



UNIVERSITÄT  
DES  
SAARLANDES

---

**Effektive Nutzung interaktiver Repräsentationen zum Erwerb von  
räumlichen Strukturen eines virtuellen Gebäudemodells**

Einflüsse inter-individueller Unterschiede in Personenfähigkeiten und  
eines Mehrkomponenten-Trainingsprogramms

---

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Philosophie

Philosophische Fakultät III  
Universität des Saarlandes

vorgelegt von  
Mahsa Vali Zadeh

geboren in Teheran/Iran

Saarbrücken 2015

Dekan: Prof. Dr. Roland Brünken  
Erstgutachter: Prof. Dr. Roland Brünken, Universität des Saarlandes  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Stefan Münzer, Universität Mannheim

Disputation am 20.07.2015

## Danksagung

Zur Fertigstellung dieser Arbeit haben zahlreiche Personen in der einen oder anderen Form beigetragen, denen ich allen ganz herzlich danken möchte.

An erster Stelle gilt mein besonderer Dank Professor Dr. Roland Brünken, der mir bei der Realisierung meines Dissertationsvorhabens zur Seite stand und sich bereit erklärte, meine Betreuung zu übernehmen. Dank seiner Bereitschaft zur Begutachtung wurde mein Antrag auf ein Promotionsstipendium vom Graduiertenförderprogramm der Universität des Saarlandes bewilligt. Ihm möchte ich zudem für die Bereitstellung der Stellenmöglichkeiten danken, die mir in den letzten dreieinhalb Jahren finanziell den Rücken freigehalten haben. Danken möchte ich zudem Professor Dr. Stefan Münzer für das Angebot und die Initiation des Promotionsthemas. Mein besonderer Dank gilt seiner guten Betreuung, seiner Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und seinen zahlreichen konstruktiven Anregungen und Hinweisen bei der thematischen Gestaltung und Anfertigung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen lieben Kolleginnen und Kollegen bedanken, die mich in vielen – insbesondere den schwierigen – Situationen der Endphase dieser Arbeit emotional und motivational unterstützt haben. An dieser Stelle auch einen herzlichen Dank an die studentischen Hilfskräfte, die sich für die reibungslose Durchführung und Umsetzung meiner Studien eingesetzt haben.

Mein größter persönlicher Dank geht aber an meinen kleinen Sohn, der für sein Alter viel Belastung ertragen musste und mir auf seine Art immer wieder genug Kraft gegeben hat, um weiterzumachen und nicht aufzugeben. Ohne die emotionale Unterstützung meiner Familie und Freunde hätte ich diese Arbeit nicht schaffen können. Euch danke ich für euer Verständnis und eure Geduld.

Saarbrücken, Juni 2015

Mahsa Vali Zadeh

## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation wurde seit 2009 an ein Forschungsprojekt von Professor Dr. Stefan Münzer angebunden, der in dieser Zeit am Lehrstuhl für Empirische Bildungsforschung der Fachrichtung Bildungswissenschaften an der Universität des Saarlandes tätig war. Nachdem er einem Ruf an den Lehrstuhl für Bildungspsychologie an der Universität Mannheim gefolgt war, konnte meine Dissertationsarbeit trotzdem im Saarland weiter fortgesetzt werden. In diesem Projekt wurden Fragestellungen zum Lernen mit visuell-dynamischen Darstellungen untersucht. Meine Arbeit fokussierte sich auf einen kleinen und bereichsspezifischen Teil dieses Projektes, nämlich auf die Wechselwirkung der inter-individuellen Unterschiede hinsichtlich der visuell-räumlichen Fähigkeiten und Explorationsstrategien der Lernenden für ihr räumliches Lernen mittels der Interaktion mit den konfiguralen Strukturen eines dreidimensionalen virtuellen Gebäudemodells. Es wurde zudem ein Mehrkomponenten-Trainingsprogramm entwickelt, dessen Auswirkungen auf das räumliche Lernen und die effektive Nutzung der Explorationsstrategien der Lernenden untersucht wurden.

## Abstract

In dieser Dissertation werden die Zusammenhänge von inter-individuellen Unterschieden in visuell-räumlichen Fähigkeiten, in selbstberichteten Orientierungskompetenzen sowie in Vorerfahrungen mit Computerspielen in Bezug auf den Erwerb von räumlichen Strukturen eines komplexen virtuellen Gebäudemodells untersucht. Den Lernenden wurde ein 3D-Modell eines komplexen, mehrstöckigen Gebäudes präsentiert. Durch direkte Interaktion mit dem Modell sollten Informationen über komplexe räumliche Strukturen erworben werden. Dafür wurden den Lernenden unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten aus allozentrischen und egozentrischen Perspektiven zur Verfügung gestellt. Für das erfolgreiche Lernen der räumlichen Zusammenhänge sind zudem die selbstbestimmte Exploration des Modells und die effektive Nutzung der verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten relevant. Um dies prüfen zu können, wurden die Lernenden indirekt in ihren Strategien beim effektiven Umgang mit Interaktionen - mit oder ohne prompt-basierten Lernhilfen - trainiert. Mittels Vergleichsanalyse wurden Effekte des Trainings auf verschiedene Komponenten des räumlichen Lernens untersucht. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen, dass die inter-individuellen Personeneigenschaften einen großen Varianzanteil des räumlichen Lernens vor allem bei der Leistung in der Richtungsschätzung erklären können. Ihr Vorhersageeffekt wird jedoch bei dem Training von Strategiekomponenten weniger bedeutend. Seltener erweisen sich Explorationsstrategien während des Lernens und der Umgang mit den vorhandenen interaktiven Steuerungsmöglichkeiten als Prädiktoren des räumlichen Lernerfolgs. Das Kurzzeit-Training von kognitiven und metakognitiven Strategiekomponenten zeigt weder lernförderliche Effekte auf das Lernen von räumlichen Strukturen des virtuellen Gebäudes noch auf die Optimierung der Nutzung von Explorationsstrategien während des Lernens.

---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	<b>12</b>
2.1	Einsatz virtueller Lernumgebungen zum Verständnis von komplexen räumlichen Strukturen	12
2.2	Domänenspezifische Anwendung virtueller Modelle zum Verständnis von räumlichen Strukturen des umgebenden Raums	13
2.3	Raumkognition	16
2.3.1	Mentale Repräsentation räumlicher Strukturen	16
2.3.2	Mentale Repräsentation räumlicher Strukturen in Abhängigkeit von Lernerfahrungen	19
2.3.3	Inter-individuelle Unterschiede in Personenfähigkeiten	28
2.4	Weitere Einflussfaktoren auf das räumliche Lernen in der virtuellen Umgebung	42
2.5	Lernstrategien bei der Exploration interaktiver virtueller Umgebungen	48
2.6	Ableitung der Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit	64
<b>3</b>	<b>Vorstudie</b>	<b>68</b>
3.1	Ziel und Hypothesen	68
3.2	Methode	69
3.2.1	Stichprobe	69
3.2.2	Instrumente und Materialien	69
3.2.3	Ablauf	76
3.2.4	Auswertung	78
3.3	Ergebnisse	78
3.4	Diskussion	85
<b>4</b>	<b>Studie I</b>	<b>93</b>
4.1	Ziel und Hypothesen	93
4.2	Methoden	96
4.2.1	Stichprobe	96
4.2.2	Instrumente und Materialien	96
4.2.3	Ablauf	103
4.2.4	Auswertung	105
4.3	Ergebnisse	108
4.4	Diskussion	131

---

<b>5</b>	<b>Studie II</b>	<b>137</b>
5.1	Ziel und Hypothesen	139
5.2	Methoden	142
5.2.1	Stichprobe	142
5.2.2	Instrumente und Materialien	142
5.2.3	Ablauf	148
5.2.4	Auswertung	153
5.3	Ergebnisse	155
5.4	Diskussion	175
<b>6</b>	<b>Gesamtdiskussion und Ausblick</b>	<b>179</b>
6.1	Zusammenfassende Beantwortung der Fragestellungen	180
6.2	Methodische Implikationen und Forschungsperspektive	192
	<b>Anhänge</b>	<b>216</b>
	Anhang A	217
	Anhang B	227
	Anhang C	233
	Anhang D	235
	Anhang E	254
	Anhang F	255
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>260</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>262</b>

## **Präambel**

Im Text wird der Einfachheit halber auf die Verwendung von Doppelformen für weibliche und männliche Personen (z.B. Student und Studentin/Teilnehmer und Teilnehmerin) verzichtet. Mit allen im Text verwendeten Personenbezeichnungen sind jedoch stets beide Geschlechter gemeint.

## 1 Einleitung

Die Nutzung von virtuellen Umgebungen ist bei der Verfolgung von vielfältigen Zielen nicht mehr wegzudenken. Virtuelle Umgebungen (z.B. virtuelle Modelle) gewinnen zu Lernzwecken sowohl in beruflichen Kontexten als auch in schulischen Zusammenhängen immer mehr an Bedeutung. In Form von Lernmedien werden sie sehr oft als effektive Trainingsmedien eingesetzt, um bestimmte Lernprozesse zu unterstützen. Virtuelle Modelle (z.B. Gebäudemodelle) konnten sich bereits vor längerer Zeit für das Erlernen von räumlichen Strukturen – mit dem Ziel der späteren Orientierung und Navigation in realer Umgebung – etablieren (Bliss, Tidwell & Guest, 1997; Ruddle, Payne & Jones, 1997; Waller, Hunt & Knapp, 1998; Wilson, Foreman & Tlauka, 1997; Witmer, Bailey, Knerr & Parsons, 1996). Beispielsweise können Informationen über komplexe räumliche Strukturen auf Grundlage von selbstbestimmter Interaktion mit virtuellen Modellen erworben werden. Daher kann ein 3D-Modell eines komplexen Gebäudes „Erstbesuchern“ zugänglich gemacht werden, damit sie sich im realen Gebäude anschließend erfolgreich orientieren und ihre Wege schneller beziehungsweise mit weniger Schwierigkeiten finden können. Solche Lernmedien stellen den Lernenden visuell-dynamische Repräsentationen von räumlichen Strukturen zur Verfügung, z.B. in Form von aufwändigen, interaktiven und computergenerierten Oberflächen.

