. Die Analyse des Explorationsverhaltens über die Auswertung der Informationsknoten erwies sich als geeigneter Weg, um die Prozessanteile des Wissenserwerbs aufzuklären. Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung der zweiten Studie war allerdings eine Rekonzeptualisierung des Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ erforderlich (vgl. Kapitel 8.2), um eine verbesserte Reliabilität des Fragebogens und damit eine optimierte Interpretation der Ergebnisse zu erreichen.

8 Studie 2: Immersion, Präsenz und Wissenserwerb

In Studie 1 stand die Untersuchung von Immersion, Präsenz und dem mentalen Aufwand im Vordergrund. Darauf aufbauend verfolgt die im folgenden vorgestellte Studie 2 das Ziel, die gewonnenen Erkenntnisse zur Operationalisierung der Immersion und der Messverfahren zur Präsenzbereitschaft und zum Präsenzerleben zu vertiefen. Deswegen sollte in Studie 2 die Wechselwirkung zwischen Immersion und Präsenzerleben sowie die damit verbundenen Wirkungen auf den Wissenserwerb und das Explorationsverhalten in optimierter Form untersucht werden. Hierzu wurde besonders auf eine noch deutlichere Manipulation der Immersion innerhalb des eingesetzten Mediums geachtet. Das Ziel der zweiten Studie bestand demnach darin, maximal unterschiedliche Immersion und Präsenz innerhalb eines Mediums zu erreichen. Dieses Vorgehen sollte sicherstellen, daß mögliche Leistungsunterschiede im Wissenserwerb deutlicher der Manipulation der Immersion bzw. dem subjektiven Zustand des Präsenzerlebens zuzuordnen sind, als dies nach den Ergebnissen von Studie 1 möglich war.

8.1 Untersuchungsdesign

Um die zentrale Frage des Einflusses von Immersion und Präsenzerleben unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Studie 1 zu untersuchen, wurde ein ein-faktorielles Versuchsdesign gewählt: Der zu untersuchende Faktor Immersion wurde als *between-subjects*-Faktor operationalisiert. Neben den Messinstrumenten, die bereits in der ersten Studie verwendet wurden, kamen der zusätzlich erstellte Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ (vgl. Kapitel 8.2) und ein dazu parallelisierter Fragebogen zum „Präsenzerleben“ zum Einsatz.

8.1.1 Wechsel der Versuchsumgebung

Um zu entscheiden, ob die bisher verwendete virtuelle Umgebung „Physikus“ zur Untersuchung der Ziele der zweiten Studie geeignet sei oder ob eine andere virtuelle Umgebung die Anforderungen eventuell noch besser erfüllen könnte, wurde eine ausgiebige Prüfung des Untersuchungsmaterials durchgeführt. Als Resultat dieser Analyse wurde entschieden, die

Versuchsumgebung zu wechseln und das ähnlich konzipierte Lernadventure „*Chemicus*“ in Studie 2 einzusetzen.

Der für die erste Studie ausgewählte Teilbereich des *Physikus* bestand aus mehreren Häusern und Plätzen auf einer Insel, in und an denen die Lerninhalte angeordnet waren. Um den Realismus der Darstellung deutlich zu vermindern, wäre es hier notwendig gewesen, die Umgebung „Insel“ und die Anordnung in einzelnen „Häusern“ so zu verändern, daß diese sehr detailliert gestaltete Umgebung kaum noch zu erkennen gewesen wäre. Damit wäre ein deutlicher Eingriff in die Orientierung in der Umgebung und in die Organisation der Lerninhalte unvermeidbar gewesen. Die Äquivalenz der Lerninhalte und der Orientierung der Benutzer in der Umgebung konnte deswegen für den Original-*Physikus* und eine mögliche *Physikus*-Parallelumgebung nicht gewährleistet werden. Hingegen war es sehr gut möglich, diese Bedingungen mit einem Teilbereich des *Chemicus* zu realisieren, da dort ein gut abgrenzbarer Bereich des Spielszenarios mit ausreichend Lerninhalten in einer Art „Laboratorium“ vorhanden ist. Hieraus ergab sich die Entscheidung für die virtuelle Umgebung *Chemicus* sowie die zu erstellende *Chemicus*-Parallelumgebung.

Die Manipulation der unabhängigen Variablen „Immersion“ erfolgte damit in Studie 2 durch den Einsatz einer *Parallelumgebung*, deren Informationsgehalt äquivalent zur *originalen* virtuellen Umgebung erstellt wurde (vgl. Kapitel 8.1.2 und Kapitel 8.1.3). Die Lerninhalte in der *Chemicus*-Parallelumgebung waren dieselben wie im Original-*Chemicus*. Die Variation der Immersion wurde durch ein „Aufbrechen“ der Dreidimensionalität der Umgebung umgesetzt, so daß die *Chemicus*-Parallelumgebung deutlich weniger immersiv war. Mit der *Chemicus*-Parallelumgebung wurde damit das Ziel verfolgt, eine Minimierung der Immersion der Umgebung zu erreichen, ohne die anderen Faktoren der virtuellen Umgebung zu beeinflussen oder gar die Lerninhalte zu verändern.

Im Lernadventure *Chemicus* wurden damit zusätzliche Randbedingungen für die Ziele der zweiten Untersuchung umgesetzt: Erstens war der für die Versuchsperson zugängliche Bereich noch besser eingrenzbar. Zweitens war die Verbindung zwischen den im Adventure zu bearbeitenden Teilaufgaben und dem instruktional vorgegebenen Ziel noch deutlicher zu erkennen. Drittens waren die Aufgaben besser isoliert zu verstehen und

zu bearbeiten. Viertens war der Bezug zu den chemischen Grundlagen oder Zusammenhängen in der Regel direkter ersichtlich als zuvor zu den physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Hinzu kam fünftens eine gute Realisierbarkeit der Aufgaben und der Umgebung in einer zu erstellenden *Chemicus*-Parallelumgebung, ohne daß dieser Nachbau zu relevanten Einbußen in der Qualität der Interaktion führte.

8.1.2 Konzeption der niedrig immersiven parallelen Versuchsumgebung

Mit der Entscheidung zur Erstellung einer niedrig immersiven Parallelumgebung, eines Nachbaues des *Chemicus* in den interessierenden Teilbereichen, sollte erreicht werden, eine theoriegeleitete Maximierung des Unterschieds im subjektiven Präsenzerleben adäquat umsetzen zu können. Das inhaltliche Konzept des entsprechenden Ausschnittes aus dem *Chemicus* wurde vollständig übernommen, um die Informationsgleichheit zu gewährleisten. Dazu wurden die Ausdehnung der virtuellen Umgebung (d.h. vorhandene Räume) und die darin vorhandenen Objekte in ähnlicher Weise erstellt. Die technische Basis der *Chemicus*-Parallelumgebung stellt die Software *Director* mit der integrierten objektorientierten Skriptsprache *Lingo* der Firma Macromedia dar, mit der ebenfalls die kommerzielle Originalumgebung *Chemicus* erstellt wurde. Zur Erstellung der graphischen Elemente wurde neben den in *Director* integrierten Graphikwerkzeugen auf Graphikprogramme wie Corel oder PhotoShop sowie auf ClipArt-Bibliotheken aus dem Microsoft Office-Paket zurückgegriffen.

8.1.3 Vergleich der Versuchsumgebungen

Der Vergleich zwischen dem *Chemicus* und der niedrig immersiven *Chemicus*-Parallelumgebung fokussiert auf die Ziele der Operationalisierung, die mit dem Erstellen der zweiten Umgebung verbunden waren: die Maximierung des Unterschieds der Immersion zwischen beiden Umgebungen. Andere Faktoren, die zu möglichen Unterschieden im Wissenserwerb führen könnten, sollten nicht beeinflusst werden. Die Gestaltung der *Chemicus*-Parallelumgebung ist mit Abbildung 16 und Abbildung 18 (*Chemicus*-Original)³¹ sowie Abbildung 17 und Abbildung 19 (*Chemicus*-

³¹ Abbildung 16 und Abbildung 18 wurden aus screenshots der *Chemicus*-Software angefertigt.

Parallelumgebung)³² anhand einer Beispielansicht und -interaktion dargestellt. Wie deutlich zu sehen ist, sind die vorhandenen Inhaltselemente und die Interaktion mit diesen Elementen in beinahe identischer Weise umgesetzt, während die graphische Gestaltung und die dreidimensionale Ansicht deutlich verändert wurden. Im Rahmen der inhaltlichen Parallelisierung der beiden Umgebungen wurden mehrere konstant zu haltende Faktoren identifiziert, die explizit in der Erstellung berücksichtigt wurden (vgl. Tabelle 31). Dazu gehörte erstens die Integration von Handlung und Effekt. Zweitens kam die Aufrechterhaltung der Orientierung in der virtuellen Umgebung hinzu (zur Vermeidung von Verwirrung). Und drittens sollte das Bewegungskonzept in beiden Umgebungen (zur Vermeidung von Distraktoeffekten) möglichst gleich sein.

Aus den bereits genannten Überlegungen, aus Vergleichen mit den in anderen Untersuchungen benutzten Umgebungen sowie auf Grundlage der theoretischen Überlegungen, wie in Kapitel 4 ausführlich dargestellt, wurden Annahmen zu möglichen Wirkungen und Effekten der vorgenommenen Veränderungen auf kognitive Prozesse abgeleitet (vgl. Tabelle 32). Demnach waren nur in sehr geringem Maße positive oder negative Wirkungen der *Chemicus*-Parallelumgebung auf den Wissenserwerb zu erwarten, die mit dem Erleben von Präsenz interferieren könnten.

Insgesamt sollte mit der *Chemicus*-Parallelumgebung eine deutlich niedrigere Immersion erzielt werden, die sich dementsprechend in vermindertem Präsenzerleben, in geringerer Exploration sowie einer geringeren Behaltensleistung niederschlagen sollte (vgl. die Hypothesen H1, H2 und H3 in Kapitel 5.1). Das zu erwartende verminderte Präsenzerleben sollte neben einer geringeren Exploration und einer geringeren Behaltensleistung auch zu einer geringeren Verstehensleistung führen (vgl. die Hypothesen H5, H6, H7 und H8 in Kapitel 5.2).

³² Abbildung 17 und Abbildung 19 stellen screenshots der gesondert erstellten *Chemicus*-Parallelumgebung dar.

Abbildung 16: Ansicht aus *Chemicus* (1).



Abbildung 18: Ansicht aus *Chemicus* (2).



Abbildung 17: Ansicht der *Chemicus*-Parallelumgebung (1).

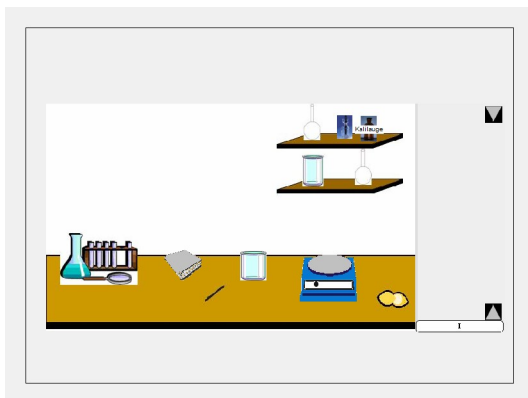


Abbildung 19: Ansicht der *Chemicus*-Parallelumgebung (2).

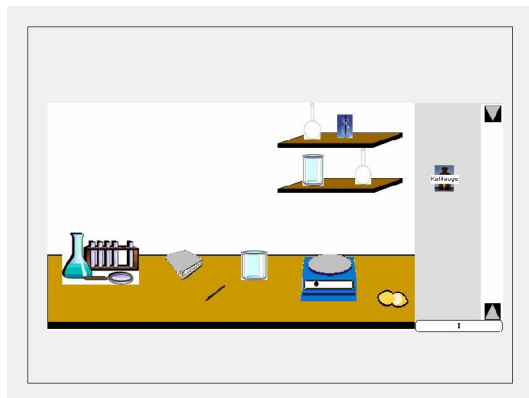


Tabelle 31: *Chemicus* und *Chemicus*-Parallelumgebung in der (erwarteten) Wirkung auf die Immersion.

Kategorien	<i>Chemicus</i> -Original	<i>Chemicus</i> -Parallelumgebung
1. Realismusgehalt der Darstellung	Hoch	Niedrig
▪ Immersion (Isolation von realer Umgebung)	Hoch	Niedrig
▪ Anzahl der beteiligten Sinneskanäle	Visuell (und auditiv)	Visuell
▪ Fokus der Aufmerksamkeit (auf die virtuelle Umgebung)	Hoch	Vermindert
▪ Situiertheit der Handlung	Hoch	Niedrig
▪ Bedeutungsgehalt der virtuellen Umgebung	Hoch	Niedrig
▪ Authentizität der virtuellen Umgebung	Hoch	Niedrig
2. Integration von Handlung und Effekt	Hoch	Hoch
▪ Kontrolle über das Geschehen in der virtuellen Umgebung	Vergleichbar	
▪ Kontrolle über die eigene Interaktion mit der virtuellen Umgebung	Vergleichbar	
▪ Kontinuität des Lernprozesses	Vergleichbar	
▪ Kontinuität der Interaktion	Vergleichbar	
3. Orientierung in der Umgebung	Hoch	Evtl. leicht vermindert
▪ Räumliche Darstellung der virtuellen Umgebung	Hoch	Eher angedeutet
▪ Raum als strukturierendes Element / als Metapher	Vergleichbar	
▪ Bedeutung der Inhalte (Kohärenz und Konsistenz)	Vergleichbar	

Tabelle 32: Erwartete Wirkungen der *Chemicus*-Parallelumgebung auf Wissenserwerb gegenüber *Chemicus*.

negativ wirkende Faktoren	neutrale Faktoren	positiv wirkende Faktoren
▪ Orientierung evtl. leicht vermindert	▪ <i>split-attention</i> -Effekte zwischen virtueller Umgebung mit Handeln und Lernen nicht erwartet	▪ Verminderter Realismusgehalt der Darstellung; (evtl. höhere Konzentration auf die Inhalte)
▪ Kognitive Belastung evtl. leicht höher, da Orientierung evtl. leicht vermindert	▪ Integration von Handlung und Effekt ist vorhanden	▪ Weniger Ablenkung durch Details
▪ Lernmotivation evtl. leicht vermindert; da Anreizcharakter der Umgebung geringer	▪ Informationsaufnahme in beiden Fällen primär über visuellen Sinneskanal	

8.2 Exkurs: Reliabilitätsprüfung zum Fragebogen zur Präsenzbereitschaft

In Studie 1 wurde zum Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ eine nicht zufriedenstellende interne Konsistenz von $\alpha=0,35$ festgestellt (Cronbach's Alpha). In einer genaueren Betrachtung der Zusammensetzung des Fragebogens wurde festgestellt, daß drei Teile des Fragebogens mit je 2 Items jeweils relativ konsistente Aspekte der Präsenzbereitschaft erfassten. Die restlichen drei Items erfassten weitere Aspekte, die mit diesen dreien und auch untereinander keine zufriedenstellende interne Konsistenz ergaben. Die drei (relativ) konsistenten Aspekte innerhalb des Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ waren: Ablenkbarkeit durch Distraktoren, Präsenzerfahrungen in Spielfilmen und Präsenzerfahrungen in Computerspielen. In diesen Fällen belief sich die interne Konsistenz für Ablenkbarkeit durch Distraktoren auf $\alpha=0,71$, für die Präsenzerfahrungen in Spielfilmen auf $\alpha=0,64$ und für die Präsenzerfahrungen in Computerspielen auf $\alpha=0,66$.

Nach einer zusätzlichen Analyse der Items und erneuten Analyse vorhandener Fragebögen wurde ein neuer Itemsatz zur Messung der Präsenzbereitschaft zusammengestellt. Diese Zusammenstellung neuer Items berücksichtigte explizit die Nutzungshäufigkeit verschiedener Medien und basierte neben einer erneuten Analyse der in der Literatur vorhandenen Messverfahren auf einer explorativen Befragung von mehreren studentischen Hilfskräften, die in der Abteilung für Angewandte Kognitionspsychologie und Medienpsychologie der Universität Tübingen und am Institut für Wissensmedien (IWM) in Tübingen tätig waren.

Nach den Ergebnissen der Analysen und der explorativen Befragung wurden drei parallele Subskalen zum Erleben von Präsenz in Spielfilmen, in Computerspielen und mit Büchern erstellt (jeweils 5 Items). Hinzu kamen 3 Items, die die Nutzungshäufigkeit dieser drei Medientypen erfassten. Ergänzend wurde eine Subskala zur Ablenkbarkeit durch Distraktoren erstellt (3 Items). Insgesamt bestand der Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ somit aus 21 Items (vgl. Tabelle 33), die mit einer siebenstufigen Likert-Skala gemessen wurden.

8.2.1 Durchführung der Reliabilitätsprüfung

Die Reliabilitätsprüfung des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ erfolgte in der Tübinger Mensa „Wilhelmstraße“ mit einer Gruppe von 25 Studierenden unterschiedlicher Fachrichtungen. Die Stichprobe bestand aus 14 weiblichen und 11 männlichen Teilnehmern. Die Teilnehmer waren im Durchschnitt rund 24 Jahre alt (Mittelwert = 23,6 Jahre). Auch ohne weitere Überprüfung wurde davon ausgegangen, daß diese Stichprobe die Erfahrungen von Studierenden zum Präsenzerleben mit verschiedenen Medien wiedergibt. Für ihre Teilnahme erhielten die Teilnehmer jeweils eine Aufwandsentschädigung in Form einer Mensa-Essensmarke im Wert von € 2,30.

Ergebnisse: Die Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ ließen eine deutlich höhere interne Konsistenz (Cronbach's α) erkennen. Der Gesamtfragebogen erreichte einen Wert von $\alpha=0,79$ (vgl. Tabelle 33).

Tabelle 33: Reliabilitätsprüfung des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ (N=25).