Allerdings findet die Rolle von visuell-dynamischen Repräsentationen und Interaktionsmöglichkeiten im Hinblick auf das Verständnis von räumlichen Strukturen in der empirischen Lehr- und Lernforschung erst in jüngster Zeit Beachtung (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty, Keehner, Cohen, Montello & Lippa, 2007; Keehner, Hegarty, Cohen & Khooshabeh, 2007; Keehner, Hegarty, Cohen, Khooshabeh & Montello, 2008). Cohen und Hegarty (2007) zeigten, dass die effektive Nutzung von interaktiven Animationen das Verständnis der räumlichen Struktur eines 3D-Objekts unterstützt. Personen unterscheiden sich jedoch in ihrer Leistung hinsichtlich räumlicher Anforderungen in virtuellen Umgebungen. Nicht alle Lernenden profitieren daher beim Erlernen von räumlichen Konfigurationen in gleichem Ausmaß von virtuellen Modellen. Auch ist nicht jedes Individuum in der Lage, interaktive Animationen effektiv zu verwenden. Eine mögliche Erklärung für

---

die Varianz im räumlichen Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen stellen somit inter-individuelle Unterschiede seitens der Lernenden dar.

Die vorliegende Dissertation stützt sich auf die Ergebnisse der Studien, in denen die Effektivität von virtuellen Gebäudemodellen für Lern- und Trainingszwecke wiederholt repliziert wurden. Die Arbeit fokussiert auf die domänenspezifische Anwendung dieser Medien zum Erwerb von räumlichen Konfigurationen eines virtuellen Gebäudes. Dabei wurde eine virtuelle Lernumgebung eingesetzt, die auf dem Standard-Bildschirm ein dreidimensionales Gebäudemodell darstellt. Das virtuelle Gebäudemodell visualisiert die komplexen räumlichen Strukturen eines realen Gebäudes in dynamischer und interaktiver Weise. Den Lernenden wird ermöglicht, diese während einer bestimmten Zeit frei zu explorieren, um eine exakte mentale Repräsentation (Routen-/Überblickswissen) der Umgebung zu konstruieren. Auch werden ihnen verschiedene interaktive Kontrollmöglichkeiten zur selbständigen Exploration der räumlichen Konfigurationen des virtuellen 3D-Modells bereitgestellt, die sie jederzeit nutzen können. Dank dieser interaktiven Kontrollmöglichkeiten (z.B. Rotation, Zoomen, Selektion, Perspektivenwechsel, virtuelles Erkunden mit einem Avatar) ist das Gebäudemodell beliebig explorier- und virtuell begehbar.

Das Modell wird außerdem aus zwei unterschiedlichen räumlichen Perspektiven zugänglich gemacht: aus der allozentrischen Ansicht (sog. Perspektivenansicht) und aus der egozentrischen Ansicht (sog. Avataransicht). Die allozentrische Ansicht ermöglicht eine dreidimensionale Perspektive aus einem Betrachter-Standpunkt außerhalb des Modells. Diese Ansicht bietet daher eine kartenähnliche Perspektive vom ganzen Gebäudemodell beziehungsweise von einzelnen Stockwerken des Gebäudes und erlaubt spezifische Interaktionen wie z.B. das Zoomen der Karte, das Rotieren der Karte in beiden Achsen oder die Auswahl bestimmter Etagen und den Wechsel zwischen diesen. Daher ermöglicht die effektive Nutzung der interaktiven Kontrollmöglichkeiten in dieser Ansicht sowohl eine globale, als auch eine lokale Betrachtungsweise auf das Gebäudemodell und seine einzelnen Etagen. Dagegen dient die egozentrische Perspektive, also die personenbezogene Ansicht „von Innen“, dazu eine virtuelle Navigation durch die Umgebung möglich zu machen. Diese erlaubt eine virtuelle Bewegung im Modell mittels der Funktion des sog. „Avatars“. Der Avatar in dieser Umgebung ist keine sichtbare Figur; er ist quasi eine in den Körper der lernenden

---

Person integrierte Figur. Die zwei räumlichen Perspektiven sind den Lernenden nicht gleichzeitig zugänglich, d.h. dass bei der Auswahl einer Ansicht die zweite Ansicht automatisch deaktiviert wird. Zwischen beiden Ansichten können die Lerner jedoch jederzeit wechseln. Der Wechsel zwischen der egozentrischen und der allozentrischen Perspektive wird von der Arbeitsgruppe von Salzman (1998) als „bizentrische Betrachtungsweise“ bezeichnet (Salzman, Dede, Loftin & Ash, 1998, vgl. Witmer, Sadowski & Finkelstein, 2002).

Auf dieser Grundlage kann in der vorliegenden Arbeit von einer natürlichen und aktiven Interaktion mit dem virtuellen Gebäudemodell ausgegangen werden. Die Lernleistung wird als effektive Nutzung der Visualisierungsarten sowie der entsprechenden Interaktionsmöglichkeiten verstanden. Vor diesem Hintergrund lässt sich das räumliche Lernen in dieser Arbeit als ein *selbstreguliertes* Lernen bezeichnen. Es wird den Lernenden freigestellt, was sie durch die Nutzung der multiplen Etagenkarten und durch ihre virtuelle Eigenbewegung explorieren und wie sie dabei vorgehen (z.B. welche räumliche Perspektive sie jeweils nutzen). Genauso wie in Computerspielen eine Figur oder ein Fahrzeug vom Spieler gesteuert wird, können die Lerner auch in den Experimenten der vorliegenden Arbeit Objekte drehen oder zoomen etc. Daher ist die Lernleistung von ihren individuellen Fähigkeiten, ihren Verarbeitungsprozessen sowie ihrem selbstregulierten Strategieverhalten abhängig.

Auf dieser Grundlage untersucht die vorliegende Dissertation den Umgang mit solchen interaktiven Kontrollmöglichkeiten, deren Lernwirksamkeit und ihren strategischen Einsatz beim Erwerb von räumlichen Strukturen. Mit dem hier eingesetzten Design wurde dies bislang noch nicht erforscht. Die Untersuchung der zugrunde liegenden Prozesse steht daher im Mittelpunkt dieser Arbeit. Das Ziel dabei ist zu prüfen, ob und wie Individuen die räumlichen Strukturen des Gebäudes durch Exploration des virtuellen 3D-Modells anhand von unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten erfolgreich erwerben können und wie effektiv sie dabei dynamische Interaktionen einsetzen. Außerdem soll untersucht werden, welche mögliche Rolle die Nutzung von unterschiedlichen räumlichen Perspektiven für die räumliche Leistung spielt. Dabei stellt sich die Frage, welche räumliche Perspektive welche Art des räumlichen Lernens begünstigt.

Erste Befunde über inter-individuelle Unterschiede bilden die Grundlage für die weitere Zielsetzung der vorliegenden Dissertation, um letztlich Fragestellungen des Erlernens von visuell-dynamischen Darstellungen in Wechselwirkung mit gegebenen kognitiven Fähigkeiten zu untersuchen. Es wird angenommen, dass einerseits die Nutzung von virtuellen Modellen zum Erwerb von visuell-räumlichen Informationen und andererseits die effektive Interaktion mit den vorhandenen Kontrollmöglichkeiten von kognitiven Fähigkeiten seitens der Lerner, von ihren Vorerfahrungen mit Computerinterfaces und von ihren Strategien im Umgang mit interaktiven Interfaces abhängen. Befunde von Studien über inter-individuelle Unterschiede belegen, dass die Lernenden angemessene visuell-räumliche Fähigkeiten benötigen, um von interaktiven 3D-Repräsentationen der Lernumgebung profitieren zu können. Als weitere Prädiktorvariable zur Erklärung der inter-individuellen Unterschiede kann die selbstberichtete Einschätzung über die Orientierungsfähigkeit in der realen Umgebung herangezogen werden.

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Dissertation der Einfluss inter-individueller Differenzen in Personenfähigkeiten (visuell-räumliche Fähigkeiten, räumliche Orientierungsstrategien in der realen Umgebung, Vorerfahrungen mit Computerspielen) auf das Verstehen von räumlichen Zusammenhängen untersucht. Daher zielen die Forschungsfragen darauf ab, inwieweit der erfolgreiche Erwerb der räumlichen Konfiguration des Gebäudes von inter-individuellen Unterschieden und Fähigkeiten der Lernenden abhängig ist. Kann die effektive Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten durch die Lernenden über ein instruktionales Trainingsprogramm unterstützt werden? Es wird angenommen, dass das Training von Explorationsstrategien während des Umgangs mit den Interaktionsmöglichkeiten weniger ausgeprägte kognitive Personenfähigkeiten kompensieren kann. Von dem Training sollten vor allem diejenigen Lernenden profitieren, die weniger ausgeprägte visuell-räumliche Fähigkeiten aufweisen. Daher wurde ein kurzes Trainingsprogramm entwickelt. Dieses hat zum Ziel, durch den Einsatz prompt-basierter Lernhilfen kognitive und metakognitive Aspekte der Selbstregulation im interaktiven Umgang mit dem Gebäudemodell zu fördern. In allen drei Studien der vorliegenden Dissertation (Vor- und Hauptstudien I & II) beschränkt sich die Analyse des räumlichen Lernens auf das Erfassen von Routen- beziehungsweise Überblickswissen, deren Operationalisierung mittels unterschiedlicher Tests erfolgte.