(Sub-)Skala	Mittelwert	Standardabweichung	Interne Konsistenz (Cronbach's α)
Spielfilme (5 Items)	15,12	6,21	0,77
Computerspiele (5 Items)	7,88	4,15	0,54
Bücher (5 Items)	19,96	7,07	0,79
Mediennutzung (3 Items)	11,92	4,08	0,26
Ablenkbarkeit (3 Items)	11,32	3,33	0,75
Präsenzbereitschaft (ges.) (21 Items)	66,20	15,59	0,79

Die einzelnen Subskalen waren unterschiedlich konsistent. Die Subskala zum Präsenzerleben in Spielfilmen erreichte eine interne Konsistenz von $\alpha=0,77$, die Subskala zum Präsenzerleben mit Büchern einen Wert von $\alpha=0,79$ und die Skala zur Ablenkbarkeit durch Distraktoren einen Wert von $\alpha=0,75$. Deutlich erkennbar war eine geringe interne Konsistenz der Subskala zur Mediennutzung ($\alpha=0,26$) sowie der Skala zum Präsenzerleben in Computerspielen ($\alpha=0,54$). In beiden Fällen war dies darauf zurückzuführen, daß die Teilnehmer überwiegend angaben, eher selten Computerspiele zu spielen und deswegen nur über wenige Präsenzerlebnisse mit diesen berichteten.

Die Korrelationen der Subskalen untereinander und der Subskalen mit dem Gesamtfragebogen ließen erkennen, daß die Erfahrung von Präsenz in Computerspielen nicht mit den anderen Subskalen und auch nicht mit der Gesamtskala korreliert war (vgl. Tabelle 34). Hingegen zeigte sich eine Korrelation zwischen den Subskalen zum Präsenzerleben in Spielfilmen und mit Büchern.

Tabelle 34: Korrelationen der Subskalen untereinander und mit der Gesamtskala im Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ (N=25).

(Sub-)Skala		Spielfilme	Computerspiele	Bücher	Mediennutzung	Ablenkbarkeit
Spielfilme	Korrelation	1	0,180	0,634**	0,067	0,354
	Signifikanz	---	0,388	0,001	0,750	0,064
Computerspiele	Korrelation		1	- 0,198	- 0,049	-0,099
	Signifikanz		---	0,343	0,816	0,639
Bücher	Korrelation			1	0,335	0,367
	Signifikanz			---	0,102	0,071
Mediennutzung	Korrelation				1	0,125
	Signifikanz				---	0,553
Ablenkbarkeit	Korrelation					1
	Signifikanz					---
Präsenzbereitschaft (ges.)	Korrelation	0,840**	0,212	0,821**	0,412*	0,570**
	Signifikanz	0,000	0,309	0,000	0,041	0,003

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“: Die Ergebnisse ließen zunächst erkennen, daß es gelungen war, einen Fragebogen zu entwerfen, der eine insgesamt zufriedenstellende interne Konsistenz (im Sinne von Cronbach's α) aufweist. Darüber hinaus wurde in Bezug auf die Nutzung von und die Erfahrung mit Computerspielen festgestellt, daß eine „normale“ studentische Stichprobe Computerspiele allgemein weniger zu nutzen scheint als zuvor angenommen wurde. Demzufolge wurden eher wenige Präsenzerfahrungen aus dem Umgang mit Computerspielen berichtet. Für das Anliegen dieser Arbeit ergab sich daraus, daß der prädiktorische Wert des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ voraussichtlich im Wesentlichen auf Präsenzerfahrungen der Teilnehmer in Spielfilmen und mit Büchern beruhen würde. Die geringe interne Konsistenz der Skalen zur Mediennutzung und zur Nutzung von Computerspielen führt nicht zu deren Ausschluß. Denn die Skala zur Mediennutzung ergibt wichtige Informationen über die Nutzung der verschiedenen Medien, die

im Alltag weit verbreitet sind. Diese Information wird zur Interpretation der Vorerfahrungen der Teilnehmer mit Medien allgemein und zur Einordnung der unterschiedlichen Präsenzbereitschaft mit diesen Medien benötigt. Die Skala zur Nutzung von Computerspielen ist für das Anliegen dieser Arbeit insofern wichtig, als diese dem ausgewählten Untersuchungsmedium (d.h. eine PC-basierte virtuelle Umgebung) am ähnlichsten ist. Deswegen ist es notwendig, beide Skalen weiterhin zu berücksichtigen.

8.2.2 *Erweiterte Auswertung zur Reliabilität des Fragebogens zur Präsenzbereitschaft*

Im Vorgriff auf die Ergebnisse der zweiten Studie wurde die Reliabilitätsprüfung ausgeweitet und wird im folgenden anhand der vorliegenden Daten für die insgesamt vorhandenen 65 Versuchspersonen berichtet (25 Teilnehmer aus der Reliabilitätsprüfung und 40 Teilnehmer, die in der Auswertung der zweiten Studie berücksichtigt werden; vgl. Kapitel 8.3).

Ergebnisse zur erweiterten Reliabilitätsprüfung: Der Gesamtfragebogen „Präsenzbereitschaft“ erreichte einen Wert von $\alpha=0,76$ (vgl. Tabelle 35). Die einzelnen Subskalen ergeben unterschiedliche Konsistenzwerte: Die Skala zum Präsenzerleben in Spielfilmen erzielte eine interne Konsistenz von $\alpha=0,72$ und die Skala zum Präsenzerleben mit Büchern eine interne Konsistenz von $\alpha=0,80$. Die Skala zur Ablenkbarkeit durch Distraktoren erreichte eine interne Konsistenz von $\alpha=0,79$. Wesentlich geringer fiel die interne Konsistenz der Skala zur Mediennutzung ($\alpha=0,23$) und der Skala zum Präsenzerleben in Computerspielen ($\alpha=0,56$) aus. In beiden Fällen wurde dies darauf zurückgeführt, daß die Teilnehmer angaben, eher wenige Computerspiele zu spielen, so daß eine eher heterogene Mediennutzung festgestellt wurde.

Die Interkorrelationen der Subskalen untereinander und der Subskalen mit dem Gesamtfragebogen ließen erkennen, daß die Erfahrung von Präsenz in Computerspielen nicht signifikant mit den anderen Subskalen und auch nicht signifikant mit der Gesamtskala korreliert war (vgl. Tabelle 36). Die Korrelation zwischen den Subskalen zum Präsenzerleben in Spielfilmen und mit Büchern sank gegenüber dem Wert der Korrelation in der Reliabilitätsprüfung (vgl. Kapitel 8.2), war jedoch weiterhin signifikant.

Tabelle 35: Reliabilität des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ nach Reliabilitätsprüfung und Studie 2 (N=65).

(Sub-)Skala	Mittelwert	Standard- abweichung	Interne Konsis- tenz (Cronbach's α)
Spielfilme (5 Items)	16,03	5,73	0,72
Computerspiele (5 Items)	7,91	3,62	0,56
Bücher (5 Items)	20,94	6,42	0,80
Mediennutzung (3 Items)	12,09	2,97	0,23
Ablenkbarkeit (3 Items)	11,49	4,01	0,79
Präsenzbereitschaft (ges.; 21 Items)	68,64	13,58	0,76

Tabelle 36: Korrelationen der Subskalen und der Gesamtskala im Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ nach Reliabilitätsprüfung und Studie 2 (insgesamt N=65).

Skala		Spiel- filme	Compute- rspiele	Bücher	Medien- nutzung	Ablenkba- rkeit
Spielfilme	Korrelation	1	0,159	0,476**	0,109	0,075
	Signifikanz	---	n.s.	0,000	n.s.	n.s.
Computerspiele	Korrelation		1	0,026	0,005	0,006
	Signifikanz		---	n.s.	n.s.	n.s.
Bücher	Korrelation			1	0,306*	0,174
	Signifikanz			---	0,012	n.s.
Mediennutzung	Korrelation				1	0,058
	Signifikanz				---	n.s.
Ablenkbarkeit	Korrelation					1
	Signifikanz					---
Präsenzbereitschaft (ges.)	Korrelation	0,736**	0,349*	0,799**	0,428**	0,424**
	Signifikanz	0,000	0,004	0,000	0,000	0,00

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

8.2.3 Fazit der Reliabilitätsprüfung des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“

Die erweiterte Reliabilitätsprüfung des Fragebogens „Präsenzbereitschaft“ bestätigte die Ergebnisse der ersten Studie und ließ insgesamt eine zufriedenstellende interne Konsistenz (Cronbach's α) erkennen. Die geringe interne Konsistenz der Subskala zum Präsenzerleben in Computerspielen war aus der Analyse der Items zur Häufigkeit der Mediennutzung erklärbar, da die Teilnehmer insgesamt angaben, eher selten Computerspiele zu nutzen. Einerseits gelang es somit, ein reliables Messverfahren zur Erfassung von Vorerfahrungen zum Erleben von Präsenz mit verschiedenen Medientypen zu konstruieren. Andererseits wurde gerade die für den Ge-

genstand dieser Arbeit interessierende Vorerfahrung des Präsenzerlebens in Computerspielen nur in geringem Maße festgestellt. Entgegen allgemeiner Vermutungen war zumindest für die befragte studentische Stichprobe festzustellen, daß diese eher wenig Computerspiele und ähnliche Anwendungen zu benutzen scheinen.

Da in Studie 2 ebenfalls überwiegend studentische Versuchspersonen untersucht wurden, wurde nach den Ergebnissen der Reliabilitätsprüfung davon ausgegangen, daß die Verbreitung von Computerspielen insgesamt in studentischen Stichproben nicht übermäßig hoch ist. Insofern wurden die Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung als zuverlässig und repräsentativ für die in Studie 2 zu untersuchende Stichprobe gewertet. Diese Annahme wurde ergänzend mit den Ergebnissen der erweiterten Reliabilitätsprüfung bestätigt, die bereits die Versuchspersonen der zweiten Studie einschloß.

Allerdings folgte daraus eine gewisse Einschränkung, die sich aus dem Merkmal „geringe Erfahrung im Umgang mit Computerspielen“ der Stichprobe ergab. Denn im Verhältnis zu Büchern und Spielfilmen wäre eine höhere Übereinstimmung zwischen dem Erleben eines Computerspiels und dem Erleben einer virtuellen Umgebung zu erwarten gewesen. Diese Einschränkung wird in dieser Arbeit in der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sein.

8.3 Methoden

Die in der zweiten Studie untersuchte Stichprobe wird zunächst beschrieben. Die eingesetzten Messinstrumente zur Präsenzbereitschaft und zum Präsenzerleben werden kurz vorgestellt, da sie neben den bekannten Instrumenten aus Studie 1 zwei weitere Fragebögen umfassten (vgl. auch Kapitel 8.2). Dann wird die Reliabilität der erhobenen Daten betrachtet.

8.3.1 Stichprobe

An der zweiten Studie nahmen insgesamt 45 Personen teil. Für die Versuchsteilnahme erhielten die Probanden entweder eine Bescheinigung über die im Rahmen des Psychologiestudiums zu erbringenden Versuchspersonen-Stunden oder eine Vergütung von €15,--. Das Durchschnittsalter der Versuchspersonen belief sich auf 25,3 Jahre (Standardabweichung 5,6 Jahre). Der Anteil der weiblichen Versuchspersonen betrug 65% und der

Anteil der männlichen Versuchspersonen 35%. Die Mehrheit der Probanden waren Studierende (45% Hauptfach Psychologie; 50% andere Fächer); die restlichen 5% waren berufstätig oder Schulabgänger mit Abitur.

Nach der Datenerhebung wurden die Daten von vier Versuchspersonen aufgrund technischer Fehler und Probleme während der Interaktion mit der virtuellen Umgebung aus den Analysen ausgeschlossen. Eine weitere Versuchsperson brach die Untersuchung nach circa 15 Minuten auf eigenen Wunsch ab. Die verbliebenen 40 Versuchspersonen verteilten sich gleichmäßig auf die experimentellen Bedingungen in Studie 2, so daß in jeder der beiden Bedingungen 20 Probanden untersucht wurden.

8.3.2 *Messung der Präsenz*

In der zweiten Studie wurden folgende Fragebögen zur Erfassung von Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft eingesetzt:

- „PQ-Präsenzerleben“: derselbe Fragebogen wie in Studie 1, basierend auf dem *Presence Questionnaire* von Witmer & Singer (1998), bestehend aus 18 Items;
- Präsenzerleben: besteht aus 5 Items zum Präsenzerleben im Chemicus und 3 Items zur Ablenkbarkeit durch Distraktoren (vgl. Kapitel 8.4.1); erstellt nach der Vorlage des Fragebogens Präsenzbereitschaft;
- „ITQ-Präsenzbereitschaft“: derselbe Fragebogen wie in Studie 1, basierend auf dem *Immersion Tendency Questionnaire (ITQ)* von Witmer & Singer (1998), bestehend aus 18 Items;
- Präsenzbereitschaft: neu konzipierter Fragebogen zur Messung der Präsenzbereitschaft; der Fragebogen besteht aus 3 Skalen mit je 5 Items zu Präsenzerfahrungen mit Büchern, Spielfilmen und Computerspielen sowie 3 Items zur Mediennutzung und 3 Items zur Ablenkbarkeit durch Distraktoren; d.h. insgesamt 21 Items (vgl. Kapitel 8.2).

8.3.3 *Reliabilität der Daten*

Wie in Studie 1 wurden die eingesetzten Instrumente der Datenerhebung (d.h. die Fragebögen) und die Auswertung der erhobenen Testleistung-

gen (Vorwissen, Behalten und Verstehen) zunächst auf ihre Reliabilität hin überprüft.

Reliabilität der Fragebögen: Die Reliabilität der eingesetzten Instrumente zum Präsenzerleben und zur Präsenzbereitschaft sowie zum investierten mentalen Aufwand und zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand wurde als interne Konsistenz mit Cronbach's α der Fragebögen bestimmt (vgl. Krauth, 1995; Bortz, 1999 sowie Kapitel 7.2.2).

Im Falle des wie in Studie 1 gemessenen „PQ-Präsenzerlebens“ bzw. der „ITQ-Präsenzbereitschaft“ ergab sich eine interne Konsistenz von $\alpha=0,77$ für den Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ und von $\alpha=-0,21$ für den Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“. Zusätzlich wurden der neu erstellte Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ sowie der zu diesem parallelisierte Fragebogen „Präsenzerleben“ angewendet. Für diese Fragebögen wurde die interne Konsistenz mit $\alpha=0,69$ für den Fragebogen „Präsenzerleben“ und mit $\alpha=0,70$ für den Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ berechnet.

Für die Kontrollvariable mentaler Aufwand wurde die interne Konsistenz für den Fragebogen zum mentalen Aufwand mit $\alpha=0,65$ und für den Fragebogen zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand mit $\alpha=0,79$ bestimmt. Die interne Konsistenz des Fragebogens zur Kontrollvariable kognitive Belastung wurde mit $\alpha=0,76$ berechnet. Bis auf den Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ wurde somit für die eingesetzten Instrumente zufriedenstellende Reliabilitätswerte erzielt (vgl. Tabelle 37).

Tabelle 37: Vergleich der Reliabilität der Fragebögen in Studie 1 und Studie 2.

Fragebogen	Interne Konsistenz (α) in Studie 1	Interne Konsistenz (α) in Studie 2
PQ-Präsenzerleben	0,86	0,77
Präsenzerleben	---	0,70
ITQ-Präsenzbereitschaft	0,35	-0,21
Präsenzbereitschaft	---	0,69
Investierter Mentaler Aufwand	0,75	0,65
Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	0,81	0,79
Kognitive Belastung	---	0,76

Reliabilität der Maße zum Wissenserwerb: Die Auswertung der Items zum Chemie-Vorwissen und der Items aus den Tests zum Wissenserwerb erfolgte wie in Studie 1 durch zwei Personen. Dabei wurden zu jedem Item entweder 0, 1 oder 2 Punkte für keine/falsche Antwort (0 Punkte), un-

vollständige Antwort (1 Punkt) und vollständige Antwort (2 Punkte) vergeben. Im Falle divergenter Urteile wurden die abweichenden Fälle wiederum unabhängig von der vorherigen Beurteilung durch einen dritten Auswerter beurteilt. Die resultierende Bewertung bildete die Grundlage zur Berechnung der Summenscores aus den einzelnen Bewertungen. Die Inter-Rater-Reliabilität der Auswertung wurde wieder mit dem *gewichteten Kappa-Koeffizienten* (κ_w) für die Tests zum Chemie-Vorwissen, zur Behaltens- und zur Verstehensleistung berechnet (vgl. Kapitel 7.2.2 sowie Krauth, 1995).

Für die Auswertung der Daten zum *Chemie-Vorwissen* wurde die Inter-Rater-Reliabilität mit $\kappa_w = 0,89$ bestimmt. In der Auswertung der Daten zum Wissenserwerb wurde im Falle der *Behaltensleistung* eine Inter-Rater-Übereinstimmung von $\kappa_w = 0,94$ und im Falle der *Verstehensleistung* ein Wert von $\kappa_w = 0,81$ erreicht. Diese Werte lassen eine hohe Übereinstimmung der Auswerter erkennen.

8.4 Ergebnisse zur Immersion

Die Ergebnisse der zweiten Studie werden ausgehend von der Wirkung der Immersion auf das Präsenzerleben und einer Übersicht zu Effekten von Kontrollvariablen im Hinblick auf Auswirkungen der Immersion und des Präsenzerlebens auf Exploration und Wissenserwerb vorgestellt. Wegen der möglichen Bedeutung von Vorwissensunterschieden werden deren Auswirkungen in einem Exkurs genauer betrachtet.

8.4.1 Ergebnisse zum Präsenzerleben

Zunächst wurden die Werte zum Präsenzerleben, gemessen mit den Fragebögen „PQ-Präsenzerleben“ und Präsenzerleben ausgewertet. Nach dem Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ berichteten die Versuchspersonen ein mittleres Präsenzerleben von 62,75 Punkten (SD=13,15 Punkte) von 126 möglichen Punkten. Im Fragebogen zum „Präsenzerleben“ erzielten die Versuchspersonen einen mittleren Gesamtwert von 29,80 Punkten (SD=6,50 Punkte) von 56 möglichen Punkten für ihr Präsenzerleben im *Chemicus*. Für beide Fragebögen ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (vgl. Tabelle 38).

Die experimentelle Manipulation führte zu einem signifikanten Unterschied im subjektiven Präsenzerleben zwischen den beiden untersuchten Gruppen. Dieses Ergebnis wurde sowohl mit dem Fragebogen „PQ-Präsenzerleben“ als auch mit dem neu erstellten Fragebogen „Präsenzerleben“ erzielt. Innerhalb des Fragebogens „Präsenzerleben“ war vor allem die Subskala „Chemicus“ an diesem signifikanten Unterschied beteiligt. Die Subskala „Ablenkbarkeit durch Distraktoren“ wies hingegen keinen signifikanten Mittelwertsunterschied nach.

Tabelle 38: Präsenzerleben.

Fragebogen / Subskala		Mittelwert	Standard- abweichung	F-Wert	Sign.
Präsenzerleben	Immersion hoch	32,05	6,18	5,329	0,027
	Immersion niedrig	27,55	6,15		
	Gesamt	29,80	6,50		
Subskala Chemicus	Immersion hoch	15,85	5,56	5,660	0,022
	Immersion niedrig	12,15	4,18		
	Gesamt	14,00	5,20		
Subskala Ablenkbarkeit	Immersion hoch	16,20	3,17	0,529	n.s.
	Immersion niedrig	15,40	3,76		
	Gesamt	15,80	3,46		
„PQ-Präsenzerleben“	Immersion hoch	68,40	11,60	8,870	0,005
	Immersion niedrig	57,10	12,38		
	Gesamt	62,75	13,15		

8.4.2 Kontrollvariablen

Die Kontrollvariablen in Studie 2 umfassten die Präsenzbereitschaft, den investierten mentalen Aufwand, die kognitive Belastung, das Vorwissen der Teilnehmer zur Chemie und die Gesamtdauer des Aufenthaltes im *Chemicus*.

Präsenzbereitschaft: Die Kontrollvariable Präsenzbereitschaft wurde mit dem in Studie 1 eingesetzten Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ und dem neukonzipierten Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ ausgewertet.

Der Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ war identisch mit den Items der ersten Studie (9 Items; d.h. max. 63 Punkte). Der mittlere Gesamtwert des Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ betrug 33,45 Punkte (SD=3,57 Punkte). Die untersuchten Gruppen unterschieden sich weder mit dem Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ noch mit dem Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ signifikant in ihren Werten zur Präsenzbereitschaft (vgl. Tabelle 39).

Der Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ bestand aus 21 Items (vgl. Kapitel 8.2). Der erzielte mittlere Gesamtwert zum Fragebogen zur Präsenzbereitschaft erreichte 69,22 Punkte (SD=11,80 Punkte) von 147 Punkten. Nach dem Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ berichteten die Versuchspersonen ein mittleres Präsenzerleben in Spielfilmen von 16,45 Punkten (SD=5,57 Punkte), ein mittleres Präsenzerleben in Computerspielen von 8,03 Punkten (SD=3,39 Punkte), ein mittleres Präsenzerleben in Büchern von 20,90 Punkten (SD=5,55 Punkte). Die Items zur Ablenkbarkeit durch Distraktoren ergaben einen mittleren Wert von 11,60 Punkten (SD=4,41 Punkte). Die Items zur Nutzung der Medien erzielten einen mittleren Wert von 12,25 Punkten (SD=2,84 Punkte).

Der mögliche Zusammenhang zwischen den verwendeten Maßen zu Präsenzbereitschaft und Präsenzerleben wurde mit Korrelationen überprüft. Diese sind im Überblick in Tabelle 40 dargestellt. Entsprechend der Zielrichtung der Fragebögen wurden durchweg signifikante oder tendenziell signifikante Korrelationen aufgefunden. Die Korrelationen zwischen den Fragebögen „PQ-Präsenzerleben“ und Präsenzerleben ($r=0,614$) zwischen den Fragebögen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ und Präsenzbereitschaft ($r=0,595$) wurden signifikant und deuten von der Höhe ihres Zusammenhangs darauf hin, daß beide Maße (wie beabsichtigt) inhaltlich eng zusammenhängen.

Tabelle 39: Präsenzbereitschaft.

Fragebogen / Subskala		Mittelwert	Standard- abweichung	F-Wert	Sign.
Präsenzbereitschaft	Immersion hoch	69,80	10,85	0,093	n.s.
	Immersion niedrig	68,65	12,95		
	Gesamt	69,22	11,80		
Subskala Spielfilme	Immersion hoch	15,25	4,94	1,896	n.s.
	Immersion niedrig	17,65	6,03		
	Gesamt	16,45	5,57		
Subskala Computer- spiele	Immersion hoch	7,95	3,27	0,019	n.s.
	Immersion niedrig	8,10	3,60		
	Gesamt	8,03	3,39		
Subskala Bücher	Immersion hoch	21,75	5,29	0,938	n.s.
	Immersion niedrig	20,05	5,80		
	Gesamt	20,90	5,55		
Subskala Mediennut- zung	Immersion hoch	12,45	2,95	0,105	n.s.
	Immersion niedrig	12,05	2,78		
	Gesamt	12,25	2,84		
Subskala Ablenkbarkeit	Immersion hoch	12,40	3,89	1,329	n.s.
	Immersion niedrig	10,80	4,84		
	Gesamt	11,60	4,41		
„ITQ- Präsenzbereitschaft“	Immersion hoch	34,00	3,29	0,946	n.s.
	Immersion niedrig	32,90	3,84		
	Gesamt	33,45	3,57		

Tabelle 40: Korrelationen zwischen den Fragebögen zu Präsenzerleben und Präsenzbereitschaft.

Skala		Präsenz- erleben	“PQ-Präsenz- erleben”	Präsenz- bereitschaft	“ITQ-Präsenz- bereitschaft”
Präsenzerleben	Korrelation	1	0,614**	0,384*	0,303
	Signifikanz	---	0,000	0,014	(0,057)
“PQ-Präsenzerleben”	Korrelation		1	0,296	0,279
	Signifikanz		---	(0,064)	(0,081)
Präsenzbereitschaft	Korrelation			1	0,595**
	Signifikanz			---	0,000
“ITQ- Präsenzbereitschaft”	Korrelation				1
	Signifikanz				---

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Investierter mentaler Aufwand und kognitive Belastung: Die Werte zur allgemeinen Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand wurden vor (11 Items) und die Werte zum aktuellen mentalen Aufwand (4 Items) sowie die Werte zur kognitiven Belastung (2 Items) wurden nach der Bearbeitung der Aufgaben in der virtuellen Umgebung des *Chemicus* erhoben.

Die Versuchspersonen berichteten eine mittlere Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand von 46,95 Punkten (SD=8,66 Punkte) von maximal 77 Punkten, einen mittleren investierten mentalen Aufwand von 19,77 Punkten (SD=4,20 Punkte) von maximal 28 Punkten und eine mittlere kognitive Belastung von 9,75 Punkten (SD=2,79 Punkte) von maximal 14 Punkten. Die Unterschiede zwischen den Gruppen wurden nicht signifikant.

Der mögliche Zusammenhang zwischen den Skalen zum mentalen Aufwand und zur kognitiven Belastung wurde anhand von Korrelationen überprüft. Diese sind in Tabelle 42 im Überblick dargestellt. Die Korrelation zwischen dem investierten mentalen Aufwand und der kognitiven Belastung wurde signifikant.

Tabelle 41: Investierter mentaler Aufwand.

Skala		Mittelwert	Standard- abweichung	F-Wert	Sign.
Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	Immersion hoch	47,65	8,99	0,256	n.s.
	Immersion niedrig	46,25	8,49		
	Gesamt	46,95	8,66		
Investierter Mentaler Aufwand	Immersion hoch	19,85	4,25	0,012	n.s.
	Immersion niedrig	19,70	4,27		
	Gesamt	19,77	4,20		
Kognitive Belastung	Immersion hoch	9,40	2,84	0,624	n.s.
	Immersion niedrig	10,10	2,77		
	Gesamt	9,75	2,79		

Tabelle 42: Korrelationen zwischen den Variablen zum mentalen Aufwand und zur kognitiven Belastung.

Skala		Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	Investierter menta- ler Aufwand	Kognitive Belas- tung
Investitionsbereit- schaft für mentalen Aufwand	Korrelation	1	-0,084	-0,182
	Signifikanz	---	n.s.	n.s.
Investierter menta- ler Aufwand	Korrelation		1	0,441**
	Signifikanz		---	0,004
Kognitive Belas- tung	Korrelation			1
	Signifikanz			---

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Gesamtdauer im Chemicus: Die Gesamtdauer des Aufenthaltes im *Chemicus* wurde anhand der Nutzungsdaten bestimmt, die mit der Software Camtasia aufgezeichnet werden. Die Versuchspersonen hielten sich im arithmetischen Mittel für eine Dauer von 2414 Sekunden (SD=130 Sekunden) in der virtuellen Umgebung auf (bei einer Zeitvorgabe von 40 Minuten, also 2400 Sekunden). Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren tendenziell signifikant (vgl. Tabelle 43). Allerdings ist kaum zu erwarten, daß die im Verhältnis zum Gesamtwert eher geringe Ausprägung des zeitlichen Unterschieds eine inhaltliche Bedeutung mit sich bringen würde.

Tabelle 43: Gesamtdauer im Chemicus.

		Mittelwert	Standard- abwei- chung	F-Wert	Sign.
Gesamtdauer im Chemicus	Immersion hoch	2379 s	157 s	3,090	0,087
	Immersion niedrig	2449 s	84 s		
Gesamt		2414 s	130 s		

Chemie-Vorwissen: Im Fragebogen zum Chemie-Vorwissen erzielten die Versuchspersonen einen arithmetischen Mittelwert von 7,03 Punkten (SD=1,42) von 12 möglichen Punkten. Es zeigten sich tendenziell signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (vgl. Tabelle 44). Dabei ist erkennbar, daß die höheren Vorwissenswerte in der Experimentalgruppe unter der Bedingung niedriger Immersion auftraten.

Tabelle 44: Chemie-Vorwissen.

		Mittelwert	Standard- abwei- chung	F-Wert	Sign.
Chemie-Vorwissen	Immersion hoch	6,65	1,60	2,914	0,096
	Immersion niedrig	7,40	1,14		
Gesamt		7,03	1,42		

Ergebnisse zu den Kontrollvariablen: Die Ergebnisse zur Präsenzbereitschaft der Versuchspersonen ließen keine *a priori*-Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen erkennen. Sowohl die Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand als auch der tatsächlich investierte mentale Aufwand und die berichtete kognitive Belastung der Teilnehmer unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen. Somit konnte davon ausgegangen werden, daß die Interaktion mit beiden Umgebungen in vergleichbarem Maße zu einer mentalen Anstrengung und kognitiven Belastung führte.

Die Unterschiede in der Gesamtzeit im *Chemicus* und die Unterschiede im Chemie-Vorwissen wurden tendenziell signifikant. Da die Gruppenunterschiede in Bezug auf die Gesamtdauer im *Chemicus* eher gering im Verhältnis zur tatsächlichen Aufenthaltsdauer waren, wurde davon ausgegangen, daß diesem Unterschied keine weitere Bedeutung zukommt. Anders verhielt es sich im Falle des tendenziell signifikanten Unterschieds

im Chemie-Vorwissen zwischen den Gruppen. Wegen der höheren Plausibilität eines Einflusses von Vorwissensunterschieden wurde dieser Differenz in der Auswertung weitere Beachtung geschenkt.

8.4.3 Explorationsverhalten

Das Explorationsverhalten der Lerner wurde analog zu Studie 1 anhand der Maße zur inhaltlichen Exploration, zur zeitlichen Exploration und zur Explorationshäufigkeit ausgewertet. Die Lerninhalte wurden wiederum als „Informationsknoten“ betrachtet, um mit dem erfassten Ausmaß des Explorationsverhaltens eine Einordnung des Lernaufwands und Lernumfangs umzusetzen (vgl. Kapitel 2.3 und Kapitel 6.4.3). Die relativen Häufigkeiten zur inhaltlichen und zur zeitlichen Exploration wurden vor der varianzanalytischen Auswertung umgewandelt (Arcus-Sinus-Wurzel-Transformation; vgl. Kapitel 7.3.3).

Inhaltliche Exploration: Die Versuchspersonen erreichten im arithmetischen Mittel eine inhaltliche Exploration von 76,96 % (SD=13,19 Prozentpunkte). Die Versuchspersonen besuchten damit durchschnittlich rund 77% aller Informationsknoten. Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in ihrer inhaltlichen Exploration (vgl. Tabelle 45).

Zeitliche Exploration: Das arithmetische Mittel der zeitlichen Exploration lag bei 41,88 % (SD=6,48 Prozentpunkte). Die Versuchspersonen verbrachten also durchschnittlich rund 42% ihrer Gesamtzeit in der virtuellen Umgebung an den Informationsknoten. Die Unterschiede in der zeitlichen Exploration zwischen den Gruppen waren nicht signifikant (vgl. Tabelle 45).

Explorationshäufigkeit: Die Versuchspersonen suchten jeden Informationsknoten im arithmetischen Mittel 7,12mal (SD=2,43) auf. Die Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die Explorationshäufigkeit waren signifikant (vgl. Tabelle 45). Dieses Ergebnis weist darauf hin, daß die Informationsknoten bei höherer Immersion signifikant weniger aufgesucht wurden.

Zusammenhänge zwischen den Explorationsmaßen: Um die möglichen Zusammenhänge zwischen den Explorationsmaßen deutlicher herauszustellen, wurden Korrelationen berechnet. Diese sind in Tabelle 46 im Überblick dargestellt. Die Korrelation zwischen der zeitlichen und der in-

haltlichen Exploration wurde signifikant und die zwischen der inhaltlichen Exploration und der Explorationshäufigkeit wurde signifikant negativ. Diese Zusammenhänge deuten darauf hin, daß die zeitliche und inhaltliche Exploration der Benutzer miteinander korrespondieren, während sich die Explorationshäufigkeit und die inhaltliche Exploration gegenläufig verhalten.

Tabelle 45: Übersicht zum Explorationsverhalten.

		Mittelwert	Standard- abweichung	F-Wert	Sign.
Inhaltliche Explo- ration	Immersion hoch	77,14 %	14,58 %-Pt.	0,180	n.s.
	Immersion niedrig	76,79 %	12,01 %-Pt.		
	Gesamt	76,96 %	13,19 %-Pt.		
Zeitliche Exploration	Immersion hoch	41,09 %	7,5 %-Pt.	0,633	n.s.
	Immersion niedrig	42,67 %	5,35 %-Pt.		
	Gesamt	41,88%	6,48 %-Pt.		
Explorations- häufigkeit	Immersion hoch	6,08	1,95	8,770	0,005
	Immersion niedrig	8,16	2,45		
	Gesamt	7,12	2,43		

Tabelle 46: Korrelationen zwischen den Explorationsmaßen.

		Inhaltliche Exploration	Zeitliche Exploration	Explorationshäufigkeit
Inhaltliche Exploration	Korrelation	1	0,493**	- 0,530**
	Signifikanz	---	0,001	0,000
Zeitliche Exploration	Korrelation		1	-0,087
	Signifikanz		---	n.s.
Explorationshäufigkeit	Korrelation			1
	Signifikanz			---

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Ergebnisse zum Explorationsverhalten: Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht in ihrem inhaltlichen und zeitlichen Explorationsverhalten. Die Auswertung der zeitlichen Exploration ergab, daß 41,88 % der Gesamtzeit an den Informationsknoten verbracht wurde. Dieser Wert ist beinahe identisch mit dem Ergebnis der ersten Studie. Zur Häufigkeit der Exploration wurde ein signifikant negativer Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt, der zeigt, daß die Versuchspersonen in der Bedingung hoher Immersion die Informationsknoten signifikant weniger aufgesucht haben. In der Bedingung hoher Immersion wurden demnach gleichviel Lern-

inhalte exploriert, jedoch wurden diese seltener aufgesucht als in der Bedingung niedriger Immersion.

8.4.4 Wissenserwerb

Das erworbene Wissen wurde mit Wissenstests zu Behaltens- bzw. zu Verstehensleistungen erfasst. Die damit erhobenen Leistungen wurden zu Gesamtwerten „Behaltensleistung“ bzw. „Verstehensleistung“ zusammengefasst (jeweils absolute Punktwerte).

Behaltensleistung: Im Behaltenstest erzielten die Versuchspersonen einen arithmetischen Mittelwert von 8,07 Punkten (SD=3,58) bei 16 möglichen Punkten (vgl. Tabelle 47). Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Immersion als *between*-Faktor, Chemie-Vorwissen als Kovariate und Behaltensleistung als abhängiger Variable ergab einen tendenziell signifikanten Effekt der Immersion ($F=3,007$; $p=0,091$), jedoch keinen signifikanten Einfluß der Kovariate Chemie-Vorwissen.

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der Behaltensleistung und weiteren möglichen Einflussfaktoren berechnet, um mögliche Zusammenhänge aufzudecken. Die Korrelation der Behaltensleistung mit der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand wurde signifikant (vgl. Tabelle 48).

Tabelle 47: Behaltensleistung.

Variable / Ausprägung	Mittelwert	Standardabweichung
Behaltensleistung	Immersion hoch	8,90
	Immersion niedrig	7,25
Gesamt	8,07	3,58

Tabelle 48: Korrelationen mit der Behaltensleistung.

Fragebogen	Behaltensleistung	
	Korrelation	Signifikanz
Präsenzerleben	0,084	n.s.
„PQ-Präsenzerleben“	0,220	n.s.
Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	0,372*	0,018
Investierter mentaler Aufwand	-0,052	n.s.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig signifikant).

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig signifikant).

Verstehensleistung: Im Verstehenstest erreichten die Versuchspersonen einen arithmetischen Mittelwert von 4,55 Punkten (SD=3,69) von 20 möglichen Punkten (vgl. Tabelle 49). Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Immersion als *between*-Faktor, Chemie-Vorwissen als Kovariate und Verstehensleistung als abhängiger Variable zeigte einen tendenziell signifikanten Einfluß der Kovariate Chemie-Vorwissen ($F=3,675$; $p=0,063$) und keine weiteren signifikanten Ergebnisse. Die deskriptiv sichtbaren niedrigen Mittelwerte und die zusätzlich hohe Standardabweichung zur Verstehensleistung lassen für die Auswertung nur eine eingeschränkte Interpretation zu.