## **2 Theoretischer Hintergrund**

### **2.1 Einsatz virtueller Lernumgebungen zum Verständnis von komplexen räumlichen Strukturen**

Der Einsatz von virtuellen (interaktiven) Lernumgebungen ist weit verbreitet. Sie werden mittlerweile am häufigsten in Form von computerbasierten Lehr-Lern-Programmen zum Zwecke des Wissenserwerbs, sowohl im beruflichen, als auch im schulischen Kontext eingesetzt (Mandl, Gruber & Renkl, 1997). Eine virtuelle Umgebung (z.B. virtuelles Modell) ist ein computerbasierter, simulierter Raum, in dem ein Individuum in Echtzeit mit der Nutzeroberfläche interagiert und sie exploriert (vgl. Carassa, Geminiani, Morganti & Varotto, 2002; Witmer, Bailey, Knerr & Parsons, 1996, S. 414). Diese können auf unterschiedlichen Geräten, wie zum Beispiel solchen mit virtuell eintauchenden Oberflächen (3D-Brille, head-mounted beziehungsweise helmet-mounted Bildschirm), oder auf einer Computeroberfläche (Standard- oder touch-screen-Bildschirm) ausgeführt und den Lernenden mittels unterschiedlicher Schnittstellen, wie zum Beispiel Joystick oder Tastatur und Maus, zugänglich gemacht werden.

Mit der Entwicklung der virtuellen Umgebungstechnologie werden den Nutzern neue Perspektiven dargeboten, indem zeitliche und räumliche Prozesse dynamisch dargestellt werden (vgl. Ainsworth & VanLabeke, 2004). Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, physikalische Räume oder abstrakte Konzepte zum räumlichen Lernen sowie zur mentalen Repräsentation von räumlichen Konfigurationen flexibler darzubieten. Hierfür typische Beispiele finden sich in vielen Feldern, in denen zum Beispiel geografische Informationssysteme oder naturwissenschaftliche (physikalisch-mechanische oder biologische) Systeme eingesetzt und dargestellt werden. Dabei werden den Lernenden - im Unterschied zu statischen Abbildungen - visuell-dynamische Repräsentationen von räumlichen Strukturen im dreidimensionalen Raum interaktiv anschaulich gemacht. Es wird angenommen, dass die Nutzung dynamischer Visualisierungen effektiver ist, als die Nutzung statischer Visualisierungen. Zum besseren Verständnis des Erlernens von räumlichen Strukturen erhalten visuell-dynamische Repräsentationen und der Explorations- beziehungsweise Interaktionsmöglichkeiten gegenüber den

statischen Visualisierungen zunehmende Beachtung (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty et al., 2007; Keehner et al., 2007; Keehner et al., 2008). Hierbei werden selbstbestimmte Interaktionen mit der virtuellen Umgebung und dabei die Nutzung von effektiven Strategien zur erfolgreichen Gewinnung von räumlichen Informationen als bedeutende Einflussfaktoren von zahlreichen Forschern untersucht (Carassa et al., 2002; Farrell, Arnold, Pettifer, Adams, Graham & MacManamon, 2003; Péruch, Vercher & Gauthier, 1995; Péruch & Gaunet, 1998; Wilson et al., 1997).

Cohen und Hegarty (2007) sowie Keehner et al. (2008) zeigten, dass die effektive Nutzung von interaktiven Animationen das Verständnis der räumlichen Struktur eines 3D-Objekts unterstützt. In einer Untersuchung von Münzer und Kollegen (Münzer, Seufert & Brünken, 2009) wurden die Prozesse der ATP-Synthese durch computergenerierte Animationen simuliert. Diese dynamischen Repräsentationen unterstützten die Lernenden bei ihren mentalen, visuell-räumlichen Verarbeitungsprozessen. Die Animation dient als Werkzeug, um die Veränderung der Objektansichten oder der räumlichen Konfigurationen dreidimensional und extern darzustellen, um damit die mentalen Verarbeitungsprozesse zu unterstützen. Virtuelle Lernmedien haben außerdem auch in der humanmedizinischen Ausbildung längst Zugang gefunden. Beispielsweise wird die Anatomie des menschlichen Körpers anhand von interaktiven 3D-Modellen visualisiert und den Studenten und Ärzten dadurch zugänglicher gemacht (Keehner, Khooshabeh & Hegarty, 2008).

## **2.2 Domänenspezifische Anwendung virtueller Modelle zum Verständnis von räumlichen Strukturen des umgebenden Raums**

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für ein virtuelles Modell ist die Darstellung räumlicher Konfigurationen von Außengeländen oder Innenräumen. Die Interaktion mit einem solchen Modell kann zu domänenspezifischen Lernzwecken eingesetzt werden, z.B. im Bereich der Raumkognition, welche den Erwerb von Wissen über die Struktur des umgebenden Raums beziehungsweise der räumlichen Umwelt beinhaltet. Die Lernenden können anhand von virtuellen 3D-Modellen räumliches Wissen über schwer zugängliche beziehungsweise unerreichbare Gebiete, über unbekannte Umgebungen in der realen Umwelt wie

z.B. fremde Städte (z.B. virtuelle Stadt von Gaunet, Vidal, Kemeny & Berthoz, 2001) oder über unbekanntes Gebäude (z.B. virtuelles Gebäudemodell von Witmer et al., 1996) erwerben. Die realen räumlichen Informationen können mittels virtueller Modelle effektiv vermittelt werden, da diese die räumlich-zeitlichen Aspekte der realen Umgebungen und ihre Interaktionscharakteristika in relativ realistischer Weise darstellen (Witmer et al., 1996).

Virtuelle Modelle von Außenanlagen oder Innenräumen ermöglichen unterschiedliche Arten von Bewegungen und erlauben die Betrachtung von verschiedenen Standorten aus. Mittels virtueller Gebäudemodelle können dreidimensionale Visualisierungen komplexer mehrstöckiger Gebäude wie z.B. Krankenhäuser, Flughäfen, Konferenzzentren oder Museen für unterschiedliche Zwecke den Besuchern, Architekten, Designern oder Polizisten zugänglich gemacht werden. Zum Beispiel kann für Architekten die Simulation vom menschlichen Navigations- und Orientierungsverhalten zum Zwecke der Evaluation eines noch nicht erbauten Gebäudes von Bedeutung sein. Zum Erfassen räumlicher Strukturen eines komplexen unbekanntes Gebäudes sowie zum Wegfinden kann des Weiteren ein virtuelles Modell vom betreffenden Gebäude für neue Besucher oder für Feuerwehrmänner während ihrer Rettungsaktion nützlich sein. Wegfinden beschreibt das (bewusste) menschliche Verhalten, sich in einer räumlichen Umgebung schnell und gut zu orientieren, darin effektiv und effizient zu navigieren, den Weg zu einem bestimmten Ziel zu finden und diesen Weg nach der Zielerreichung wieder zu erkennen beziehungsweise zu erinnern. Nach Münzer und Stahl (2011) umfasst das Wegfinden in unterschiedlichen Kontexten eine Reihe von Aktivitäten, wie zum Beispiel die Positionierung von Objekten in einer Umgebung, die Planung und Verfolgung einer Route und die Orientierung im Raum mit Hilfe von markanten Orten oder Ansichten. Ein virtuelles Gebäudemodell kann die Fähigkeit des Lernenden beim Wegfinden unterstützen (Münzer & Stahl, 2011).

Die zunehmende Anwendung von virtuellen Gebäudemodellen beim Erlernen von räumlichen Konfigurationen geht vor allem auf die Effektivität dieser Systeme beim Trainingstransfer in der realen Umwelt zurück. Zahlreiche Studien haben sich mit virtuellen Modellen als effektive Trainingsmedien zum Erlernen komplexer räumlicher Strukturen von Gebäuden und deren Transfer auf reale Gebäude beschäftigt (Bliss et al., 1997; Péruch et al., 1995; Péruch et al. 1998; Rossano &

---

Moak, 1998; Ruddle, Payne & Jones, 1997; Waller, Hunt & Knapp, 1998; Waller, 2000; Wilson, Foreman & Tlauka, 1997; Witmer et al., 1996). Viele dieser Arbeiten belegen eine unterstützende Rolle der virtuellen Gebäudemodelle beim erfolgreichen Navigieren und Orientieren im realen Gebäude (Wegfinden). Die Anwendung einer virtuellen Umgebung war zum Beispiel für die Lerner der Studie von Witmer et al. (1996), die ihren Weg entlang einer spezifischen Strecke durch einen großen, komplexen Büroblock finden mussten, effektiv (Transfer des Routenwissens auf die Navigation und Orientierung in der realen Umwelt). Die Feuerwehrmänner in der Untersuchung von Bliss, Tidwell und Guest (1997) konnten ihr in einer virtuellen Umgebung erworbenes Routenwissen auf eine Übung zur Feuerbekämpfung in der realen Umwelt anwenden.

Die Arbeitsgruppe von Ruddle (1997) trainierte und untersuchte das räumliche Lernen der Probanden in einem simulierten Gebäudemodell, welches auf dem realen Gebäude aus der Studie von Thorndyke und Hayes-Roth (1982) basierte. Die Ergebnisse ihrer Studie zeigen ähnliche Orientierungs- und Navigationsleistungen der Probanden wie die Lernenden in der realen Umgebung von Thorndyke und Hayes-Roth (Ruddle, Payne & Jones, 1997; Thorndyke & Hayes-Roth, 1982). Ähnliche Effekte wurden in einigen weiteren Forschungsarbeiten gefunden (z.B. Darken & Banker, 1998; Farrell et al., 2003; Münzer & Stahl, 2011; Waller et al. 1998; Waller, 2000; Waller, Knapp & Hunt, 2001; Wilson et al., 1997). Die Transfereffektivität des virtuellen Gebäudemodells auf die Navigationsleistung der Lernenden in den entsprechenden realen Gebäuden wurde auch von Farrell et al. (2003) repliziert. Wilson et al. (1997) weisen in ihrer Untersuchung auf den Transfereffekt des Konfigurationswissens über ein virtuelles Gebäude auf die reale Umgebung hin. Ihre Lernenden waren beim Kartenzichnen in der realen Umwelt besser als die Kontrollgruppe, die nicht in einer virtuellen Umgebung trainiert wurde (Wilson et al., 1997). Viele der erwähnten und nachstehenden Arbeiten (z.B. Studien der Arbeitsgruppe von Ruddle, 1998) beschäftigen sich auch mit der Frage, wie die Nutzung und Effektivität der virtuellen Umgebung maximiert werden kann. Um die Trainingseffektivität und die effektive Nutzung der virtuellen Umgebungen beim räumlichen Wissenserwerb zu fördern, müssen weitere relevante Einflussfaktoren in Betracht gezogen werden, welche bei der Trainingseffektivität der virtuellen Modelle mitwirken (Waller et al., 1998). Es muss außerdem der Frage, unter

---

welchen Bedingungen welche Arten von räumlichem Wissen erworben werden können, noch detaillierter nachgegangen werden.

## **2.3 Raumkognition**

Bevor auf weitere Einflussfaktoren des räumlichen Wissenserwerbs eingegangen wird, ist es sinnvoll, zunächst die grundlegenden Konzepte der Raumkognition und das räumliche Lernen aus Sicht der Wissenschaft zu deuten. Hierbei geht es um die Fragen, wie Individuen den sie umgebenden Raum mental repräsentieren und inwieweit sich der räumliche Wissenserwerb in realen und virtuellen Umgebungen unterscheidet. Darüber hinaus ist es für ein besseres Verständnis des Gegenstandes wichtig, nachzuvollziehen, wie der Lerner sein erworbenes Wissen von der Umgebung transferiert, um räumliche Aufgaben zu bewältigen und welche Rolle dabei inter-individuelle Unterschiede spielen.

### **2.3.1 Mentale Repräsentation räumlicher Strukturen**

Das Forschungsfeld der Raumkognition untersucht verschiedene Arten des räumlichen Wissens (mentalen Repräsentationen), die ihren Ursprung im Konzept von Siegel und White (1975) finden: *Landmarken-, Routen- und Überblickswissen*. Das sog. Landmarkenwissen bezieht sich auf gespeicherte Ansichten von den für die Navigation relevanten Objekten und Punkten aus einer bestimmten Eigenposition (vgl. Hölscher, Meilinger, Vrachliotis, Brösamle & Knauff, 2006; Witmar et al., 1996; Witmer et al., 2002). Das sog. Routenwissen umfasst prozedurales Wissen und besteht aus einer sequentiellen, assoziativen Integration der Landmarken mit Abbiegeentscheidungen oder aus sequentiellen Aufnahmen des Pfads zwischen Startposition, Landmarken und Ziel (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982; Waller et al., 1998; Witmer et al., 2002). Diese Art des Wissens wird durch die erfolgreiche Bewegung zwischen Anfangs- und Zielposition einer Route erworben. Schließlich gibt es noch das sog. Überblickswissen, das ein flexibles Wissen über die räumlichen Relationen zwischen den Landmarken in einer Umgebung und ihren Positionen bezeichnet (Witmer et al., 2002). Nach neueren Erkenntnissen differenzieren sich diese Arten des räumlichen Wissens jedoch von dem Konzept von Siegel und White (1975) dadurch, dass sie nicht nach ihrer

strikten Verfassung des räumlichen Lernens vom einfachen Landmarkenwissen zum anspruchsvolleren Überblickswissen verlaufen. Zugleich deuten diese Erkenntnisse darauf hin, dass das Erlernen von räumlichen Strukturen einer Umgebung (mentale Repräsentation der Umgebung) nicht das Konstrukt eines einzigen räumlichen mentalen Modells aus der Umgebung sein kann.

Die mentalen Repräsentationen einer Person von der interessierenden Umgebung (Routen- und Überblickswissen) können durch die Leistung in Tests abgeleitet werden. In solchen Tests müssen die im Gedächtnis gespeicherten räumlichen Informationen integriert werden, um die notwendigen Rückschlüsse ziehen zu können. In der vorliegenden Arbeit fokussiert sich die Einschätzung des räumlichen Lernens (mentale Repräsentation der Umgebung) auf das Messen des Routen- und Überblickswissens. In den Forschungsarbeiten im Bereich Raumkognition werden unterschiedliche Methoden angewandt, durch welche das räumliche Wissen abgefragt wird. Ein gängiger Weg zum Erfassen von Überblickswissen ist die Rekonstruktion der Umgebung anhand von Kartenskizzen (Billinghurst & Weghorst, 1995; Hegarty, Montello, Richardson, Ishikawa & Lovelace, 2006; Waller 2000; Wilson et al., 1997). Diese Methode beansprucht das topologische Wissen aus einer kognitiven Landkarte und weist eine hohe Validität auf. Doch ist deren Auswertung eine Herausforderung: Trotz des häufigen Einsatzes solcher Aufgaben gibt es für sie keine einheitliche Auswertungstechnik. Billinghurst und Weghorst (1995) verwendeten in ihrer Studie eine einfache topologische Methode und beschrieben dabei drei Kriterien zur Auswertung der von den Teilnehmern skizzierten Karte. Zum einen wurde bewertet, wie genau die Karte die virtuelle Umgebung wiedergibt und wie gut die Standorte der Objekte darin dargestellt sind. Zum anderen wurde eine Note für korrekte Angaben über die Anzahl von Objekten beziehungsweise Objektklassen gegeben. Schließlich wurde die relative Positionierung der Objekte zueinander auf der Karte bewertet. Waller (2000) berechnete die Summe der Differenzen (in Millimeter) zwischen den Positionen in der tatsächlichen und geschätzten Konfiguration als Maßstab für den räumlichen Wissenserwerb (metrischer Maßstab). Hegarty et al. (2006) verwendeten dahingegen keine metrische Berechnung (d.h. Berechnung der metrischen Abweichungen der Elemente auf der gezeichneten Karte von der tatsächlichen räumlichen Konfiguration), sie nahmen stattdessen eine Evaluation von drei verschiedenen qualitativen Fehlern vor: 1) Anzahl der fehlenden

---

Landmarken auf der Karte, 2) Anzahl der fehlenden beziehungsweise zusätzlichen Routen-Segmente, 3) Anzahl der Abbiegungen in eine falsche Richtung. Zur Bewertung der von den Lernenden in der vorliegenden Studie skizzierten Karten wurde ein kombinierter Maßstab (topologische und metrische Berechnungen) verwendet. Dieser wird im Folgenden an der entsprechenden Stelle zur Beschreibung der Untersuchungsmaterialien (s. Kapitel 3.2.2) detaillierter erläutert.

In vielen Forschungsarbeiten werden zur Einschätzung des erworbenen Überblickswissens weitere Methoden benutzt. In diesen werden Aufgaben gestellt, wie beispielsweise die präzise Platzierung von Objekten oder die Schätzung der Richtung von beziehungsweise der Entfernung zu unsichtbaren Objekten. Dabei werden die Teilnehmer meistens dazu aufgefordert, die Richtung und/oder Entfernung zu unsichtbaren Objekten oder die Position dieser Objekte von der eigenen Position aus zu bestimmen (Hegarty et al., 2002, Hegarty et al., 2006; Richardson et al., 1999; Waller et al., 2001). Dabei können absolute oder relative Fehler berechnet werden. Der absolute Fehler bezeichnet die absolute Differenz zwischen der geschätzten und der tatsächlichen Richtung oder Entfernung. Der relative Fehler bezieht sich auf die Korrelation zwischen der geschätzten und der tatsächlichen Richtung oder Entfernung (Waller, 1999). Korrelationen können z-transformiert werden. Um unterschiedliche Auffassungen von der Standardentfernung (wie z.B. „Fuß“ oder „Zentimeter“) zu kontrollieren, wird bei der Aufgabe der Entfernungsschätzung die Methode der relativen Berechnung von Fehlern empfohlen (Hegarty et al., 2002). „Projective convergence technique“ bezeichnet einen weiteren Maßstab aus dieser Gruppe, bei welchem der Lerner dazu aufgefordert wird, den Abstand und die Richtung zu einer Zielposition aus drei verschiedenen Beobachtungspositionen einzuschätzen. Zur Auswertung kann dabei der Mittelwert des Richtungs- oder Positionsfehlers berechnet werden (für weitere mögliche Auswertungsmethoden; s. Waller, 2000). Zur Erfassung des Überblickswissens der Lernenden der vorliegenden Studien (Vor- und Hauptstudien I & II) werden ihnen verschiedene Aufgaben zur korrekten Schätzung der Richtungen zu unsichtbaren Objekten gestellt.