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der Verstehensleistung und anderen Variablen berechnet, um vorhandene Zusammenhänge zu bestimmen. Die Korrelation der Verstehensleistung mit der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand wurde signifikant (vgl. Tabelle 50).

Tabelle 49: Verstehensleistung.

Variable / Ausprägung	Mittelwert	Standardabweichung
Verstehensleistung	Immersion hoch	5,15
	Immersion niedrig	3,95
Gesamt	4,55	3,69

Tabelle 50: Korrelationen der Variablen mit der Verstehensleistung.

Fragebogen	Verstehensleistung	
	Korrelation	Signifikanz
Präsenzerleben	0,158	n.s.
„PQ-Präsenzerleben“	0,180	n.s.
Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	0,450**	0,004
Investierter mentaler Aufwand	-0,257	n.s.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig signifikant).

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig signifikant).

Einflüsse des Vorwissens: Um mögliche korrelative Zusammenhänge aufzudecken, die auf *a priori*-Unterschiede verweisen könnten, wurden die Korrelationen zwischen dem Chemie-Vorwissen, der Behaltensleistung und der Verstehensleistung bestimmt. Die Korrelation zwischen der Behaltensleistung und der Verstehensleistung war signifikant negativ (vgl. Tabelle

51). Es zeigte sich zu beiden Maßen kein korrelativer Zusammenhang mit dem Chemie-Vorwissen.

Tabelle 51: Korrelationen zwischen Vorwissen, Behalten und Verstehen.

		Chemie-Vorwissen	Behaltensleistung	Verstehensleistung
Chemie-Vorwissen	Korrelation	1	0,110	0,242
	Signifikanz	---	n.s.	n.s.
Behaltensleistung	Korrelation		1	- 0,647**
	Signifikanz		---	0,000
Verstehensleistung	Korrelation			1
	Signifikanz			---

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Ergebnisse zur Wirkung der Immersion: Die Wirkungen der Immersion ließen sich weder in Bezug auf die Behaltensleistung noch auf die Verstehensleistung nachweisen. Zwischen der Behaltensleistung und der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand sowie den Explorationsmaßen (inhaltliche und zeitliche Exploration sowie Explorationshäufigkeit) zeigten sich lediglich korrelative Zusammenhänge. Ähnlich waren zur Verstehensleistung korrelative Zusammenhänge zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand sowie der kognitiven Belastung und ebenfalls zu den Maßen der inhaltlichen und zeitlichen Exploration sowie zur Explorationshäufigkeit vorhanden.

8.4.5 Exkurs: Einfluß von Vorwissensunterschieden

Es konnte *a priori* nicht ausgeschlossen werden, daß Unterschiede im Chemie-Vorwissen einen Einfluß auf die Leistung im Wissenserwerbstest hatten. Deswegen wurde die Stichprobe mit Hilfe eines Median-Splits zum Chemie-Vorwissen geteilt (vgl. Tabelle 52).

Zunächst wurden die Unterschiede zwischen den mit Hilfe des Median-Splits zusammengestellten Gruppen geprüft. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Chemie-Vorwissen als abhängiger Variable sowie dem Split-Faktor Vorwissen und Immersion als *between*-Faktoren erbrachte einen signifikanten Einfluß des Split-Faktors Vorwissen ($F=40,360$; $p=0,000$) und keine weiteren signifikanten Einflüsse. Demnach konnten die

Versuchspersonen erfolgreich nach ihrem Vorwissen in unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden.

Tabelle 52: Verteilung der Versuchspersonen auf die Gruppen nach Median-Split zum Chemie-Vorwissen.

Variable / Ausprägung		Zellbesetzung nach Median-Split
Chemie-Vorwissen hoch	Immersion hoch	8
	Immersion niedrig	12
Chemie-Vorwissen niedrig	Immersion hoch	12
	Immersion niedrig	8
Gesamt		40

Tabelle 53: Chemie-Vorwissen nach Median-Split.

Variable / Ausprägung		Chemie-Vorwissen		Gesamt	
		Mittelwert	Standard-abweichung	Mittelwert	Standard-abweichung
Chemie-Vorwissen hoch	Immersion hoch	8,13	0,83	8,05	0,89
	Immersion niedrig	8,00	0,95		
Chemie-Vorwissen niedrig	Immersion hoch	5,67	1,15	6,00	1,08
	Immersion niedrig	6,50	0,76		
Gesamt		7,03	1,42		

Wirkung des Chemie-Vorwissens auf die Behaltensleistung: In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Behaltensleistung als abhängiger Variable sowie dem Split-Faktor Vorwissen und Immersion als *between*-Faktoren wurde ein signifikanter Einfluß des Split-Faktors Vorwissen ($F=4,657$; $p=0,038$) und ein tendenziell signifikanter Einfluß des Faktors Immersion ($F=3,728$; $p=0,061$) festgestellt. Demnach wird ersichtlich, daß eine höhere Immersion zu einer höheren Behaltensleistung beiträgt, wenn das Vorwissen der Probanden berücksichtigt wird.

Wirkung des Chemie-Vorwissens auf die Verstehensleistung: Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Verstehensleistung als abhängiger Variable sowie dem Split-Faktor Vorwissen und Immersion als *between*-Faktoren ergab einen signifikanten Einfluß des Split-Faktors Vorwissen ($F=9,198$; $p=0,004$) und einen tendenziell signifikanten Einfluß des Faktors Immersion ($F=2,956$; $p=0,094$). Eine Wirkung der Immersion auf die Ver-

stehensleistung ist demnach feststellbar, wenn das Vorwissen berücksichtigt wird.

Tabelle 54: Behaltensleistung nach Median-Split zum Chemie-Vorwissen.

Variable / Ausprägung		Behaltensleistung		Gesamt	
		Mittelwert	Standard-abwei-chung	Mittelwert	Standard-abwei-chung
Chemie-Vorwissen hoch	Immersion hoch	10,50	3,07	9,05	3,75
	Immersion niedrig	8,08	3,96		
Chemie-Vorwissen niedrig	Immersion hoch	7,83	3,64	7,10	3,21
	Immersion niedrig	6,00	2,20		
Gesamt		8,07	3,58		

Tabelle 55: Verstehensleistung nach Median-Split zum Chemie-Vorwissen

Variable / Ausprägung		Verstehensleistung		Gesamt	
		Mittelwert	Standard-abwei-chung	Mittelwert	Standard-abwei-chung
Chemie-Vorwissen hoch	Immersion hoch	7,75	5,99	6,00	4,42
	Immersion niedrig	4,83	2,69		
Chemie-Vorwissen niedrig	Immersion hoch	3,42	2,35	3,10	1,97
	Immersion niedrig	2,63	1,19		
Gesamt		4,55	3,69		

Vorwissensunterschiede und Wissenserwerb: Unter Berücksichtigung der Vorwissensunterschiede zeigten sich tendenziell signifikante Unterschiede in der Behaltens- und in der Verstehensleistung, die auf die experimentelle Manipulation der Immersion zurückzuführen sind. Allerdings war die Verstehensleistung insgesamt eher als gering einzuordnen und zusammen mit der eher hohen Standardabweichung der Verteilung war nicht eindeutig erkennbar, ob *a priori* vorhandene Unterschiede die Verstehensleistung beeinflusst haben.

8.5 Ergebnisse zur Präsenz

Um zu untersuchen, inwieweit das subjektive Präsenzerleben oder die Immersion der virtuellen Umgebung einen stärkeren Einfluß auf die Leistung in den Wissenserwerbstests haben, wurde die Stichprobe mit Hilfe eines Median-Splits zum Präsenzerleben geteilt. Hierzu wurden die Werte aus dem Fragebogen „Präsenzerleben“ verwendet. Es wurde nur dieses Maß eingesetzt, da die Reliabilität des Fragebogens „Präsenzerleben“ im Verbund mit dem zugehörigen Fragebogen „Präsenzbereitschaft“ eine verlässlichere Basis zur Interpretation der Ergebnisse abgab. Die Fragebögen „PQ-Präsenzerleben“ und „ITQ-Präsenzbereitschaft“ hingegen waren weniger gut und vergleichbar strukturiert, und gerade der Fragebogen „ITQ-Präsenzbereitschaft“ zeigte deutliche Reliabilitätsmängel. Nach dem Median-Split zum Präsenzerleben konnten eine gleichstarke Verteilung der Versuchspersonen auf die beiden Gruppen erzielt werden.

8.5.1 Rekonstruktion

Zunächst wurde die Gruppeneinteilung überprüft, die sich durch den Median-Split zum Präsenzerleben ergab (vgl. Tabelle 56). Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Präsenzerleben als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor erbrachte einen signifikanten Einfluß des Split-Faktors Präsenzerleben ($F=27,340$; $p=0,000$). Die rekonstruierten Gruppen unterscheiden sich demnach im Präsenzerleben.

Tabelle 56: Präsenzerleben nach Median-Split zum Fragebogen „Präsenzerleben“.

Variable / Ausprägung	Präsenzerleben	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	33,95	4,01
Präsenzerleben niedrig	25,65	5,86
Gesamt	29,80	6,50

8.5.2 Kontrollvariablen

Die möglichen Einflüsse der Kontrollvariablen wurden ebenfalls für die mit dem Median-Split gebildete Datenmatrix überprüft, um festzustel-

len, ob die Kontrollvariablen mit dem Präsenzerleben der Lerner interagiert oder den Lernprozess und das Explorationsverhalten beeinflusst haben.

Präsenzbereitschaft: Die Werte zur Präsenzbereitschaft unterscheiden sich deskriptiv deutlich zwischen den Gruppen mit hohem bzw. niedrigem Präsenzerleben (vgl. Tabelle 57). Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Präsenzbereitschaft als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor ergab einen signifikanten Einfluß des Split-Faktors Präsenzerleben ($F=10,267$; $p=003$). Dies lässt erkennen, daß sich die persönliche Bereitschaft und zum Erleben von Präsenz signifikant auf das aktuelle Präsenzerleben auswirkte.

Tabelle 57: Präsenzbereitschaft nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Präsenzbereitschaft	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	74,60	11,39
Präsenzerleben niedrig	63,85	9,77
Gesamt	69,22	11,80

Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand: Die Werte der Lerner zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand sind in Tabelle 58 dargestellt. Mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor wurden keine signifikanten Effekte festgestellt ($F=0,379$, n.s.). Die Gruppen unterschieden sich demnach nicht in der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand.

Tabelle 58: Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	47,80	7,78
Präsenzerleben niedrig	46,10	9,59
Gesamt	46,95	8,66

Investierter Mentaler Aufwand: Die Werte zum investierten mentalen Aufwand lassen nur geringfügige Unterschiede zwischen den Gruppen erkennen (vgl. Tabelle 59). Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit investiertem mentalen Aufwand als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor erbrachte keine signifikanten Effekte ($F=1,373$, n.s.). Demnach unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant in ihrem investierten mentalen Aufwand.

Tabelle 59: Investierter mentaler Aufwand nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Investierter mentaler Aufwand	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	20,55	4,37
Präsenzerleben niedrig	19,00	3,99
Gesamt	19,77	4,20

Kognitive Belastung: Deskriptiv sind Unterschiede in der wahrgenommenen kognitiven Belastung zwischen den Gruppen zu erkennen, wie sie in Tabelle 60 dargestellt sind. Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit kognitiver Belastung als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor zeigte keine signifikanten Effekte. Dies zeigt, daß sich die Gruppen nicht in der kognitiven Belastung unterscheiden.

Tabelle 60: Kognitive Belastung nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Kognitive Belastung	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	9,75	2,67
Präsenzerleben niedrig	9,75	2,97
Gesamt	9,75	2,79

Chemie-Vorwissen: Die Werte zum Chemie-Vorwissen sind in Tabelle 61 dargestellt. Mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Chemie-Vorwissen als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor wurde kein signifikanter Einfluß des Split-Faktors

Präsenzerleben ($F=1,945$; n.s.) nachgewiesen. Demnach trat in den Gruppen kein signifikant verändertes Präsenzerleben auf.

Tabelle 61: Chemie-Vorwissen nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Chemie-Vorwissen	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	7,25	1,52
Präsenzerleben niedrig	6,60	1,43
Gesamt	6,93	1,49

Gesamtdauer im Chemicus: Die Werte zur Gesamtdauer im *Chemicus* sind in Tabelle 62 präsentiert. Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Präsenzerleben als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor erbrachte keine signifikanten Effekte ($F=0,598$, n.s.). Demnach zeigt sich kein signifikanter Einfluß des Präsenzerlebens auf die Verweildauer in der virtuellen Umgebung.

Tabelle 62: Gesamtdauer im *Chemicus* nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Gesamtdauer im <i>Chemicus</i>	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	2430 s	62 s
Präsenzerleben niedrig	2398 s	174 s
Gesamt	2414 s	130 s

Ergebnisse zu den Kontrollvariablen: Zusammengefasst lassen sich nur Wirkungen der Präsenzbereitschaft auf das Präsenzerleben feststellen. Die weiteren Variablen unterscheiden sich nicht zwischen den Gruppen mit hohem und niedrigem Präsenzerleben.

8.5.3 Explorationsverhalten

Das Explorationsverhalten wurde wiederum in den Bereichen der inhaltlichen Exploration, der zeitlichen Exploration und der Explorationshäufigkeit betrachtet. Die relativen Häufigkeiten zur inhaltlichen und zur zeitlichen Exploration wurden vor der varianzanalytischen Auswertung umgewandelt (Arcus-Sinus-Wurzel-Transformation; vgl. Kapitel 7.3.3).

Inhaltliche Exploration: Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit inhaltlicher Exploration als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor ergab keinen signifikanten Effekt ($F=0,245$, n.s.; vgl. Tabelle 63).

Tabelle 63: Inhaltliche Exploration nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Inhaltliche Exploration	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	75,71 %	13,19 %-Pt.
Präsenzerleben niedrig	78,21 %	13,41 %-Pt.
Gesamt	76,96 %	13,19 %-Pt.

Zeitliche Exploration: Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit zeitlicher Exploration als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor zeigte keinen signifikanten Effekt ($F=0,365$, n.s.; vgl. Tabelle 64).

Tabelle 64: Zeitliche Exploration nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Zeitliche Exploration	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	41,09 %	7,50 %-Pt.
Präsenzerleben niedrig	42,67 %	5,35 %-Pt.
Gesamt	41,88 %	6,48 %-Pt.

Explorationshäufigkeit: In einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Explorationshäufigkeit als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor wurden kein signifikanter Effekt festgestellt (vgl. Tabelle 65).

Tabelle 65: Explorationshäufigkeit nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Explorationshäufigkeit	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	7,36	2,37
Präsenzerleben niedrig	6,87	2,52
Gesamt	7,12	2,43

8.5.4 Wissenserwerb

Die Wirkung des Präsenzerlebens auf die Wissenserwerbsleistung wurde wie bisher getrennt nach Behaltensleistung und Verstehensleistung untersucht.

Behaltensleistung: Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Behaltensleistung als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor ergab keinen signifikanten Einfluß des Split-Faktors Präsenzerleben ($F=0,093$; n.s.).

Tabelle 66: Behaltensleistung nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Behaltensleistung	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	8,25	3,89
Präsenzerleben niedrig	7,90	3,34
Gesamt	8,07	3,58

Verstehensleistung: Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Verstehensleistung als abhängiger Variable und dem Split-Faktor Präsenzerleben als *between*-Faktor zeigte keinen signifikanten Einfluß des Split-Faktors Präsenzerleben ($F=0,888$; n.s.; vgl. Tabelle 67).

Tabelle 67: Verstehensleistung nach Median-Split zum Präsenzerleben.

Variable / Ausprägung	Verstehensleistung	
	Mittelwert	Standardabweichung
Präsenzerleben hoch	5,10	4,77
Präsenzerleben niedrig	4,00	2,13
Gesamt	4,55	3,69

Ergebnisse zur Wirkung der Präsenz: Die Ergebnisse zum Median-Split mit den Werten des Fragebogens „Präsenzerleben“ lassen erkennen, daß Unterschiede im Präsenzerleben keine eindeutige Wirkung auf das Explorationsverhalten oder den Wissenserwerb haben. Die Auswertung des Explorationsverhaltens ergab keine Hinweise darauf, daß sich das Präsenzerleben auf die Exploration auswirkt. Beim Wissenserwerb lassen weder

die Ergebnisse zur Behaltensleistung noch zur Verstehensleistung einen signifikanten Einfluß des Präsenzerlebens erkennen. Die Interpretation der Ergebnisse zum Wissenserwerb wird allerdings dadurch erschwert, daß die erhobenen Werte zur Verstehensleistung eine adäquate Interpretation erschweren.

8.6 Fazit zu Studie 2

Die zweite Studie hatte zwei Ziele: Erstens sollte das Verhältnis zwischen Immersion und Präsenzerleben und deren Wirkung auf Prozesse und Leistungen im Wissenserwerb genauer betrachtet werden, als dies nach den Ergebnissen der ersten Studie möglich war. Hierzu wurde eine maximale Variation der Immersion zwischen zwei inhaltlich identischen virtuellen Umgebungen angestrebt und untersucht, wie sich diese Manipulation auf Explorationsverhalten und Wissenserwerb auswirkt. Zweitens war beabsichtigt, die Prozessanteile der angenommenen vermittelnden Variablen des Explorationsverhaltens in Verbindung mit den Faktoren der Immersion und des Präsenzerlebens und der damit verbundenen Wirkung auf die Wissenserwerbsleistungen genauer einzuordnen. Die allgemeinen Hypothesen (vgl. Kapitel 5) wurden nach den Ergebnissen der ersten Studie unverändert gelassen, um mit den Ergebnissen beider Studien eine Aussage zu ihrem Bestätigungsgrad zu erzielen (vgl. Kapitel 9).

Hypothesen zur Immersion: Die erwarteten Effekte einer hohen Immersion sollten in einem höheren Präsenzerleben (H1) sowie in intensiverer Exploration (H2) liegen. Eine höhere Immersion sollte zu einer höheren Behaltensleistung (H3) und zu einer höheren Verstehensleistung (H4) führen.