Auch für die Erfassung des Routenwissens gibt es unterschiedliche Methoden. Beispiele dafür sind die verbale Beschreibung der abgelaufenen Route und der Abbiegerichtung (Saade et al., 2000). Mögliche Auswertungskriterien sind z.B. die Reihenfolge und Position der Landmarken entlang einer Route, die Anzahl der Abbiegefehler, die Berechnung der Zeit, die die Teilnehmer für die abgelaufene Strecke benötigen, der Anteil der Strecke, auf dem sie sich verlaufen hatten oder die korrekte Anordnung der Routen-Sequenzen (vgl. Wittmer et al., 1996). In den Studien der vorliegenden Dissertation wurden den Lernenden zur Erfassung ihres Routenwissens zwei Aufgaben gestellt, in denen sie zwei unterschiedliche Routen beschreiben sollten.

### **2.3.2 Mentale Repräsentation räumlicher Strukturen in Abhängigkeit von Lernerfahrungen**

Der Aufbau einer exakten Repräsentation von Strukturen des umgebenden Raums in Form von Routen- und Überblickswissen hängt von den Erfahrungen während des Lernens ab. Diese Lernerfahrungen umfassen Aspekte hinsichtlich der unterschiedlichen räumlichen Perspektiven und der Art der Informationen, die den Lernenden aus einer konkreten Perspektive während der Lernphase präsentiert werden. Die relevanten Informationen, die zum Verständnis von räumlichen Zusammenhängen der Umgebung benötigt werden, können beispielsweise durch das Studieren von Karten und durch direkte oder virtuelle Navigation in der Umgebung erworben werden. Diese verschiedenen Quellen bieten die benötigten Informationen, allerdings aus verschiedenen räumlichen Ansichten. Die hierzu bereits vorliegenden Forschungsergebnisse werden im Folgenden näher erläutert.

#### *Räumliche Perspektive*

Nach der ansichtsbasierten Betrachtungsweise unterscheiden sich mentale Repräsentationen der räumlichen Verhältnisse in Abhängigkeit von sog. räumlichen Perspektiven oder Referenzrahmen. Der mentale Verarbeitungsprozess (Transfer) für die Bewältigung von räumlichen Anforderungen erfolgt dann auf Basis der entsprechenden mentalen

Repräsentationen. Dies bedeutet, dass das räumliche Wissen (Landmarken-, Routen- und Überblickswissen) in der Perspektive enkodiert und verarbeitet wird, in der die räumlichen Informationen aufgenommen werden (Farrell et al., 2003; vgl. Saade & Werner, 2000 für eine Übersicht). Dabei wird in Anlehnung an Nigros und Neissers (1983, vgl. Saade & Werner, 2000, S. 3) zwischen zwei, den „*allozentrischen* und *egozentrischen*“ Perspektiven, unterschieden. Die mentale Repräsentation einer Route wird auf der Basis des *egozentrischen Referenzrahmens* aufgebaut, während die Repräsentation der Konfiguration auf einem *allozentrischen Referenzrahmen* basiert.

In einer egozentrischen Repräsentation sind Positionen von Objekten sowie Relationen zwischen den Objekten im Verhältnis zum beobachtenden Individuum repräsentiert und die Ausrichtung der Repräsentation hängt von der eigenen Orientierung der Person in der Umgebung ab (Gillner & Mallot, 1998, Saade et al. 2000). Unter „Orientierungsausrichtung“ des Individuums ist die Richtung gemeint, zu der die Vorderseite des Individuums (körperlich/in der mentalen Vorstellung) ausgerichtet ist. Daher sind egozentrische Repräsentationen relativ: Wenn das Individuum sich in der Umgebung bewegt (z.B. durch Navigieren), ändern sich auch alle räumlichen Relationen. Die mentale Repräsentation des Lerners wird auf Grundlage der Eigenbewegung ständig aktualisiert. Bei Bewegungen innerhalb einer Umgebung ist zwischen Rotationen (Änderung der Richtung) und Translationen (Änderung der Entfernung) zu unterscheiden. Bei *Rotationen* verändert sich die Richtung zu den Objekten; dabei bleibt das Individuum an Ort und Stelle und dreht sich um die eigene Körperachse. Dadurch bleiben die Entfernungen, die die Objekte zum Individuum haben (Selbst-Objekt-Entfernungen), konstant. Die Richtung, in der sich die Objekte - ausgehend vom Individuum - befinden (Selbst-Objekt-Richtung), verändert sich in Abhängigkeit vom Rotationswinkel um einen konstanten Winkelbetrag. Die *Translationen* basieren dahingegen auf Änderungen sowohl in der Entfernung als auch in der Richtung. Dabei bewegt sich das Individuum von seiner Ausgangsposition hin zu einem anderen Ort. Seine Körperausrichtung ändert sich jedoch nicht, da es nicht rotiert. Demzufolge verändern sich Selbst-Objekt-Entfernungen sowie Selbst-Objekt-Richtungen.

Im Gegensatz zur egozentrischen Repräsentation sind für das Verständnis der Konfiguration von Objekten die Kenntnisse der eigenen Position und der Orientierung des Individuums nicht erforderlich. Hierbei bestehen weniger Aktualisierungsanforderungen, als bei einer egozentrischen Repräsentation, weil die Änderung der räumlichen Relationen zwischen statischen Objekten in der Umgebung nicht aus einer Personenbewegung resultiert; die Objekte sind auf einem externen Referenzrahmen dargestellt, wobei beliebige räumliche Relationen simultan sichtbar sein können. Zusammenfassend resultieren Unterschiede in den mentalen Repräsentationen von räumlichen Strukturen in Abhängigkeit von vorhandenen räumlichen Perspektiven, in denen räumliche Informationen dargestellt sind und von der Position und der Ausrichtung, die Personen und Objekte annehmen.

#### *Karte und direkte Navigation*

Des Weiteren hängen die Art und Qualität von mentalen räumlichen Repräsentation von der Art und Qualität von Informationen ab, die von Lernenden aufgenommen und verarbeitet werden (Devlin & Bernstein, 1995; Richardson, Montello & Hegarty, 1999; Shelton & McNamara, 2004). Da räumliche Strukturen der Umwelt typischer Weise durch das Studieren von Karten oder durch direkte Navigation in der Umgebung erworben werden, unterscheiden sich die daraus entnommenen Informationen. Dementsprechend unterscheiden sich auch Art und Qualität der mentalen räumlichen Repräsentationen (Routen- oder Überblickswissen), die auf Grundlagen dieser Informationen zustande kommen. Die in der Praxis oft verwendeten Karten (z.B. Etagenkarte, technische Zeichnungen oder „you-are-here“ (YAH)) bieten eine statische und symbolische Visualisierung von räumlichen Konfigurationen der Umweltkomponenten (wie z.B. Gebäude, Orte, Regionen) oder von Routen entlang dieser Komponenten. Diese Art der Visualisierung wird in der Regel aus einer vertikalen Ansicht von außen, die von der Position und der Ausrichtung des betrachtenden Individuums unabhängig ist, dargestellt. Das Studieren der Karte (in allozentrischem Referenzrahmen) unterstützt den Erwerb von Überblickswissen in Form einer sog. „*cognitive map*“ oder „*mentalen Landkarte*“ (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982; Waller et al., 1998). Dies unterstützt die Bewältigung von räumlichen

Anforderungen wie zum Beispiel Richtungs- und Entfernungsschätzungen zwischen räumlichen Komponenten, die räumliche Orientierung im Raum oder den Überblick über eine bislang unbekannte Route.

Im Gegensatz zur Karte basieren Navigationserfahrungen nicht auf allozentrischen, statischen Modellen einer mentalen Landkarte, sondern erfolgen aus der egozentrischen, dynamischen Perspektive (horizontale Ansicht inmitten der Umgebung), welche positions- und orientierungsabhängig ist. Die direkte Navigation in der Umgebung (basierend auf egozentrischen Referenzrahmen) begünstigt den Erwerb von Routen- und Landmarkenwissen, wie in einigen Studien (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982; Ruddle et al., 1997) belegt werden konnte. Die aus einer egozentrischen Perspektive gewonnenen routenbasierten Informationen können leichter generiert und verarbeitet werden, als wenn sie durch eine Karte mit allozentrischer Perspektive repräsentiert werden: Das Ableiten von Routeninformationen aus einer Karte erfordert vom Lerner anspruchsvolle kognitive Verarbeitungsprozesse und das ständige Wechseln zwischen der allozentrischen und der egozentrischen Perspektive (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982; Münzer & Stahl, 2011).

Thorndyke und Hayes-Roth (1982) untersuchten in ihrer Arbeit die Unterschiede im räumlichen Lernen basierend auf entweder einer egozentrischen Perspektive anhand direkter Navigation im Gelände oder auf einer allozentrischen Perspektive anhand des Studierens einer Etagenkarte. Ihre Lerner mit direkter Navigationserfahrung konnten die räumlichen Aufgaben genauer lösen, welche das egozentrisch basierte Wissen erforderten. Sie waren aufgrund ihres erworbenen prozeduralen Wissens über die Route zwischen den Landmarken im Gebäude bei der Schätzung der Routenentfernung genauer als bei der Schätzung der direkten Luftlinienentfernung. Im Gegensatz dazu standen die Ergebnisse der Teilnehmer, die über die Etagenkarte verfügten. Sie lösten aufgrund ihrer mentalen Karte die räumlichen Aufgaben, die die Nutzung einer allozentrischen Perspektive erforderten (wie z.B. Platzierung von Landmarken auf der Karte) genauer als z.B. eine Zeigeaufgabe auf unsichtbare Objekte (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982). Dieser Befund konnte auch von anderen Arbeitsgruppen (z.B. Rossano, West, Robertson, Wayne & Chase, 1999) bestätigt werden. Lernende mit Karte waren besser bei den Aufgaben, die das Wissen über Konfigurationen

erforderten; dahingegen waren Lernende mit direkter Navigationserfahrung akkurater in routenbasierten Aufgaben. Ähnliche Ergebnisse wurden von Ruddle et al. (1997) repliziert, die ein virtuelles Modell vom gleichen realen Gebäude wie Thorndyke und Hayes-Roth (1982) untersuchten. Die Lerner ihrer Untersuchung lernten die räumliche Struktur eines virtuellen Gebäudes durch egozentrische Navigation in einer virtuellen Umgebung. Der Erwerb von Routenwissen erfolgte basierend auf dem egozentrischen Referenzrahmen bei der virtuellen Navigation genauso akkurat wie in der realen Navigation. So lässt sich unterzeichnen, dass die unterschiedlichen räumlichen mentalen Repräsentationen auf bestimmten räumlichen Referenzrahmen am besten durch die entsprechende visuelle Repräsentation gefördert werden.

### *Virtuelle Lernumgebung*

Die Nutzung einer virtuellen Umgebung (zum Beispiel eines virtuellen Gebäudes) ist eine weitere Alternative zu den oben genannten üblichen Lernerfahrungen mit dem Ziel des Erwerbs räumlicher Strukturen. Das Lernen durch Navigation in einer virtuellen Umgebung ist ähnlich wie das Lernen durch direkte Navigation in einer realen Umgebung, insbesondere wenn die virtuelle Umgebung die reale Umwelt akkurat abbildet. Die virtuelle Navigation enthält viele visuell-räumliche Charakteristika der realen Navigation und die räumlichen Informationen werden üblicherweise in der egozentrischen Perspektive zugänglich gemacht. Daher bewirkt die virtuelle Navigation qualitativ ähnliche mentale Repräsentationen wie die reale Navigation. Die virtuelle Navigation bietet ständige simultane Änderungen in den egozentrischen räumlichen Verhältnissen, die aus der Bewegung in der Lernumgebung resultieren und die zudem für die Navigation in der realen Umwelt typisch sind. Vor diesem Hintergrund wird angenommen, dass durch die virtuelle Navigation die mentale Repräsentation der Route genauso unterstützt wird (Ruddle et al., 1997) wie durch die reale Navigation (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982).

Es scheint trotzdem qualitative Unterschiede zwischen dem Lernen in realen Umgebungen und dem Lernen in virtuellen Umgebungen zu geben. Obwohl die virtuellen Modelle sich als effektive Trainingsmedien erwiesen haben (für einen Überblick über entsprechende Studien; s. Punkt 2.2), fanden einige Studien, dass die Lerner der virtuellen Umgebungen tendenziell mehr Fehler bei Navigations- und Orientierungsaufgaben begehen, als die Lerner der realen Umgebung. Witmer und Kollegen (1996) fanden, dass das virtuelle Training für die Navigation in einem realen Gebäude nützlich war, jedoch nicht das gleiche Leistungsniveau produzierte, wie die reale Navigation oder das Studieren einer Karte. Sie konnten zeigen, dass ihre virtuellen Navigatoren mehr Fehler beim Wegfinden (Transfer des Routenwissens) machten als die realen Navigatoren. Wilson, Foreman und Tlauka (1996) haben zudem gezeigt, dass die Personen, die in der realen Umgebung navigierten, bei der Richtungsschätzung genauer waren als die virtuellen Navigatoren. Dieses Ergebnismuster ist vermutlich abhängig vom Ausmaß der Ähnlichkeit zwischen der virtuellen Umgebung und der realen Umwelt.

### *Schlussfolgerung*

Als Diskrepanz zu den obengenannten Studien haben jedoch einige Arbeiten hinsichtlich der räumlichen mentalen Repräsentation in Abhängigkeit von unterschiedlichen Arten der Repräsentationen *keinen* Unterschied zwischen dem realen oder virtuellen Training und der Kartennutzung gefunden (Bliss et al., 1997; Darken & Banker, 1998; Devlin & Bernstein, 1995; Farell et al., 2003; Münzer & Stahl, 2011; Richardson et al., 1999; Waller et al., 1998). Es scheint in diesen Studien keinen Effekt der Art der in der Lernphase präsentierten räumlichen Informationen (in Anlehnung an unterschiedliche räumliche Perspektiven) auf die Art und das Ausmaß der Leistung im räumlichen Wissenserwerb zu geben. In der Studie von Richardson et al. (1999) zeigten die Navigatoren in der realen Welt und die Kartenleser keinen Unterschied hinsichtlich des Ausmaßes ihres Routen- und Überblickswissens. Die Lernenden der Studie von Rossano et al. (1999) konnten über das virtuelle simulierte Modell sowohl Routenwissen als auch Überblickswissen erwerben. Die überblicksbasierte Repräsentation scheint auch durch direkte Navigationserfahrung in der (realen/virtuellen) Umgebung konstruiert

zu werden (Gillner & Mallot, 1998; vgl. Münzer, Zimmer & Baus, 2012 für weiteren Überblick). Die Lernenden der Studie von Ruddle et al. (1997), die durch das virtuelle Gebäude navigierten, konnten zusätzlich zur routenbasierten mentalen Repräsentation des Gebäudes auch überblickbasiertes räumliches Wissen erwerben. Ähnliche Ergebnisse replizierten Gillner und Mallot (1998). Sie zeigten, dass räumliche Konfigurationen einer virtuellen Umgebung in einer begrenzten Zeit und ohne Anwendung einer Karte erworben werden können.

Auch das Studieren von Karten kann für das Bilden von routenbasierten Repräsentationen der Umgebung effektiv sein (Devlin & Bernstein, 1995; Richardson et al., 1999). Münzer und Stahl (2011) zeigten zudem in ihrer Studie, dass das Routenwissen über die allozentrische Karte genauso erworben werden kann, wie über die egozentrische Repräsentation (wie z.B. statische oder animierte Bilder). Dies stellt allerdings zusätzliche mentale Anforderungen an den Lerner, denn er muss zwischen den räumlichen Perspektiven (von allozentrisch zu egozentrisch) mental wechseln. Zum Beispiel resultieren die Verzögerungen bei den routenbasierten Wegfinden-Aufgaben aus dieser zusätzlichen mentalen Anstrengung. Andererseits werden die aus der Karte gewonnenen Strukturinformationen über das Gebäude (z.B. Position des Treppenhauses in der Mitte des Gebäudes) für das Routenlernen benutzt, die wiederum qualitativ anders sind als die Informationen aus Routen-Segmenten (Münzer & Stahl, 2011). Dies ist jedoch abhängig davon, inwieweit und wie qualitativ hochwertig eine Karte die strukturellen Informationen über das Gebäude vermittelt.

Jedenfalls ist, wie bereits erwähnt, eine Karte effizient und ihre Anwendung begünstigt bestimmte mentale Repräsentationen der räumlichen Strukturen von Gebäuden und kann dann die aktuelle Orientierung und erfolgreiche Navigation in Gebäuden unterstützen (Devlin & Bernstein, 1995; Münzer & Stahl, 2011; Richardson et al., 1999). Durch die Karte kann das Wissen über die Konfigurationen schneller und akkurater erworben werden (Richardson et al., 1999). In der Studie von Devlin und Bernstein (1995) bevorzugten die Probanden die Kartennutzung im Unterschied zu verbalen beziehungsweise visuellen Repräsentationen. Außerdem zeigen einige Studien keinen zusätzlichen Nutzen von realem oder virtuellem Lernen gegenüber der Kartennutzung hinsichtlich der Leistung in Orientierungs- und Navigationsaufgaben. Beispielsweise fand die Arbeitsgruppe von Farrell et al. (2003), dass nach einer relativ kurzen

Trainingszeit die Nutzung einer virtuellen Umgebung keine Überlegenheit zur Kartennutzung hinsichtlich des Erwerbs von räumlichen Strukturen besitzt. Bliss et al. (1997) fanden zudem keinen Unterschied zwischen dem Lernen über eine Karte und dem Lernen über ein virtuelles Gebäudemodell. Obwohl das virtuelle Training den Transfer des Routenwissens auf die reale Umwelt unterstützt, ist dies für das Navigieren und Wegfinden im Gebäude nicht effektiver als das Studieren des Gebäudeplans.