Ergebnisse zur Immersion (vgl. Tabelle 68): Es wurde sichtbar, daß die experimentelle Manipulation der Immersion das Präsenzerleben signifikant beeinflusste. Dies wurde für beide Messinstrumente (Fragebögen „PQ-Präsenzerleben“ und „Präsenzerleben“) festgestellt. Damit kann Hypothese H1 als bestätigt angesehen werden. Eine Wirkung der Immersion auf die inhaltliche und zeitliche Exploration konnte nicht nachgewiesen werden. Die experimentellen Gruppen unterschieden sich in der festgestellten Explorationshäufigkeit, die für die Bedingung hoher Immersion signifikant niedriger ausfiel. Damit kann Hypothese H2 als nicht-bestätigt eingeordnet

werden. In Bezug auf den Wissenserwerb sind tendenziell signifikante Vorwissensunterschiede zu berücksichtigen. Unter Berücksichtigung dieser Vorwissensunterschiede ergeben sich in eher geringem Umfang Einflüsse des Faktors Immersion auf die Behaltensleistung und auf die Verstehensleistung. Für den Einfluß der Immersion auf den Wissenserwerb können deshalb die Hypothese H3 und H4 als bedingt-bestätigt angesehen werden.

Tabelle 68: Überblick zu Ergebnissen in Studie 2.

Hypothese	Ergebnis
1. Höhere Immersion führt zu höherer Präsenz	Bestätigt
2. Höhere Immersion führt zu intensiverer Exploration	Nicht-Bestätigt
3. Höhere Immersion führt zu höherer Behaltensleistung	Bedingt-Bestätigt
4. Höhere Immersion führt zu höherer Verstehensleistung	Bedingt-Bestätigt
5. Höhere Präsenzbereitschaft führt zu höherer Präsenz	Bestätigt
6. Höhere Präsenz führt zu intensiverer Exploration	Nicht-Bestätigt
7. Höhere Präsenz führt zu höherer Behaltensleistung	Nicht-Bestätigt
8. Höhere Präsenz führt zu höherer Verstehensleistung	Nicht-Bestätigt

Hypothesen zur Präsenz: Für die erlebte Präsenz der Teilnehmer wurde erwartet, daß ein hohes Präsenzerleben mit einer höheren Präsenzbereitschaft verbunden sei (H5). Wirkungen des Präsenzerlebens sollten sich in einer intensiveren Exploration (H6) zeigen. Für den Wissenserwerb wurde erwartet, daß höheres Präsenzerleben zu einer höheren Behaltensleistung (H7) und zu einer höheren Verstehensleistung (H8) beiträgt.

Ergebnisse zur Präsenz (vgl. Tabelle 68): Es konnte gezeigt werden, daß sich die Werte im Fragebogen zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“ tendenziell signifikant auf das subjektive „PQ-Präsenzerleben“ und die Werte im Fragebogen Präsenzbereitschaft sich signifikant auf die Werte im Fragebogen Präsenzerleben auswirkten. Damit wird Hypothese H5 als bestätigt angesehen. Zum Explorationsverhalten konnte keine Wirkung des Präsenzerlebens auf die inhaltliche und zeitliche Exploration oder die Explorationshäufigkeit nachgewiesen werden. Deswegen kann Hypothese H6 als nicht-bestätigt angesehen werden.

Für den Wissenserwerb konnten weder signifikante Einflüsse auf die Behaltensleistung noch auf die Verstehensleistung gezeigt werden. Insofern können die Hypothesen H7 und H8 als nicht-bestätigt angesehen werden.

Diskussion der Ergebnisse: Die erwarteten Ergebnisse sind somit nur in geringem Umfang eingetroffen. Die Ergebnisse der zweiten Studie zeigen, daß:

- es gelungen ist, durch die experimentelle Manipulation der Immersion zwischen der virtuellen Umgebung *Chemicus* und der Parallelumgebung einen signifikanten Unterschied im subjektiven Präsenzerleben zwischen den beiden untersuchten Gruppen zu erreichen; damit konnten deutliche Unterschiede im Präsenzerleben innerhalb eines Mediums durch eine Variation der Immersion erzeugt werden;
- die verwendeten Fragebögen Präsenzbereitschaft und „ITQ-Präsenzbereitschaft“ sowie „PQ-Präsenzerleben“ und Präsenzerleben erwartungsgemäß in ähnlicher Weise die zugrunde liegenden Konstrukte erfassen, die Reliabilität des Fragebogens „ITQ-Präsenzbereitschaft“ erwies sich wiederum als nicht ausreichend;
- Unterschiede im Präsenzerleben auf personal stabilen Attributen basieren, die sich in den Aspekten der Präsenzbereitschaft und in Vorwissensunterschieden zeigen lassen;
- eine höhere Immersion die Behaltensleistung und die Verstehensleistung in eher geringem Umfang beeinflusst, wobei Vorwissensunterschieden eine wichtige Rolle zukommt (die insgesamt eher geringen Verstehensleistungen lassen allerdings nur eine sehr deutlich eingeschränkte Interpretation zu);
- ein höheres Präsenzerleben weder die Behaltensleistung noch die Verstehensleistung signifikant beeinflusste;
- sich Zusammenhänge zwischen dem Explorationsverhalten der Benutzer und der Wissenserwerbsleistung nachweisen lassen;
- die erhobenen Kontrollvariablen (bis auf das Vorwissen) erwartungsgemäß keine wesentlichen Einflüsse auf den Explorationsprozess oder die erhobenen Maße des Wissenserwerbs zeigen.

Eine deutliche Einschränkung ergibt sich für einen Befund, der zunächst deutlich im Widerspruch zur existierenden Empirie zu stehen scheint. Denn in dieser Studie wurde eine signifikant negative Korrelation zwischen Behalten und Verstehen gefunden. Jedoch sind die Verstehensleistungen insgesamt sehr gering ausgefallen und weisen zudem noch eine sehr hohe Streuung auf. Vielmehr ist ergänzend darauf hinzuweisen, daß die Experimentalgruppe mit der niedrigeren Immersion höhere Vorwissenwerte aufweist als die Gruppe mit höherer Immersion. Deswegen kann die theoretisch gut begründete und empirisch gut bestätigte Annahme, daß Behalten als Voraussetzung für Verstehen angesehen wird, nicht mit diesem Befund infrage gestellt werden. Auf weitergehende Interpretationen zum Zustandekommen der Verstehensleistung wird deswegen verzichtet.

Der Zusammenhang zwischen Behaltens- und Verstehensleistung und der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand deutet darauf hin, daß *a priori*-Unterschiede in der Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand am resultierenden Wissenserwerb beteiligt sein könnten. Allerdings zeigen sich keine Unterschiede im berichteten investierten mentalen Aufwand. Dies könnte auf ein Problem der verwendeten Messverfahren (Selbstauskünfte) zurückzuführen sein, die nur den subjektiv wahrgenommenen mentalen Aufwand erfassen, jedoch nicht die im Verlauf konkret aufgewendete mentale Anstrengung. Um dies genauer zu prüfen, wäre ein objektivierbares Maß für den mentalen Aufwand zu finden und in vergleichbaren Studien einzusetzen. Bislang wurde dies häufig im Sinne eines Experiments im *dual-task*-Paradigma versucht, was jedoch im Falle eines Phänomens wie dem Präsenzerleben zu Inferenzen im Sinne eines *attention-split* führen könnte, die explizit zu berücksichtigen und gesondert zu untersuchen wären.

Ergänzend zu den inhaltlichen Ergebnissen der Untersuchung lassen sich wichtige Hinweise zur Optimierung der Messverfahren zur Erfassung der Präsenzbereitschaft und des Präsenzerlebens aus der Analyse der Reliabilität der eingesetzten Messinstrumente sowie der festgestellten korrelativen Zusammenhänge ableiten. Insbesondere die neu konzipierten Fragebögen Präsenzbereitschaft und Präsenzerleben haben sich als reliable Messinstrumente bewährt. Der gemeinsame Einsatz der beiden Fragebögen ermöglicht es, das Phänomen „Präsenzerleben“ auf Basis von Alltagserfahrungen mit verschiedenen Medien zu messen. Damit werden auch Verglei-

che zwischen dem Erleben in unterschiedlichen Medien möglich – unabhängig von deren technischer Basis oder ihrer konkreten Gestaltung.

Wie bereits in Studie 1 konnte in Studie 2 gezeigt werden, daß sich der postulierte Effekt der Immersion auf das Präsenzerleben bestätigt. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen, die in der Literatur berichtet werden (u.a. von Mania & Chalmers, 2001 und Moreno und Mayer, 2002; vgl. Kap. 2.5).

Anders sieht es hingegen mit der erwarteten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen aus. Der postulierte Effekt der Immersion auf den Wissenserwerb, der unter anderem nach den Ergebnissen von Mania und Chalmers (2001) zu erwarten war, konnte in der zweiten Studie nicht belegt werden (vgl. Kapitel 2.5). Vielmehr wurden eher die Ergebnisse von Moreno und Mayer (2002) bestätigt, die zeigen konnten, daß Lerner in einer höher-immersiven virtuellen Umgebung, *nicht in jedem Fall* ein besseres Lernergebnis aufweisen. Während Mania und Chalmers (2001) sowie Moreno und Mayer (2002) ihre Ergebnisse durch einen Vergleich verschiedener Medien (*desktop-PC* und *Head-Mounted-Display*) erzielt haben, wurde in dieser Arbeit die Variation der Immersion innerhalb eines Mediums vorgenommen.

Besondere Bedeutung für die effektive Nutzung virtueller Umgebungen erlangen anscheinend Vorwissensunterschiede der Lerner. Dies steht im Einklang mit den Befunden von Antonietti et al. (2001; vgl. Kapitel 2.5) nach denen für Novizen und Experten eine unterschiedliche Nutzung virtueller Umgebungen sinnvoll ist. Demnach können Experten Informationen auch ohne explizite Referenzpunkte verarbeiten, da sie bereits vorhandenes Wissen zur Strukturierung der Inhalte nutzen. Novizen hingegen fehlt diese eigene Strukturierungsmöglichkeit des Lernmaterials (Antonietti et al., 2001). Nach den Untersuchungsergebnissen der zweiten Studie ist, wenn überhaupt, von einer deutlich eingeschränkten Wirkung der Immersion auf den Wissenserwerb auszugehen.

Da gerade die erhobenen Verstehensleistungen eher gering ausfielen, wäre es möglich, daß das Vorwissen der Teilnehmer nicht ausreichte, um die Lerninhalte in der virtuellen Umgebung zu erlernen. Dies könnte zur Folge gehabt haben, daß der Lerninhalt die Teilnehmer überfordert hat. Allerdings handelt es sich um Lerninhalte, die üblicherweise im Schulunter-

richt der Jahrgangsstufen 10 und 11 behandelt werden. Zudem wurde die virtuelle Umgebung *Chemicus* vom Lerninhalt wie von dessen didaktischen Aufbereitung explizit auf eine jugendliche Zielgruppe hin ausgerichtet (und die untersuchte Stichprobe waren durchweg junge Erwachsene). Ebenfalls deuten die erhobenen Werte im Vorwissenstest nicht auf ein zu niedriges Vorwissen hin. Jedoch konnte dieses anscheinend nicht adäquat eingesetzt werden. Hieraus ergibt sich der Ansatzpunkt, den Faktor „Vorwissen“ im Zusammenspiel mit der Wirkung eines Mediums auf den Wissenserwerb mit verschiedenen Lerninhalten und mit verschiedenen Medien noch genauer zu untersuchen, um zu bestimmen, wann mediale Faktoren und wann Wissensunterschiede zu einem Lernerfolg beitragen.

Die bislang kaum untersuchte, jedoch theoretisch erwartete lernförderliche Wirkung eines hohen Präsenzerlebens konnte nach den Ergebnissen der zweiten Studie nicht belegt werden. Grundsätzlich ließen sich keine Effekte des Präsenzerlebens auf das Explorationsverhalten oder auf den Wissenserwerb in nennenswertem Umfang nachweisen. Ähnliche Ergebnisse sind von Moreno und Mayer (2002) als indirekten Beleg für einen negativen Einfluss des Präsenzerlebens auf den Lernerfolg gewertet worden. Denn in einer anderen Untersuchung konnten Moreno und Mayer (2000) zeigen, daß Darbietung atmosphärischer Geräusche in einer multimedialen Lernumgebung den Lernerfolg beeinträchtigt. Dies würde für die Ergebnisse der vorliegenden Studie bedeuten, daß sich die aufwendigere Gestaltung des *Chemicus*-Originals zur Erzeugung höherer Immersion nicht auf die konkreten Wissenserwerbsleistungen ausgewirkt hat.

Welche Bedeutung die Ergebnisse aus beiden Studien für die Beurteilung der erwarteten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen besitzen, wird im abschließenden Ausblick diskutiert.

9 Diskussion und Ausblick: Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen

Die Untersuchung von kognitiven Lernprozessen im Umgang mit virtuellen Umgebungen kann nicht als abgeschlossen betrachtet werden. In der Einleitung dieser Arbeit wurde ein Szenario entworfen, in dem unser Protagonist „Martin“ in einer virtualisierten Lebenswelt lernt und arbeitet. Die Realisierung einer solcherart virtuellen Umgebung wird wohl noch in einer fernen Zukunft liegen. Dennoch werden für die skizzierten technischen Entwicklungen neue Anwendungsfelder gesucht und erschlossen. Mit dem rasanten Einzug der Informationstechnik in den Alltag werden solche Szenarien durchaus denkbar – auch wenn sie nicht in einer heute vorstellbaren Form eintreten. Um das Potential des Mediums „virtuelle Umgebung“ zu nutzen, sollten deshalb - wie in dieser Arbeit geschehen - dessen Chancen und Grenzen gezielt untersucht werden, um die Erkenntnisse zur Optimierung der Lernprozesse in virtuellen Umgebungen einzusetzen.

In Kapitel 1 und Kapitel 2 wurde ausführlich dargestellt, welche Anwendungsfelder sich für virtuelle Umgebungen bieten und auf welche Weise ein Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen ermöglicht und unterstützt werden soll. Den Ansatzpunkt der durchgeführten Untersuchungen bildete ein in der Literatur ausführlich und in vielerlei Form beschriebenes Phänomen – das Erleben von „Präsenz“ (vgl. Kapitel 3). Viele Forscher und Entwickler berichten, daß sie und andere Personen in immersiven Umgebungen eine Erfahrung des „*Being There*“ hatten, daß sie sich in der virtuellen Umgebung „präsent“ erlebt haben. Jedoch konnte bislang nicht ausreichend belegt werden, daß ein Präsenzerleben eine positive Wirkung auf kognitive Lernprozesse hat. Durch eine Fokussierung auf die Bedeutung kognitiver Lernprozesse konnte in Kapitel 4 eine Spezifizierung der kognitiven Anforderungen geleistet werden, die mit den Prozessen des Wissenserwerbs in virtuellen Umgebungen verbunden sind. Die spezifischen Besonderheiten des Mediums „virtuelle Umgebung“ und des Erlebens der Lerner darin sowie die kognitiven Prozesse des Wissenserwerbs bildeten die Basis zur Ableitung der Forschungshypothesen (vgl. Kapitel 5), die geeignet erscheinen, den Beitrag virtueller Umgebungen zum Wissenserwerb

zu bestimmen. Die Auswahl der virtuellen Versuchsumgebungen und die Durchführung der beiden Studien baute auf den vorherigen Überlegungen und den dadurch entstehenden Rahmenbedingungen auf (vgl. Kapitel 6). Die anschließend vorgestellten Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen (vgl. Kapitel 7 und 8) ergeben einige Erkenntnisse zur erwarteten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen.

Um die damit gewonnen Erkenntnisse im Gesamtkontext des Wissenserwerbs mit virtuellen Umgebungen einordnen zu können, ist erstens zusammenzufassen, wie die Ergebnisse beider Studien insgesamt zu interpretieren sind und welche Implikationen mit diesen Ergebnissen verbunden sind. Zweitens erscheint es notwendig die Durchführung der beiden Studien nocheinmal intensiv zu betrachten. Zusätzlich ist es drittens notwendig, eine theoretische Einbettung der Ergebnisse in den medienpsychologischen und pädagogisch-psychologischen Forschungsstand zu leisten.

Ergebnisse der Studien: In einer zusammenfassenden Interpretation beider Studien ergibt sich in einigen Teilen ein recht klares und in anderen Teilen ein eher widersprüchliches Bild zu den Wirkungen der Immersion und des Präsenzerlebens sowie einer instruktionalen Methode („Elaborationsinstruktion“) und dem investierten mentalen Aufwand der Lerner.

In der ersten Studie war beabsichtigt, die Lernförderlichkeit der Immersion und des Präsenzerlebens im Verhältnis zum mentalen Aufwand der Lerner zu betrachten. Allerdings ließ sich weder eine eindeutige Wirkung der Elaborationsinstruktion, noch eine eindeutige Wirkung des investierten mentalen Aufwands auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb nachweisen. Die eingesetzte Elaborationsinstruktion erwies sich als nicht hinreichend geeignet, um während der recht langen Verweildauer und der komplexen Interaktion in der virtuellen Umgebung eine substantielle Wirkung auf den Wissenserwerb zu entfalten. Möglicherweise ist es unter diesen Rahmenbedingungen notwendig, andere instruktionale Methoden zu entwickeln, die die komplexe und zeitlich längere Interaktion effektiver berücksichtigen. Die Immersion hatte keinen Effekt auf das Explorationsverhalten oder auf den Wissenserwerb. Das Präsenzerleben wirkte sich positiv auf das Explorationsverhalten und die Verstehensleistung aus, jedoch zeigte sich keine Wirkung auf die Behaltensleistung. Die aktuelle Ausprägung des Präsenzerlebens konnte erfolgreich auf die Immersion der virtuel-

len Umgebung und die Präsenzbereitschaft der Teilnehmer zurückgeführt werden.