Dennoch ist die räumliche Darstellung anhand von Karten nicht ganz flexibel. Beispielsweise ist die gewonnene mentale Repräsentation durch die Karte orientierungsspezifisch und abhängig von der Orientierung der Karte in der Lernphase (Rossano & Moak, 1998; Rossano & Warren, 1989; Richardson et al., 1999). Hierbei sprechen die Autoren von einem „*Ausrichtungseffekt*“ (Alignment Effect). Lernt ein Individuum eine Umgebung durch die Karte kennen und wird danach in der Umgebung getestet, führt das Kartenlernen zu einer besseren Leistung, wenn die Orientierung der Testsituation mit der ursprünglichen Orientierung der Karte aus der Lernzeit übereinstimmt (Shelton & McNamara, 2004). Wenn die Lerner Orientierungsentscheidungen in einer Situation treffen, die der Ausrichtung der Ausgangskarte entsprechen, sind sie erfolgreich. Hingegen zeigen sie schlechte Leistungen, wenn die Orientierungssituation in der Testphase von der Ausrichtung der Karte in der Lernphase abweicht (zumindest wenn diese größer als  $45^\circ$  ist) oder entgegengesetzt der Orientierung der Karte ausgerichtet ist. Hier sprechen Richardson et al. (1999) von „*Gegen-Ausrichtung*“ (contra alignment) bei einer Abweichung von  $180^\circ$ . Der Ausrichtungseffekt wird eliminiert, wenn unterschiedliche Orientierungsrichtungen, anstatt nur eine einzige Richtung, gelernt werden (vgl. Richardson et al., 1999). Daher kommt dieser Effekt beim direkten Lernen der Umgebung beziehungsweise über eine virtuelle Umgebung nicht zustande. Die Karte produziert eine orientierungsspezifische Repräsentation der Umgebung. Eine virtuelle Umgebung führt dagegen zu einer flexiblen orientierungsfreien Repräsentation.

Außerdem bietet die Karte ein zweidimensionales, allozentrisches Layout von räumlichen Konfigurationen. Es ist wahrscheinlich schwierig, komplexe dreidimensionale räumliche Strukturen anhand von Karten abzubilden. Um beispielsweise ein komplexes dreidimensionales Gebäude zu präsentieren, werden einzelne Karten der jeweiligen Etagen bereitgestellt. Diese sollen die

---

unterschiedlichen räumlichen Strukturen unterschiedlicher Etagen darstellen. Es ist für die Besucher des Gebäudes eine Herausforderung und daher schwierig, die komplexen räumlichen Strukturen durch das Studieren der multiplen Karten zu verstehen. Die Nutzung einer virtuellen Umgebung des Gebäudes mit flexiblen visuellen Zugängen ist deshalb eine gute Alternative. Allerdings stellt eine virtuelle Umgebung in der Regel keine allozentrische Ansicht (keine Vogelperspektive), sondern nur eine egozentrische Perspektive zur Verfügung. Um die Fähigkeit der Teilnehmer zur konfigurationsbasierten Repräsentation und daraufhin zum Navigieren durch die virtuelle Umgebung zu fördern, wäre es daher sinnvoll, wenn zusätzlich eine globale Karte von den räumlichen Konfigurationen der Umgebung zur Verfügung gestellt werden würde (Bliss et al., 1997).

Über das charakteristische Design der virtuellen Umgebung (z.B. Genauigkeit der Abbildung der realen Umwelt) und/oder über die Verwendung zusätzlicher Komponenten (z.B. zusätzliche Karte zur virtuellen Umgebung) hinaus, stellen sich die Eigenschaften seitens des Lernalers als bedeutende Variablen dar, um eine exakte mentale Repräsentation (Routen-/Überblickswissen) von der Umgebung zu konstruieren. Die Untersuchung der Auswirkung dieser Variablen auf den räumlichen Wissenserwerb bildet den Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten im Bereich des virtuellen Lernens (z.B. Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty & Waller, 2005; Hegarty et al., 2006; Waller, 2000; Waller, Knapp & Hunt, 2001). Im Gegensatz zu Darken (1996; Darken et al., 1996a), der sich mit Forschungsfragen über die Auswirkung von charakteristischen Designs der Lernumgebungen zur effektiven Bildung von mentalen Repräsentationen beschäftigt und diese diesbezüglich als relevante Faktoren betont, heben Waller und seine Arbeitsgruppe (Waller, Knapp & Hunt, 2001) die Bedeutung von kognitiven Fähigkeiten der Individuen und ihrer diesbezüglichen Differenzen hervor. Sie zeigen, dass es für den Erwerb von konfiguralem Wissen weniger bedeutsam ist, dass die virtuelle Umgebung die reale Umwelt exakt abbildet. Um genaue mentale Repräsentationen von der Umgebung zu bilden, spielen stattdessen die vorherigen Erfahrungen des Lernenden und seine kognitiven Fähigkeiten eine bedeutende(re) Rolle.

### 2.3.3 Inter-individuelle Unterschiede in Personenfähigkeiten

Individuen unterscheiden sich in ihren räumlichen Leistungen, beispielsweise in ihrer Fähigkeit, einen Weg zu finden und eine exakte mentale Repräsentation davon zu bilden. Solche Differenzen liegen in vielen Navigationsleistungen vor, z.B. wenn Personen räumliche Konfigurationen durch direkte Navigation in der realen Umwelt (vgl. Malinowski, & Gillespie, 2001), durch das Studieren von Karten (vgl. Liben, Myers & Christensen, 2010) oder durch die Interaktion mit einer virtuellen Umgebung (Hegarty et al., 2006; Waller et al., 2001) erwerben. Die Leistungsunterschiede zwischen Individuen scheinen allerdings in den virtuellen Umgebungen größer auszufallen als bei identischen Aufgaben in realer Umwelt (Bliss et al., 1997; Waller et al., 1998; Waller, 2000; Waller et al., 2001; Witmer et al., 1996). Dies lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass das virtuelle Lernen nicht nur die zahlreichen, für das Lernen in einer realen Umwelt benötigten Fähigkeiten beansprucht, sondern zusätzliche Anforderungen an den Lerner stellt. Beispielsweise sind die Bewegungen (Rotation und Translation) in einer virtuellen Umgebung ausschließlich optischer Natur, während in der realen Umwelt auch vestibuläre und kinästhetische Modalitäten involviert sind. Die individuellen Differenzen in den kognitiven Fähigkeiten, diesen zusätzlichen Anforderungen gerecht zu werden, tragen zu den stärker ausgeprägten Unterschieden in der Leistung in den virtuellen Umgebungen bei.

Auf dieser Grundlage stützt sich die Erklärung von Differenzen in der Leistung bei räumlichen Anforderungen auf die Analyse der inter-individuellen Fähigkeiten - kognitive Fähigkeiten und ihre Verarbeitung - seitens der Lernenden. Diese Analyse verfolgt das Ziel, Variablen zu untersuchen beziehungsweise zu identifizieren, welche die beschriebenen Varianzen erklären. In zahlreichen Forschungsarbeiten werden die Auswirkung von inter-individuellen Unterschieden in *mentalen, visuell-räumlichen Fähigkeiten* (Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Hegarty & Waller, 2004 & 2005; Hegarty et al., 2006) und in der *selbstberichteten Orientierungsstrategie* in der realen Umwelt (Hegarty, Richardson, Montello, Lovelace & Subbiah, 2002; Kozlowsky & Bryant, 1977; Münzer & Hölscher, 2011; Pazzaglia & De Beni, 2001) als relevante Prädiktorvariablen zur Erklärung der Leistungsvariationen beim virtuellen Lernen untersucht. Es wird außerdem diskutiert, ob sich die Leistung von Frauen und Männern in den räumlichen

Orientierungsaufgaben stark unterscheidet (Sandstrom, Kaufman & Huettel, 1998; Waller et al., 1998; Waller, 2000; Waller et al., 2001; Witmer et al., 1996). Dies kann teilweise daran liegen, dass Frauen und Männer bei den Orientierungsaufgaben unterschiedliche Strategien anwenden (Lawton, 1994, 1996; Lawton & Kallai, 2002). In einigen Studien werden zusätzlich zu der *Vorerfahrung der Lernenden mit Computerinterfaces* (Computeranwendung im Allgemeinen und spezifisch Computerspiele; Waller, 2000; Waller et al., 2001) auch den *Explorationsstrategien* der Lernenden zur Gewinnung von räumlichen Informationen (Hölscher, Meillinger, Vrachliotis, Brösamle & Knauff, 2006) bedeutende Effekte zugeschrieben. Im Folgenden werden die differenziellen Effekte der bereits erwähnten Personeneigenschaften und ihre zugrundeliegenden Fähigkeiten als Prädiktorvariablen zur Erklärung der Unterschiede beim räumlichen Wissenserwerb näher beschrieben.

### *Visuell-räumliche Fähigkeiten*

Visuell-räumliche Fähigkeiten stellen kognitive Voraussetzungen dar, mit denen man sich erfolgreich orientieren, effizient navigieren oder korrekte mentale Repräsentation von der Umgebung bilden kann, sowohl in der realen Umwelt (Thorndyke & Goldin, 1983) als auch in virtuellen Umgebungen (aktiv/passiv) (Hegarty et al., 2006; Moffat, Hampson & Hatzipantelis, 1998; Waller, 2000). Studien über inter-individuelle Unterschiede zeigen, dass die Lernenden visuell-räumliche Fähigkeiten benötigen, um von dynamischen und interaktiven Visualisierungen profitieren zu können (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty & Waller, 2004, 2005; Hegarty et al., 2006; Moffat et al., 1998; Waller 1999, 2000). Diese Befunde zeigen, dass die visuell-räumlichen Fähigkeiten bessere Prädiktorvariablen für die Vorhersage des räumlichen Verhaltens in virtuellen Umgebungen, als für die Vorhersage derselben Aktivitäten in realer Umwelt darstellen. Der Zusammenhang ist schwach, wenn das räumliche Wissen aus der direkten Interaktion mit einer realen Umwelt erworben wird (Hegarty et al., 2006; s. Hegarty & Waller, 2005 für einen Überblick). Dieser Befund wird durch weitere Untersuchungsergebnisse einer Forschergruppe an der Universität des Saarlandes bestätigt (Münzer, Zimmer & Baus, 2012).