In der zweiten Studie wurde eine noch deutlichere Manipulation der Immersion vorgenommen, um die Effekte der Immersion und des Präsenzerlebens auf das Explorationsverhalten und den Wissenserwerb umfassender zu bestimmen. Wiederum zeigte sich, daß das aktuelle Ausmaß des Präsenzerlebens auf die Immersion der virtuellen Umgebung und die Präsenzbereitschaft der Teilnehmer zurückgeführt werden konnte. Eine Wirkung der Immersion auf den investierten mentalen Aufwand ergab sich nicht. Weder Immersion noch Präsenzerleben wirkten sich auf das Elaborationsverhalten aus. Die Wirkung der Immersion auf den Wissenserwerb konnte unter Berücksichtigung der Vorwissensunterschiede für Behalten und für Verstehen gezeigt werden (zu beachten ist, daß die Verstehensleistung nur eingeschränkt zu interpretieren ist; vgl. Kapitel 8.6). Das Präsenzerleben hingegen wirkte sich nicht auf den Wissenserwerb aus.

In beiden Studien sind der erwartungsgemäße Zusammenhang zwischen Immersion und Präsenzerleben und der bedeutsame Einfluß der Präsenzbereitschaft aufgetreten. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die jeweilige Höhe des Präsenzerlebens war in beiden Studien die persönlich vorhandene Präsenzbereitschaft, die als personal stabiles Attribut konzeptionalisiert wurde.

Zur Wirkung der Immersion auf das Explorationsverhalten wurde in beiden Studien festgestellt, daß das Explorationsverhalten weitgehend unbeeinflusst blieb. Ein widersprüchlicher Befund ergab sich zum Verhältnis von Immersion und Wissenserwerb. Während in Studie 1 kein Effekt der Immersion nachweisbar war, zeigte sich in Studie 2 unter der Berücksichtigung von Vorwissensunterschieden ein tendenziell signifikanter Effekt für die Behaltensleistung und für die eingeschränkt interpretierbare Verstehensleistung.

Das Verhältnis von Präsenzerleben und Explorationsverhalten hingegen konnte nicht zweifelsfrei bestimmt werden, da der Befund aus Studie 1, das Präsenzerleben zu intensiverem Explorationsverhalten führen kann, in der zweiten Studie nicht bestätigt werden konnte. Beim Wissenserwerb lässt sich zur Behaltensleistung feststellen, daß in beiden Studien kein positiver Effekt aufgefunden wurde. Die Verstehensleistung hingegen ließ in

Studie 1 einen positiven Effekt des Präsenzerlebens erkennen, der in Studie 2 nicht auftrat. Allerdings ist die Verstehensleistung in Studie 2 nur mit großer Vorsicht zu interpretieren.

Insgesamt ergibt sich damit aus den Ergebnissen beider Studien folgendes Bild: In der ersten Studie wurden Hinweise auf eine Wirkung des Präsenzerlebens auf die Exploration und die Verstehensleistung gefunden. In der zweiten Studie hingegen wurden eher Hinweise auf Wirkungen der Immersion auf den Wissenserwerb festgestellt. Bereits Youngblut (1998) kam nach verschiedenen Evaluationsergebnissen (vgl. Kapitel 2.5) zu dem Fazit, daß hoch-immersive Umgebungen für den Lernerfolg effektiver als gering-immersive Umgebungen sein können. Jedoch weist bereits sie darauf hin, daß der entscheidende Faktor die *Interaktivität* der Umgebungen und weniger deren Immersion sein könnte. Auch nach den vorliegenden Ergebnissen der Studien dieser Arbeit lässt sich die Lernförderlichkeit höher-immersiver Umgebungen nicht ohne Einschränkungen bestätigen. In ähnlicher Weise zeigt sich eine heterogene Befundlage in der vorliegenden Literatur (vgl. Kapitel 2.5; bes. Mania & Chalmers, 2001; Moreno & Mayer, 2002) Insofern ist weiterhin berechnete Skepsis angebracht, ob die Immersion einer virtuellen Umgebung oder das Präsenzerleben der Lerner tatsächlich eine genuin lernförderliche Wirkung besitzen. Ein Ansatzpunkt zur Interpretation der Ergebnisse bietet die Überlegung, inwieweit Lerner in der Lage sind, das Erleben der Umgebung und das Verarbeiten der Lerninhalte in gewissem Umfang selbstgesteuert zu strukturieren, so daß ein Effekt auftritt, der als *intrinsisches Management von erlebnisorientierter und reflektierender Verarbeitung* bezeichnet werden könnte (in Anlehnung an das *intrinsische Management der kognitiven Belastung* nach Bannert, 2002; vgl. Kapitel 4.3).

Demnach wären die Ergebnisse der ersten Studie so zu interpretieren, daß gering-präsente Lerner in der Lage gewesen sind, die Unterschiede im Erleben zu kompensieren und eine angemessene Behaltensleistung zu erreichen. Für die reflektierende Verarbeitung der Inhalte hingegen wäre diese Kompensation im Falle niedrigen Präsenzerlebens vermindert worden, so daß die Verstehensleistung geringer ausfiel.

In der zweiten Studie hingegen hat sich die Immersion der Lernumgebung deutlich verändert. Dies hat zu einem veränderten Behalten und

eventuell zu einem veränderten Verstehen geführt, die sich unter der Berücksichtigung von Vorwissensunterschieden gezeigt haben. Vor allem Lerner mit geringerem Vorwissen wären demnach weniger gut in der Lage gewesen, die Lerninhalte aufzunehmen und zu elaborieren. Lerner mit höherem Vorwissen hingegen konnten eher von den konkreten Umständen abstrahieren und eine bessere intrinsische Strukturierung und Reflexion des Lernmaterials vornehmen. Eine offene Frage bleibt jedoch, warum sich in der zweiten Studie kein Effekt des Präsenzerlebens auf das Explorationsverhalten oder den Wissenserwerb zeigte. Dies widerspricht den Ergebnissen der ersten Studie und den Überlegungen, die in Kapitel 5.2 angestellt wurden.

Zu dieser Befundlage sind vor allem zwei Interpretationen möglich: Erstens ist zu überlegen, ob der Effekt, der in der ersten Studie festgestellt wurde, zufällig zustande kam. Diese Möglichkeit kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, da jedes statistisch signifikante Ergebnis mit einer verbleibenden Irrtumswahrscheinlichkeit behaftet ist. Zweitens ist zu überlegen, ob der Effekt, der in der zweiten Studie festgestellt wurde, auf anderen als den beabsichtigten Einflüssen beruht. Da es sich allerdings hier vor allem um eine Verstärkung der experimentellen Manipulation der Immersion handelte, erscheint dies als unwahrscheinlich.

Nicht zufriedenstellend hingegen war die Wirkung der instruktionalen Methode „Elaborationsinstruktion“ in der ersten Studie. Während eine äquivalente Maßnahme in Studien zum Fernsehen und zu Videos zufriedenstellende Ergebnisse erbrachte (vgl. Salomon, 1983; Cennamo et al., 1991), zeigten sich hier lediglich geringfügige Effekte. Insofern scheinen komplexe virtuelle Umgebungen unter Umständen andere instruktionale Verfahren notwendig zu machen, vor allem wenn längerdauernde Expositionen durchgeführt werden. Hier wäre vor allem an die Integration instruktionaler Hinweise in die virtuelle Umgebung sowie deren mehrfache Wiederholung zu denken.

Durchführung der Studien: Es erscheint des Weiteren sinnvoll, in einer Rekapitulation der Durchführung der Untersuchungen verschiedene Faktoren zu diskutieren, die eventuell am zustande kommen der genannten Ergebnisse beteiligt gewesen sind. Hierzu werden nun die verwendeten virtuellen Umgebungen und deren didaktische Eignung, die Operationalisie-

rung der Variablen, die eingesetzten Messinstrumente sowie die untersuchte Stichprobe diskutiert.

In Kapitel 2 wurden die Eigenschaften virtueller Umgebungen in ihrer Bedeutung als Wissensmedien vorgestellt (bes. dreidimensionale Darstellung und Interaktivität des Mediums), die prinzipiell lernförderlich sein sollten. Allerdings ist es notwendig, diese Eigenschaften medienadäquat einzusetzen und sie müssen dem Lerngegenstand angemessen sein. Die Gestaltung der virtuellen Umgebungen *Physikus* und *Chemicus* (vgl. Kapitel 6.2) weist im Vergleich zu anderen virtuellen Umgebungen einige Besonderheiten auf. So beschränkt sich die dreidimensionale Gestaltung der Umgebung auf die perspektivische Darstellung der Umgebung auf einem monoskopischen Bildschirm. Eine vollständig freie Interaktion mit den Umgebungen ist ebenfalls nicht vorhanden. Allerdings ist nicht zweifelsfrei erwiesen, daß sich diese Faktoren negativ auf die Lernförderlichkeit der Lernumgebung auswirken.

Ein Einflussfaktor auf die didaktische Eignung der virtuellen Umgebungen könnte gewesen sein, daß die im Adventurespiel umgesetzte Geschichte nicht direkt auf den Lerngegenstand bezogen war. Somit wäre es möglich, daß das Explorationsverhalten durch die Gestaltung des Lernmaterials zu wenig unterstützt wurde. Dies könnte zur Folge gehabt haben, daß die Gestaltung der untersuchten virtuellen Umgebung das Lernen zu wenig unterstützt hat, so daß die untersuchten Faktoren nicht auf den Lernprozess wirken konnten. Die in den virtuellen Lernumgebungen eingesetzte Metapher des „Adventurespiels“ könnte eventuell nicht zum Lerngegenstand „Physik“ bzw. „Chemie“ gepasst haben. Eine andere Form der Integration von Lerngegenstand und Medium könnte beispielsweise durch eine narrative Einbettung erreicht werden (vgl. Schwan & Buder, 2002). Ob allerdings eine Metapher (hier: „Adventurespiel“) oder das narrative Einbetten des Lerngegenstandes den Lernprozess besser unterstützt, kann mit den Ergebnissen der vorliegenden Studien nicht beantwortet werden. Die Entscheidung für beide virtuelle Umgebungen (*Physikus* und *Chemicus*) begründete sich insbesondere aus deren didaktischen Gestaltung für die beabsichtigten naturwissenschaftlichen Gegenstandsbereiche (vgl. Kapitel 6.2). So war nach einer umfassenden Analyse der beiden Umgebungen eine effiziente Unterstützung des Lernprozesses zu erwarten.

Die Operationalisierung der unabhängigen Variablen Immersion und mentaler Aufwand in Studie 1 und die optimierte Manipulation der Immersion in Studie 2 erbrachte in beiden Fällen eine effektive Variation der Immersion. Die Manipulation der Immersion über Veränderungen der Präsentation der virtuellen Umgebung (Studie 1) sowie durch ein „Aufbrechen“ der Dreidimensionalität (Studie 2) hat sich damit in beiden Fällen als grundsätzlich geeignet erwiesen, um ein unterschiedliches Präsenzerleben zu erzielen. Als wesentliche Moderatorvariablen erwiesen sich dabei personal stabile Attribute, wie sie mit dem Konstrukt „Präsenzbereitschaft“ erfasst wurden. Der Faktor mentaler Aufwand, der in Studie 1 als Elaborationsinstruktion umgesetzt wurde, zeigte hingegen keinen sichtbaren Effekt auf den gemessenen investierten mentalen Aufwand. Die Elaborationsinstruktion konnte möglicherweise ihre Wirkung deshalb nicht entfalten, weil die vollständige Instruktion der Versuchspersonen zum Gebrauch der virtuellen Umgebung und zu den darin zu bearbeitenden Aufgaben derart umfangreich war, daß der relativ einfache Hinweis zu einer vertiefenden Elaboration in diesem komplexen Geschehen seine Wirkung nicht voll entfalten konnte. Dies würde bedeuten, daß derartige instruktionale Eingriffe in das Geschehen entweder sehr deutlich formuliert sein sollten oder daß sie für das Medium virtuelle Umgebung grundsätzlich wenig geeignet erscheinen.

Die eingesetzten Messinstrumente hatten ihre grundsätzliche Eignung zur Messung von Präsenzbereitschaft und Präsenzerleben, Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand und dem investierten mentalen Aufwand in früheren Untersuchungen nachgewiesen. Nach dem Stand der Literatur stellen sie die Messinstrumente der Wahl zur Messung der zugrundegelegten Konstrukte dar. Für die hier berichteten Untersuchungen mussten alle Messinstrumente ins Deutsche übersetzt und dem konkreten Anliegen des Untersuchungsgegenstandes angepasst werden. Bis auf einen Fragebogen haben sich alle Messinstrumente in beiden Untersuchungen bewährt. Dennoch weisen die erzielten Ergebnisse darauf hin, daß eine weitergehende Bearbeitung, Reliabilitätsprüfung und Validierung der vorhandenen Messinstrumente besonders für die Konstrukte „Präsenzerleben“ und „Präsenzbereitschaft“ angeraten scheint.

Die untersuchten Probandenstichproben könnten ebenfalls einen Einfluß auf das Ergebnis der Untersuchungen gehabt haben. In beiden Un-

tersuchungen bestand die Stichprobe vor allem aus Studierenden, die eher geringe Erfahrungen mit Computerspielen und mit virtuellen Umgebungen berichteten. Dies kann sich eventuell negativ auf das Ergebnis ausgewirkt haben. Allerdings wird sich darin recht gut die in der Bevölkerung allgemein vorhandene Erfahrung mit diesen Medien widerspiegeln. Schließlich handelte es sich mehrheitlich um Studierende mit einem Altersdurchschnitt von circa 25 Jahren, die grundsätzlich bereits mit dieser Technik aufgewachsen sind. In weiteren Arbeiten könnte dies als Ansatzpunkt genommen werden, um zu bestimmen, ob eine gewisse Erfahrung im Umgang mit Computerspielen, virtuellen Umgebungen und ähnlichen Medien vorhanden sein muß, um den Wissenserwerb möglicherweise zu fördern. Somit erscheint es sinnvoll, weitere Arten und Typen virtueller Umgebungen sowie verschiedene Bevölkerungsgruppen zu untersuchen.

Schlussfolgerungen: Zusammengefasst lassen die Ergebnisse zu der erwarteten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen vor allem drei Interpretationen zu:

1. Es könnte an Mängeln der Durchführung der Studien gelegen haben, daß die erwarteten Effekte nicht aufgetreten sind. Die möglichen Probleme in der Durchführung der Studien wurden bereits ausführlich diskutiert. Grundsätzlich läßt sich ergänzend bemerken, daß die Operationalisierung der Immersion anhand theoretischer Überlegungen und vorliegender Forschungsergebnisse zu den Wirkfaktoren auf Präsenzerleben vorgenommen wurde (vgl. Kapitel 3.2.3 und Kapitel 7.1). Und schließlich ließ sich in beiden Studien die Wirkung der Immersion auf das Präsenzerleben nachweisen.
2. Die gefundenen, jedoch eher widersprüchlichen Effekte könnten darauf hinweisen, daß eine mögliche Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen nicht auf den untersuchten Faktoren beruht. Die in beiden Studien untersuchten Faktoren (Immersion und Präsenzerleben) werden jedoch in der vorliegenden Literatur als die zentrale Eigenschaft virtueller Umgebungen und des Erlebens der Benutzer dieser Umgebungen herausgestellt (vgl. Kapitel 1 und Kapitel 2). Wenn es nicht diese Faktoren sind, die den Lernerfolg entscheidend beeinflussen, so stellt sich die Frage, ob es überhaupt ent-

scheidende Faktoren für den Wissenserwerb gibt, die mit dem Medium virtuelle Umgebung in Zusammenhang stehen.

3. Es ist deswegen in Betracht zu ziehen, daß Medien und damit auch virtuelle Umgebungen, *per se* nicht lernförderlich sind (vgl. Clark, 1994 und Kapitel 3.5). Die zugrundeliegende Argumentation läuft darauf hinaus, daß keine eindeutige Verbindung zwischen den Merkmalen des Mediums und den kognitiven Prozessen der Benutzer hergestellt werden könne. In der Diskussion dieser Argumentation wurde darauf verwiesen, daß es die Symbolsysteme des Mediums sind, die die Verbindung zu den kognitiven Prozessen des Lernalters bilden (Salomon, 1994). Demnach wären es die verschiedenen Symbolsysteme der Medien, und ihre Auswirkungen auf einfache kognitive Prozesse der Informationsaufnahme und -verarbeitung, die zunächst noch genauer untersucht werden müssten. Erst anschließend könnte bestimmt werden, wie sich komplexe Medien auf den Wissenserwerb auswirken. Diese offene Frage abschließend zu klären, würde die Grenzen der vorliegenden Arbeit offensichtlich überschreiten. Allerdings ist nicht außer acht zu lassen, daß die vorliegenden Ergebnisse die erwartete Lernförderlichkeit des Mediums virtuelle Umgebung nicht stützen.

In dieser Arbeit ist es somit gelungen, die lernförderlichen Anteile virtueller Umgebungen herauszustellen und zu zeigen, wie diese in ihrer Wirkung auf Lernprozesse und den Wissenserwerb untersucht werden können. Allerdings konnten längst nicht alle theoretischen und praktischen Fragen adressiert oder gar beantwortet werden. Wichtige Themenfelder, aber auch die weitere Ausarbeitung eines theoretischen Modells zum Lernen mit virtuellen Umgebungen bedarf weiterer Forschungsarbeiten. Trotz der eher ernüchternden Ergebnisse zur Unterstützung des Wissenserwerbs konnte in dieser Arbeit ein Beitrag zur Einordnung der vielfach postulierten Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen geleistet werden. Die Ergebnisse lassen immer noch die Interpretation zu, daß die lernförderliche Wirkung der Immersion entgegen aller Behauptungen unter Umständen *nicht* gegeben sein könnte. Auch wenn es vielleicht noch zu früh ist, um von einer Falsifikation der Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen im Popper'schen Sinne (Popper, 1935/1994) auszugehen, erhalten die Phantasien und

Vorstellungen zum Lernen mit virtuellen Umgebungen einen deutlichen Dämpfer.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien und die vorgestellten Forschungsergebnisse legen eine weitere Untersuchung der Einflussfaktoren auf den Wissenserwerb mit virtuellen Umgebungen nahe. Denn bislang konnte nicht abschließend geklärt werden, welche Faktoren einer virtuellen Umgebung effektiv zu der erhofften Lernerunterstützung beitragen können – und ob der postulierte Effekt der Lernerunterstützung den Einsatz virtueller Umgebungen rechtfertigen kann. Nach den vorgestellten Ergebnissen ergeben sich hierfür folgende Ansatzpunkte:

- Grundlagenforschung zu den Symbolsystemen von Medien und ihrer Wirkung auf kognitive Prozesse;
- Untersuchung der Effekte verschiedener instruktionaler Methoden beim Einsatz unterschiedlicher Medien;
- Untersuchung der Einflüsse der Vorerfahrung mit Computerspielen oder virtuellen Umgebungen auf Nutzerstrategien und Wissenserwerb;
- Untersuchung von Kurzzeit- und Langzeiteffekten des Umgangs und des Lernens mit virtuellen Umgebungen.

Zum derzeitigen Stand der Forschung ist festzustellen, daß die Ergebnisse dieser Arbeit einen weiteren Baustein im Verständnis der kognitiven Prozesse im Lernen mit virtuellen Umgebungen darstellen können. Gerade die interpretatorischen Grenzen der vorgestellten Forschungsergebnisse und die gewonnenen Erkenntnisse zu den genannten Bereichen ergeben Ansatzpunkte zur weiteren Untersuchung der erhofften Lernförderlichkeit virtueller Umgebungen. In Anlehnung an die Position von Clark (1994) ist jedoch auch für das Medium „virtuelle Umgebung“ das Fazit *„virtual environments will never influence learning“* in Betracht zu ziehen. Falls sich diese Aussage in anderen Untersuchungen bestätigen sollte, bliebe immer noch die Option, daß virtuelle Umgebungen durch andere Argumente als durch das Argument der Lernförderlichkeit ihre Erstellung und ihren Einsatz rechtfertigen können.

10 Literatur

- Aarseth, E.J. (1997). *Cybertext: Perspectives on Ergodic Literature*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ainge, D.J. (1996). Introducing Primary Students to VR with Virtus WalkThrough: Two Pilot Studies. *VR in the Schools*, 2(1), 10-15.
- Allison, D., Wills, B., Hodges, L.F. & Wineman, J. (1996). *Gorillas in the Bits* (Technical Paper GIT-GVU-96-16). Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- Alsdorf, C. & Bannwart, E. (2002). Virtuelle Realität: erfahrbare Informationen im Cyberspace. In L.J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3 Aufl., S. 467-479). Weinheim: Beltz PVU.
- Antonietti, A., Imperio, E., Rasi, C. & Sacco, M. (2001). Virtual reality and hypermedia in learning to use a turning lathe. *Journal of Computer-Assisted Learning*, 17, 142-155.
- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. In K. A. Erickson & J. Smith (Hrsg.), *Toward a general theory of expertise - Prospects and limits* (S. 64-92). New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. (1997). *Human memory: theory and practice*. Hove: Erlbaum.
- Baddeley, A. (2001). Is Working Memory Still Working. *American Psychologist*, 56, 849-864.
- Barfield, W. & Hendrix, C. (1995). The effect of update rate on the sense of presence within virtual environments. *Virtual Reality*, 1, 3-16.
- Barfield, W. & Weghorst, S. (1993). The Sense of Presence Within Virtual Environments: A Conceptual Framework. In G. Salvendy & M. Smith (Hrsg.), *Human-Computer Interaction: Proceedings of 5th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 1993)*. Orlando, Florida, 08.-13. August, 1993, S. 699-704. Amsterdam: Elsevier.
- Bandura, A. (1997). *Self-Efficacy. The Exercise of Control*. New York: Freeman.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load - recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12, 139-146.
- Barfield, W. & Weghorst, S. (1993). *The Sense of Presence in Virtual Environments: A Conceptual Framework*. Paper presented at the 5th International Conference on Human-Computer Interaction (S.699-704), Orlando, Florida, August 8-13.
- Barfield, W., Zeltzer, D., Sheridan, T.B. & Slater, M. (1995). Presence and Performance Within Virtual Environments. In W. Barfield & T. Furness (Hrsg.), *Virtual Reality and Advanced Interface Design* (S. 473-513). Oxford: Oxford University Press.
- Benedikt, M. (Hrsg.). (1991). *Cyberspace: First Steps*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Biocca, F., Kim, T. & Levy, M.R. (1995). The vision of Virtual Reality. In F. Biocca & M.R. Levy (Hrsg.), *Communication in the Age of Virtual Reality* (S. 3-14). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Blade, R.A. & Padgett, M.L. (2002). Virtual Environments Standards and Terminology. In K. M. Stanney (Hrsg.), *Handbook of Virtual Environments* (S. 15-27). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- BLK – Bund Länder Kommission (2000). *Multimedia in der Hochschule. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung*, Heft 85. Bonn: BLK. [online-Dokument, verfügbar unter <http://www.blk-bonn.de/papers/heft85.pdf>; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- BmBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2000). *Bekanntmachung: Richtlinien über die Förderung von Vorhaben zur Förderung des Einsatzes Neuer Medien in der Hochschullehre im Förderprogramm "Neue Medien in der Bildung"*. Berlin: BMBF. [online-Dokument, verfügbar unter http://www.bmbf.de/foerderungen/677_1486.php; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5 Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J., Lienert, G.A. & Boehnke, K. (2000). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik* (2 Aufl.). Berlin: Springer.
- Bowman, D.A., Hodges, L.F., Allison, D. & Wineman, J. (1999). The Educational Value of an Information-Rich Virtual Environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(3), 317-331.
- Canter, D., Rivers, R. & Storrs, G. (1985). Characterizing user navigation through complex data structures. *Behaviour & Information Technology*, 4(2), 93-102.
- Cennamo, K.S. (1993). Learning From Video: Factors Influencing Learner's Preconceptions and Invested Mental Effort. *Educational Technology, Research and Development*, 41(3), 33-45.
- Cennamo, K.S., Savenye, W.C. & Smith, P.L. (1991). Mental Effort and Video-Based Learning: The Relationship of Preconceptions and the Effects of Interactive and Covert Practice. *Educational Technology, Research and Development*, 39(1), 5-16.
- Chaiken, S. & Trope, Y. (Hrsg.). (1999). *Dual-process theories in social psychology*. New York: Guilford.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Christou, C.G. & Bühlhoff, H.H. (1999). View Dependence in Scene Recognition after Active Learning. *Memory and Cognition*, 27(6), 996-1007.
- Clark, J.M. & Paivio, A. (1991). Dual Coding Theory and Education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149-210.
- Clark, R.E. (1994). Media Will Never Influence Learning. *Educational Technology, Research, and Development*, 42(2), 21-29.
- Clark, R.E. & Craig, T.G. (1992). Research and Theory on Multi-Media Learning Effects. In M. Giardina (Hrsg.), *Interactive Multimedia Learning Environments* (S. 19-30). Berlin: Springer.
- Clark, R.E. & Salomon, G. (1986). Media in Teaching, In M. Wittrock (Hrsg.). *Handbook of Research in Teaching* (S. 464-478). New York: Macmillan.

- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972). Levels of Processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. New York: Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, M. & Csikszentmihalyi, I. (1991). Die außergewöhnliche Erfahrung im Alltag. Die Psychologie des flow-Erlebnisses. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi, M. & LeFevre, J. (1989). Optimal Experience in Work and Leisure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56(5), 815-822.
- Darken, R. P., Bernatovich, D. Lawson, J.P., & Peterson, B. (1999). Quantitative Measures of Presence in Virtual Environments: The Roles of Attention und Spatial Comprehension. *CyberPsychology & Behavior*, 2(4), 337-347.
- de Jong, T. (1991). Learning and instruction with computer simulations. *Education & Computing*, 6, 217-229.
- de Jong, T., de Hoog, R. & de Vries, F. (1993). Coping with complex environments: the effects of providing overviews and a transparent interface on learning with a computer simulation. *International Journal of Man-Machine-Studies*, 39, 621-639.
- de Jong, T. & van Joolingen, W.R. (1998). Scientific Discovery Learning With Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201.
- Dede, C., Salzman, M.C. & Loftin, R.B. (1994). The Development of a Virtual World for Learning Newtonian Mechanics. In P. Brusilovsky, P. Kommers & N. Streitz (Hrsg.) *Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality. Proceedings of 1st International Conference on Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality (MHVR)*. Moskau, 14.-16. September 1994, S. 87-106. Berlin: Springer.
- Dede, C., Salzman, M. C. & Loftin, R. B. (1996). *Science Space: Virtual Realities for Learning Complex and Abstract Scientific Concepts*. Paper presented at the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '96) (S. 246-252), Los Alamitos, CA. [online-Dokument, verfügbar unter: <http://www.virtual.gmu.edu/pdf/vrais.pdf>; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- Dede, C., Salzman, M.C., Loftin, R.B. & Ash, K. (1997). Using Virtual Reality Technology to Convey Abstract Scientific Concepts. In M.J. Jacobson & R.B. Kozma (Hrsg.) *Learning the Sciences of the 21st Century: Research, Design, and Implementing Advanced technology Learning Environments*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Endsley, M.R. (1995). Towards a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Gagné, R.M. & Briggs, L.J. (1979). *Principles of intructional design* (2 Aufl.). New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Gay, E. (1994). Is Virtual Reality a Good Teaching Tool? *Virtual Reality, Special Report, Winter*, 51-59.

- Ghani, J.A. & Deshpande, S.P. (1993). Task characteristics and the experience of optimal flow in human-computer interaction. *The Journal of Psychology*, 128(4), 381-391.
- Gibson, W. (1984). *Neuromancer*. New York: Ace Books.
- Goldstein, E.B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Goodman, N. (1969). *Languages of art*. Oxford: Oxford University Press.
- Grau, O. (2001). *Virtuelle Kunst in Geschichte und Gegenwart*. Berlin: Reimer.
- Hays, R.T., Seamon A.G., & Bradley, S.C. (1997). *User-Oriented Design Analysis of the VESUB Technology Demonstration System*. Technical Report 97-013. Orlando, FL: Naval Air Warfare Center [Dokument als download verfügbar unter: <http://www.ntsc.navy.mil/Programs/Tech/Virtual/VESUB/vesubrpts.cfm>; letzter Zugriff am 12.09.2004].
- Heeter, C. (1992). Being There: The Subjective Experience of Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(2), 262-271.
- Held, R.M. & Durlach, N.I. (1992). Telepresence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1), 109-112.
- Hendrix, C. & Barfield, W. (1996a). Presence within virtual environments as a function of visual display parameters. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 274-289.
- Hendrix, C. & Barfield, W. (1996b). The sense of presence within auditory environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 290-301.
- 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.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jonassen, D. (1994). Thinking Technology: Toward A Constructivist Design Model. *Educational Technology*, 34(4), 34-37.
- Jonassen, D., Peck, K.L. & Wilson, B. (1999). *Learning with technology. A constructivist perspective*. Upper Saddle River: Merrill.
- Kalawsky, R.S. (1993). *Virtual Reality and Virtual Environments. A Technical, Scientific, and Engineering Reference on Virtual Environments*. Wokingham: Addison-Wesley.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2000). Incorporating Learner Experience into the Design of Multimedia Instruction. *Journal of Educational Psychology*, 92(1), 126-136.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. & Sweller, J. (2001). When Problem Solving is Superior to Studying Work Examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579-588.
- 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.

- Kirsh, D. (1997). Interactivity and Multimedia interfaces. *Instructional Science*, 25, 79-96.
- Kirshner, P.A. (2002). Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12, 1-10.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Konradt, U. & Sulz, K. (2001). The Experience of Flow in Interacting With a Hypermedia Learning Environment. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 10(1), 69-84.
- Kosslyn, S.M. (1994). *Image and Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kozma, R.B. (1991). Learning with Media. *Review of Educational Research*, 61(2), 179-211.
- Kozma, R.B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology, Research and Development*, 42(2), 7-19.
- Krauth, J. (1995). *Testkonstruktion und Testtheorie*. Weinheim: Beltz PVU.
- Kwiatek, K.K. & Watkins, B. (1984). The systematic viewer: An inquiry into the existence of a television schema in children. *Educational Communication and Technology Journal*, 32, 61-70.
- Langer, E.J. & Imber, L. (1980). Role of mindlessness in the perception of deviance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(3), 360-367.
- Laurel, B. (1993). *Computers as Theatre*. Boston: Addison-Wesley.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated Learning*. Cambridge: Cambridge UP.
- Lombard, M. & Ditton, T. (1997). At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2). [online-Dokument, verfügbar unter: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol3/issue2/lombard.html>; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- Mania, K. & Chalmers, A. (2001). The Effects of Levels of Immersion on Memory and Presence in Virtual Environments: A Reality Centered Approach. *CyberPsychology & Behavior*, 4(2), 247-264.
- Mayer, R.E. (1997). Multimedia Learning: Are We Asking the Right Questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1-19.
- Mayer, R.E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1991). Animations Need Narrations: An Experimental Test of a Dual-Coding Hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83(4), 484-490.
- Mayer, R.E. & Chandler, P. (2001). When Learning Is Just a Click Away: Does Simple User Interaction Foster Deeper Understanding of Multimedia Messages. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390-397.
- Mayer, R.E., Mautone, P. & Prothero, W. (2002). Pictorial Aids for Learning by Doing in a Multimedia Geology Simulation Game. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 171-185.

- Mayer, R.E. & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning. Evidence for dual information processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90, 312-320.
- McLellan, H. (1996). Virtual Realities. In D. Jonassen (Hrsg.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology* (S. 457-487). New York: Simon & Schuster Macmillan.
- McLellan, H. (1998). Cognitive Issues in Virtual Reality. *Journal of Visual Literacy*, 18(2), 175-199.
- Miller, G.A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97.
- Minsky, M. (1980). Telepresence. *Omni*, 2, 44-52.
- Mischel, W. (1993). *Introduction to personality* (5 Aufl.). Fort Worth: Harcourt.
- Moreno, R. & Mayer, R.E. (1999). Cognitive Principles in Multimedia Learning: The Role of Modality and Contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358-368.
- Moreno, R. & Mayer, R.E. (2000). A Coherence Effect in Multimedia Learning: The Case for Minimizing Irrelevant Sounds in the Design of Multimedia Instructional Messages. *Journal of Educational Psychology*, 92(1), 117-125.
- 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.
- Moreno, R., Mayer, R.E., Spires, H.A. & Lester, J.C. (2001). The Case for Social Agency in Computer-Based Teaching: Do Students Learn More Deeply When They Interact With Animated Pedagogical Agents? *Cognition and Instruction*, 19(2), 177-213.
- Mosteller, F. & Tukey, J.W. (1977). *Data Analysis and Regression*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Nash, E., Edwards, G.W., Thompson, J.A. & Barfield, W. (2000). A Review of Presence and Performance in Virtual Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 12(1), 1-41.
- Nass, C., Moon, Y., Fogg, B.J., Reeves, B. & Dryer, D.C. (1995). Can computers be human personalities? *International Journal of Human-Computer Studies*, 43, 223-239.
- Nichols, S., Haldane, C. & Wilson, J. (2000). Measurement of presence and its consequences in virtual environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52, 471-491.
- Norman, D. A. (1993). *Things That Make Us Smart*. Cambridge, MA: Perseus.
- Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual-coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Park, O.-C. & Hopkins, R. (1993). Instructional Conditions for Using Dynamic Visual Displays: A Review. *Instructional Science*, 21(427-449).
- Petersen, A. & Bente, G. (2001). Situative und technologische Determinanten des Erlebens virtueller Realität. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 13(3), 138-145.

- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12(1), 61-86.
- Popper, K.R. (1935/1994). *Logik der Forschung* (10. Aufl.). Tübingen: Mohr.
- Prothero, J. & Hoffman, H. (1995). *Widening the field-of-view increases the sense of presence within immersive virtual environments* (HITL Technical Report R-95-4). Washington: Human Interface Technology Laboratory. [online-Dokument, verfügbar unter: www.hitl.washington.edu; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- Psotka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructional Science*, 5(3), 405-431.
- Pylyshin, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Regian, J.W. & Shebilske, W.L. (1992). Virtual Reality: An Instructional Medium for Visual-Spatial Tasks. *Journal of Communication*, 42(4), 136-149.
- Rheinberg, F. & Vollmeyer, R. (2003). Flow-Erleben in einem Computerspiel unter experimentell variierten Bedingungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 211(4), 161-170.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2002). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In Stiensmeier-Pelster, J. & Rheinberg, F. (Hrsg.). *Diagnostik von Selbstkonzept, Lernmotivation und Selbstregulation* (S. 261-279). Göttingen: Hogrefe.
- Rheingold, H. (1991). *Virtual Reality*. New York: Simon & Schuster.
- Rosenfeld, L. & Morville, P. (1998). *Information Architecture for the World Wide Web*. Beijing: O'Reilly.
- Ruddle, R.A., Howes, A., Payne, S.J. & Jones, D.M. (2000). The effects of hyperlinks on navigation in virtual environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 53, 551-581.
- Ruddle, R.A., Payne, S.J. & Jones, D.M. (1997). Navigating Buildings in "Desk-Top" Virtual Environments: Experimental Investigations Using Extended Navigational Experience. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(2), 143-159.
- Ruddle, R.A., Payne, S.J. & Jones, D.M. (1999). The Effects of Maps on Navigation and Search Strategies in Very-Large-Scale Virtual Environments. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 5(1), 54-75.
- Sadowski, W. & Stanney, K.M. (2002). Presence in Virtual Environments. In K. M. Stanney (Hrsg.), *Handbook of Virtual Environments* (S. 791-806). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Salomon, G. (1979). Media and Symbol Systems as Related to Cognition and Learning. *Journal of Educational Psychology*, 72(2), 131-148.
- Salomon, G. (1983). The Differential Investment of Mental Effort in Learning from Different Sources. *Educational Psychologist*, 18(1), 42-50.
- Salomon, G. (1984). Television is "Easy" and Print is "Tough": The Differential Investment of Mental Effort in Learning as a Function of Perceptions and Attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76(4), 647-658.

- Salomon, G. (1989). Zur Psychologie der Computer und ihrer Wirkungen. In J. Groebel & P. Winterhoff-Spurk (Hrsg.), *Empirische Medienpsychologie* (S. 258-275). München: PVU.
- Salomon, G. (1991). On the Cognitive Effects of Technology. In L.I. Landsmann (Hrsg.), *Culture, Schooling, and Psychological Development*. (S. 185-204). Stamford, CT: Ablex.
- Salomon, G. (1994). *Interaction of Media, Cognition, and Learning* (2 Aufl.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Salomon, G. & Leigh, T. (1984). Predispositions about Learning from Print and Television. *Journal of Communication*, 34(1), 119-135.
- Salzman, M.C., Dede, C. & Loftin, R.B. (1995). Usability and Learning in Educational Virtual Realities. *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting. San Diego, CA, 10.-15. Oktober*; S. 486-490.
- Salzman, M.C., Dede, C., Loftin, R.B. & Chen, J. (1999). A Model for Understanding How Virtual Reality Aids Complex Conceptual Learning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(3), 293-316.
- Schank, R. (1997). *Virtual Learning*. New York: McGraw-Hill.
- Schloerb, D.W. (1995). A Quantitative Measure of Telepresence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 4(1), 64-80.
- Schnotz, W. (1997). *Aufbau von Wissenstrukturen - Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz PVU.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46(3), 217-236.
- Schuemie, M.J., Straaten, P.v.d., Krijn, M. & Mast, C.A.P.G.v.d. (2001). Research on Presence in Virtual Reality: A Survey. *CyberPsychology & Behaviour*, 4(2), 183-201.
- Schulmeister, R. (2002). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme* (3. Aufl.). München: Oldenbourg.
- Schwabe, G., Streitz, N. & Unland, R. (Hrsg.) (2001). *CSCW-Kompodium*. Berlin: Springer.
- Schwan, S. (2000). Video in Multimedia-Anwendungen. Gestaltungsanforderungen aus kognitionspsychologischer Sicht. In G. Krampen & H. Zayer (Hrsg.), *Psychologiedidaktik und Evaluation II* (S. 55-72). Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.
- Schwan, S. & Buder, J. (2002). Lernen und Wissenserwerb in Virtuellen Realitäten. In G. Bente, N. Krämer & A. Petersen (Hrsg.), *Virtuelle Realitäten* (S. 109-132). Göttingen: Hogrefe.
- Shah, P., Mayer, R.E. & Hegarty, M. (1999). Graphs as Aids to Knowledge Construction: Signaling Techniques for Guiding the Process of Graph Comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 91(4), 690-702.
- Sheridan, T.B. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1), 120-126.

- Sheridan, T.B. (1996). Further Musings on the Psychophysics of Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(2), 241-246.
- Shneiderman, B. (1998). *Designing the User Interface* (3 Aufl.). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Slater, M. (1999). Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(5), 560-566.
- Slater, M. & Usoh, M. (1993). Representations systems, perceptual position, and Presence in immersive virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 2(3), 221-233.
- Slater, M., Usoh, M. & Steed, A. (1994). Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2), 130-144.
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Snodgrass, J.G. (1984). Concepts and their surface representations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 3-22.
- Spiro, R.J. & Jehng, J.-C. (1990). Cognitive Flexibility and Hypertext: Theory and Technology for the Nonlinear and Multidimensional Traveller of Complex Subject Matter. In D. Nix & R. J. Spiro (Hrsg.), *Cognition, Education, and Multimedia* (S. 163-205). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spool, J., Scanlon, T. & Schroeder, W. (1999). *Web Site Usability*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Stahel, W. (2002). *Statistische Datenanalyse* (4. Aufl.). Braunschweig: Vieweg.
- Stanney, K., Kennedy, R.S., Drexler, J.M. & Harm, D.L. (1999). Motion sickness and proprioceptive aftereffects following virtual environment exposure. *Applied Ergonomics*, 30(1), 27-38.
- 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.
- 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.
- Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(257-285).
- Sweller, J. (1993). Some Cognitive Processes and Their Consequences for the Organization and Presentation of Information. *Australian Journal of Psychology*, 45(1), 1-8.
- Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.

- Sweller, J., Merrienboer, J.G.v. & Paas, F.G.W.C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tellegen, A. & Atkinson, G. (1974). Openness to absorbing and self-altering experiences ("absorption"), a trait related to hypnosis susceptibility. *Journal of Abnormal Psychology*, 83, 268-277.
- Trindade, J., Fiolhais, C. & Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471-488.
- Valcke, M. (2002). Cognitive load: updating the theory? *Learning and Instruction*, 12, 147-154.
- Veenman, M.V. & Elshout, J.J. (1995). Differential effects of instructional support on learning in simulation environments. *Instructional Science*, 22, 363-383.
- Veenman, M.V., Prins, F.J. & Elshout, J.J. (2002). Initial inductive learning in a complex computer simulated environment: the role of metacognitive skills and intellectual ability. *Computers in Human Behavior*, 18, 327-341.
- Vorderer, P. (1992). *Fernsehen als Handlung. Fernsehfilmrezeption aus motivationspsychologischer Perspektive*. Berlin: edition sigma.
- Webster, J., Trevino, L.K. & Ryan, L.K. (1993). The dimensionality and correlates of flow in human-computer interaction. *Computers in Human Behavior*, 9, 411-426.
- Weidenmann, B. (1989). Der mentale Aufwand beim Fernsehen. In J. Groebel & P. Winterhoff-Spurk (Hrsg.), *Empirische Medienpsychologie* (S. 134-149). München: PVU.
- Welch, R., Blackmon, T., Liu, A., Mellers, B. & Stark, L. (1996). The effects of pictorial realism, delay of visual feedback, and observer interactivity on the subjective sense of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 263-273.
- White, B.Y. (1993). ThinkerTools: Causal Models, Conceptual Change, and Science Education. *Cognition and Instruction*, 10(1), 1-100.
- Wickens, C.D. & Baker, P. (1995). Cognitive Issues in Virtual Reality. In W. Barfield & T. Furness (Hrsg.), *Virtual Reality and Advanced Interface Design* (S. 514-541). Oxford: Oxford University Press.
- Wild, C.T., Kuiken, D. & Schupflocher, D. (1995). The Role of Absorption in Experiential Involvement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69(3), 569-579.
- Wilson, J.R. (1997). Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. *Ergonomics*, 40(10), 1057-1077.
- Winn, W. (1993). *A Conceptual Basis for Educational Applications in Virtual Reality* (HITL Technical Report TR-93-9). Seattle: University of Washington, Washington Technology Center, Human Interface Technology Laboratory. [online-Dokument, verfügbar unter: <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-93-9/>; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- Winn, W. & Jackson, R. (1999). Fourteen propositions about educational uses of virtual reality. *Educational Technology*, 4, 5-14.

- Winn, W. & Windschitl, M. (2001). Towards an Explanatory Framework for Learning in Artificial Environments. *Cybernetics & Human Knowing*, 8(4), 5-23.
- Witmer, B.G. & Singer, M.J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240.
- Yildirim, Z., Ozden, M.Y. & Aksu, M. (2001). Comparison of Hypermedia Learning and Traditional Instruktion on Knowledge Acquisition and Retention. *Journal of Educational Research*, 94(4), 207-241.
- Youngblut, C. (1998). *Educational Uses of Virtual Reality Technology* (IDA Document Report Number D-2128). Alexandria, VA: Institute for Defense Analysis. [online-Dokument, verfügbar unter: www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf; letzter Zugriff am 12.09.2004]
- Zhao, S. (2003). "Being there" and the role of Presence Technology. In G. Riva, F. Davide & W.A. Ijsselstein (Hrsg.), *Being There: Concepts, effects and measurement of user presence in synthetic environments* (S. 137-146). Amsterdam: Ios Press.

11 Anhang

Im Anhang befinden sich die Items der verwendeten Fragebögen mit den subjektiven Maßen zur Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand, zur Präsenzbereitschaft und zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“, zum investierten mentalen Aufwand und zur kognitiven Belastung sowie zum Präsenzerleben und zum „PQ-Präsenzerleben“.

Items zur „Investitionsbereitschaft für mentalen Aufwand“

Instruktion: „Bitte kreuzen Sie im Folgenden die Antwort an, die Ihnen spontan als zutreffend erscheint.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben.

Item	Antwortbereich
1. Ich erhalte Informationen über einen Computer bzw. rufe diese ab ...	sehr selten - sehr häufig
2. Nachrichten, die ich über einen Computer erhalte bzw. abrufe, sind für mich ...	sehr unglaubwürdig - sehr glaubwürdig
3. Ich arbeite mit Lernsoftware ...	sehr selten - sehr häufig
4. Für meine Tätigkeiten sind die Informationen, die ich über einen Computer erhalte bzw. abrufe, ...	sehr unwichtig - sehr wichtig
5. Ich lerne Inhalte per Computer ...	sehr selten - sehr häufig
6. Ich arbeite mit Computern ...	sehr ungern - sehr gern
7. Die Qualität der Informationen, die ich üblicherweise per Computer erhalte, ist ...	sehr gering - sehr hoch
8. Ich arbeite mit Lernsoftware.	sehr ungern - sehr gern
9. Mit einer Lernsoftware die Lösung für ein mathematisches Problem zu finden, wäre für mich ...	gar nicht schwierig - sehr schwierig
10. Mit einer Lernsoftware etwas über das Leben einer berühmten Person zu lernen, wäre für mich ...	gar nicht schwierig - sehr schwierig
11. Mit einer Lernsoftware zu lernen, ein Modell von einem Gegenstand zu erstellen, wäre für mich ...	gar nicht schwierig - sehr schwierig

Items zum „Investierten Mentalen Aufwand“

Instruktion: „Bitte kreuzen Sie im Folgenden die Antwort an, die Ihnen spontan als zutreffend erscheint. Bitte nehmen Sie sich die notwendige Zeit, um sich an ihr Erleben im „Physikus“/„Chemicus“ zu erinnern.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („gar nicht - sehr stark“).

Item
1. Wie stark mussten sie sich während der Aufgabenbearbeitung im Adventure konzentrieren?
2. Wie stark haben Sie die bearbeiteten Aufgaben zum Denken angeregt?
3. Wie sehr haben sie sich angestrengt, um die Chemie-Inhalte zu verstehen?
4. Wie sehr haben sie sich angestrengt, um das Adventure-Spiel zu verstehen?

Items zur „Kognitiven Belastung“

Instruktion: „Bitte kreuzen Sie im Folgenden die Antwort an, die Ihnen spontan als zutreffend erscheint. Bitte nehmen Sie sich die notwendige Zeit, um sich an ihr Erleben im „Physikus“/„Chemicus“ zu erinnern.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („sehr leicht - sehr schwer“).

Item

1. Wie leicht oder schwierig war es für Sie, die Bedeutung der einzelnen Gegenstände für das Adventure-Spiel zu erkennen?
 2. Wie leicht oder schwierig war es für Sie, zu verstehen, welche chemischen Zusammenhänge mit den Gegenständen im Adventure-Spiel verbunden sind?
-

Items zur „Präsenzbereitschaft“

Instruktion: „Bitte geben Sie nun an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen / nicht zustimmen.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („stimme voll und ganz zu - stimme gar nicht zu“).

Item

1. Ich sehe häufig Spielfilme im Fernsehen oder im Kino.
 2. Ich spiele häufig Computerspiele.
 3. Ich lese häufig fesselnde Bücher.
 4. Ich habe häufig das Gefühl, Dinge oder Personen in einem Spielfilm benehmen sich so, als würde ich diese direkt sehen.
 5. Ich habe häufig den Eindruck, die Ereignisse in einem Spielfilm würden mir passieren.
 6. Ich habe häufig das Gefühl, Dinge oder Personen in einem Computerspiel benehmen sich so, als würde ich diese direkt sehen.
 7. Ich habe häufig den Eindruck, die Ereignisse in einem Computerspiel würden mir passieren.
 8. Ich habe häufig das Gefühl, Dinge oder Personen in einem Buch benehmen sich so, als würde ich diese direkt sehen.
 9. Ich habe häufig den Eindruck, die Ereignisse in einem Buch würden mir passieren.
 10. Ich fühle mich oft innerhalb des Geschehens von Spielfilmen.
 11. Ich fühle mich oft innerhalb des Geschehens von Computerspielen.
 12. Ich fühle mich oft innerhalb des Geschehens von Büchern.
 13. Es braucht eine Menge, um mich abzulenken, wenn ich meine Lieblings-Spielfilme sehe.
 14. Es braucht eine Menge, um mich abzulenken, wenn ich meine Lieblings-Bücher lese.
 15. Wenn ich einen Spielfilm sehe, muss ich mich selbst oft daran erinnern, daß die Ereignisse nicht real sind.
 16. Wenn ich ein Computerspiel spiele, muss ich mich selbst oft daran erinnern, daß die Ereignisse nicht real sind.
 17. Wenn ich ein Buch lese, muss ich mich selbst oft daran erinnern, daß die Ereignisse nicht real sind.
 18. Ich lasse mich leicht stören, wenn ich an einer Aufgabe arbeite.
 19. Ich kann gut äußere Störungen ignorieren, wenn ich mit etwas beschäftigt bin.
 20. Wenn viele Dinge gleichzeitig passieren, werde ich leicht abgelenkt.
-

Items zum „Präsenzerleben“

Instruktion: „Bitte kreuzen Sie im Folgenden die Antwort an, die Ihnen spontan als zutreffend erscheint. Bitte nehmen Sie sich die notwendige Zeit, um sich an ihr Erleben im „Physikus“/„Chemicus“ zu erinnern.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („stimme voll und ganz zu - stimme gar nicht zu“).

Item

1. Ich hatte im Chemicus häufig das Gefühl, die Dinge und Sachen benehmen sich so, als würde ich sie direkt sehen.
 2. Ich hatte im Chemicus häufig den Eindruck, die Ereignisse würden mir passieren.
 3. Ich fühlte mich oft innerhalb des Geschehens während ich die Aufgabe im Chemicus bearbeitet habe.
 4. Es brauchte eine Menge, um mich abzulenken, während ich mich im Chemicus aufgehalten habe.
 5. Während ich im Chemicus war, musste ich mich selbst oft daran erinnern, daß die Ereignisse nicht real sind.
 6. Ich habe mich leicht stören lassen, während ich die Aufgaben bearbeitet habe.
 7. Ich konnte gut äußere Störungen ignorieren, während ich mit den Aufgaben beschäftigt war.
 8. Wenn andere Dinge gleichzeitig passierten, wurde ich leicht abgelenkt.
-

Items zur „ITQ-Präsenzbereitschaft“

Instruktion: „Bitte beantworten Sie nun noch folgende Fragen.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („stimme voll und ganz zu - stimme gar nicht zu“).

Item

1. Wie häufig spielen Sie Computerspiele?
 2. Wie häufig werden Sie von einem Computerspiel so in Anspruch genommen, daß es ihnen vorkommt, als wären Sie innerhalb des Spiels und würden nicht eine Maus oder einen Joystick bewegen und einen Bildschirm beobachten?
 3. Wie gut können Sie (mit voller Aufmerksamkeit) von einer aktuell zu bearbeitenden Aufgabe zu einer neuen Aufgabe wechseln?
 4. Wie leicht lassen Sie sich stören, wenn Sie an einer Aufgabe arbeiten?
 5. Wie gut können Sie äußere Störungen ignorieren, wenn Sie mit etwas beschäftigt sind?
 6. Wie häufig beschäftigen Sie sich so intensiv mit etwas, daß Sie das Gefühl für die Zeit verlieren?
 7. Wie wach und aufmerksam fühlen Sie sich im Moment?
 8. Wie sehr werden Sie durch Verfolgungsjagden oder Kampfszenen in einem Spielfilm aufgeregt?
 9. Wie oft werden Sie vom Geschehen in Spielfilmen so beeindruckt, daß Sie die Dinge um Sie herum nicht mehr wahrnehmen?
-

Items zum „PQ-Präsenzerleben“

Instruktion Teil 1: „Bitte kreuzen Sie im Folgenden die Antwort an, die Ihnen spontan als zutreffend erscheint. Bitte nehmen Sie sich die notwendige Zeit, um sich an ihr Erleben im „Physikus“/„Chemicus“ zu erinnern.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („überhaupt nicht - vollkommen“).

Item

1. Wie sehr hatten sie das Gefühl, Sie konnten die Ereignisse im Chemicus kontrollieren?
 2. In welchem Maße hat die visuelle Gestaltung des Chemicus dazu geführt, daß Sie sich in diese Welt eingebunden gefühlt haben?
 3. Wie sehr fühlten Sie sich in die Welt des Chemicus mit einbezogen?
 4. Inwieweit haben Sie während der Aufgabenbearbeitung das Gefühl für die ablaufende Zeit verloren?
 5. Hat Sie die Bedienung der Maus bei der Erfüllung der Aufgaben behindert?
 6. Wie gut konnten Sie sich auf die Aufgabenbearbeitung konzentrieren?
 7. Hat Sie die Bedienung von Elementen mit den „Händen“ bei der Erfüllung der Aufgaben behindert?
 8. Wie sehr haben Sie auf Ereignisse in Ihrer wirklichen Umgebung (der Raum und die Gegenstände um Sie herum) geachtet?
 9. Fühlten Sie, daß die Welt des Chemicus für Sie zur "Realität" wurde und Sie damit die reale Welt außerhalb vergessen haben?
 10. Inwieweit empfanden Sie im Chemicus die Fortbewegung mit den „Pfeilen“ als störend?
 11. Wie bewußt war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch den Chemicus bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?
-

Instruktion Teil 2: „Kreuzen Sie bitte bei den folgenden Aussagen diejenigen an, die den Empfindungen am nächsten kommen, die Sie in der Welt des „Physikus“ / „Chemicus“ empfunden haben.“

Die Antworten wurden auf einer Skala von 1 bis 7 erhoben („überhaupt nicht - vollkommen“).

Item

12. Ich konzentrierte mich nur noch auf die Welt des Chemicus.
 13. Ich achtete noch auf die reale Umgebung.
 14. Ich hatte das Gefühl, im Chemicus zu handeln und nicht etwas von außen zu bedienen.
 15. Ich habe den Eindruck, in der Welt des Chemicus gewesen zu sein.
 16. Ich habe die Welt des Chemicus als eine Umgebung empfunden, die ich ...
 17. Die Welt des Chemicus erschien mir wirklicher als die reale Welt.
 18. Ich war mir jederzeit bewußt, daß ich mich immer noch in der realen Welt befand.
-