---

Zur Erfassung der visuell-räumlichen Fähigkeiten werden üblicherweise psychometrische Tests verwendet. Die meisten Tests der räumlichen Fähigkeiten sind zweidimensionale Papier-Stift-Aufgaben, welche in der Regel zwei bedeutende Dimensionen der räumlichen Fähigkeiten, „*räumliche Visualisierung*“ und „*räumliche Orientierung*“, abbilden. Diese beinhalten die perzeptuelle Überprüfung, die mentale Vorstellung und die Transformation von Objekten oder die Manipulation von kleinen Gegenständen. Räumliche Visualisierung umfasst die Fähigkeit, vorgestellte Bewegungen im dreidimensionalen Raum zu begreifen oder Objekte mental zu bewegen (z.B. mentale Rotation von abgebildeten Würfeln oder mentales Falten/Entfalten von präsentierten Papierblättern). Räumliche Orientierung bezeichnet hingegen die Fähigkeit, sich die Positionen von Objekten aus verschiedenen Betrachter-Perspektiven vorzustellen und die räumlichen Beziehungen im zwei- und dreidimensionalen Raum wahrzunehmen (z.B. mentaler Perspektivenwechsel zur Einschätzung von Richtungen).

Es scheinen Gemeinsamkeiten zwischen den oben genannten Testdimensionen bezüglich der kognitiven Verarbeitungsprozesse der Enkodierung und Speicherung von räumlichen Informationen vor zu liegen. Die Grundlage für Diskrepanzen zwischen diesen Tests bilden die Unterschiede in der kognitiven Fähigkeit des Transfers von räumlichen Informationen (basierend auf unterschiedlichen räumlichen Referenzrahmen), in der Kodierungsgeschwindigkeit, in der Kapazität des räumlichen Arbeitsgedächtnisses sowie in den Lösungsstrategien (Informationsverarbeitender Ansatz: s. Hegarty & Waller, 2004, 2005; Hegarty et al., 2006). Die räumliche Visualisierung erfordert eine objektbasierte mentale Transformation auf der Basis eines allozentrischen Referenzrahmens. In diesem ändert sich die Position von Objekten in Bezug auf die Umgebung, nicht auf Grund der egozentrischen Perspektive durch Änderung der eigenen Position (in der Vorstellung). Im Gegensatz dazu ändert sich bei der räumlichen Orientierung der eigene egozentrische Referenzrahmen (Wechsel/Übernahme der Perspektive), ohne dass Änderungen der Relationen zwischen den Objekten oder Änderungen in allozentrischen Referenzrahmen involviert sind.

Die Befunde der Studien zu inter-individuellen Unterschieden, die sich mit den Relationen zwischen den durch psychometrische Tests erfassten räumlichen Fähigkeiten und den Leistungen in räumlichen Aufgaben befassen, sind jedoch nicht konsistent. Einige Forscher finden keine Zusammenhänge zwischen diesen Fähigkeiten und Leistungen (Allen, Kirasic, Dobson, Long & Beck, 1996; Lorenz & Neisser, 1986; vgl. Coluccia & Louse, 2004 & Hegarty et al., 2002 für eine Übersicht; Waller, 1999; Waller et al., 1998). In manchen Arbeiten wurde jedoch ein moderater signifikanter Zusammenhang gefunden (Thorndyke & Goldin, 1983; Darken, 1996). Beispielsweise hat Waller (2000) durch die Anwendung von Tests zur räumlichen Visualisierung und zur räumlichen Orientierung, bei einer großen Studienteilnehmerzahl ( $n = 151$ ), einen bedeutsamen Zusammenhang zwischen verschiedenen räumlichen Fähigkeiten beziehungsweise Leistungen auffinden können. Weitere Arbeiten, die solche Zusammenhänge untersucht haben (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty et al., 2004; Waller et al., 2001), zeigen eine signifikante Vorhersage der räumlichen Leistung durch die räumlichen Fähigkeiten. Werden die Lerner aufgefordert, in einer relativ kurzen Zeit eine exakte mentale Repräsentation von räumlichen Konfigurationen zu erwerben, zeigen sich hohe Korrelationen (Hegarty et al., 2004). Basierend auf der Analyse der Verarbeitungsprozesse gehen die Autoren von bedeutenden Relationen zwischen den psychometrischen Tests und ihren zugrunde liegenden Prozessen der Wahrnehmung und Kognition für die erforderlichen Prozesse beim Erwerb von räumlichem Umgebungswissen aus.

Bei der Bewältigung von räumlichen Aufgaben spielen somit kognitive Prozesse der Enkodierung und Speicherung, sowie visuell-räumliche Transformationsprozesse zur Inferenz der mentalen Repräsentationen eine wichtige Rolle (Informationsverarbeitender Ansatz: s. Hegarty & Waller, 2005; Hegarty et al., 2006). Die visuell-räumlichen Fähigkeiten der Lernenden stellen auch beim Erwerb von räumlichen Informationen über visuell-dynamische Lernmedien (z.B. Videos) oder über virtuelle Umgebungen eine wichtige Voraussetzung dar (Hegarty et al., 2006). Besser ausgeprägte Fähigkeiten in der räumlichen Visualisierung fördern die Verarbeitung von visuell-räumlichen Darstellungen; dies gilt insbesondere für die Verarbeitung von animierten Darstellungen (Hegarty, Kriz & Cate, 2003; Hegarty et al., 2004). Insbesondere Personen mit gut ausgeprägten visuell-räumlichen Fähigkeiten nutzen die

---

interaktiven Explorationsmöglichkeiten (z.B. Animationen) in effektiver Weise. Im Gegensatz hierzu können Personen mit geringer ausgeprägten Fähigkeiten der räumlichen Visualisierung nicht von visuell-dynamischen Repräsentationen profitieren. In einer Studie von Cohen und Hegarty (2007) konnten Personen mit stärker ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten bessere Schnittflächenansichten von dreidimensionalen Objekten zeichnen als Personen mit geringer ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten. Dieses Ergebnis ist darin begründet, dass die Personen mit höheren räumlichen Fähigkeiten einen besseren Nutzen aus den verfügbaren Animationen ziehen konnten (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty et al., 2003).

In dieser Forschungsarbeit führten die Teilnehmer beim Erfassen von räumlichen Strukturen des 3D-Gebäudemodells, sowie beim Umgang mit den vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten eine Reihe von kognitiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen aus, für die es keine obligatorische Reihenfolge gab. Diese kognitiven Prozesse sind für die inter-individuellen Differenzen in den räumlichen Leistungen verantwortlich. Dabei sind, basierend auf der kognitiven Aufgabenanalyse nach Hegarty et al. (2006), drei Varianzquellen als relevant zu beachten. Zunächst müssen die räumlichen Informationen über die Konfiguration des virtuellen Gebäudes (z.B. Form des Gebäudes, Aufbau und Anzahl der Etagen), die räumlichen Beziehungen zwischen den Gängen und Etagen sowie die metrischen Informationen über die Entfernungen zwischen den Objekten durch die visuellen Inputs (über interaktive Schnittstellen) enkodiert werden, um ein erstes räumliches Verständnis von der visuellen Darstellung zu gewinnen. Individuen unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit zur Enkodierung von Informationen aus unterschiedlichen Visualisierungen (allozentrische Visualisierung durch virtuelle 3D-Karten oder egozentrische Visualisierung durch virtuelle Bewegung). Diese Unterschiede können durch räumliche Tests erfasst werden, die die Enkodierung von Figuren und ihre Rekonstruktion in komplexere Figuren (z.B. Mustererkennung-Test von Ekstrom, French, Harman & Dermen, 1976) messen.

Anschließend werden eine anspruchsvolle mentale Repräsentation oder multiple Repräsentationen der aufgenommenen Informationen im räumlichen Gedächtnis konstruiert. Diese beinhalten entweder routenbasiertes Wissen (z.B. Speicherung der Reihenfolge der Objekte oder sequenzielle Ansichten auf Grundlage der

virtuellen Bewegung durch die Umgebung) oder konfigurationsbasiertes Wissen (zweidimensionale Repräsentation der Konfiguration einzelner Etagen beziehungsweise des ganzen Gebäudes). Hierbei spielt das räumliche Arbeitsgedächtnis mit seinen Komponenten als Prädiktorvariable vor allem für die Speicherung der mentalen Repräsentation der Konfigurationen eine bedeutende Rolle (Hegarty et al., 2006), da die räumliche Struktur des Gebäudes nicht durch eine einzige Ansicht vollständig erfasst werden kann. Stattdessen wird die räumliche Struktur durch die Aufrechterhaltung der Reihenfolge der angetroffenen Ansichten (multiple Ansichten) aus unterschiedlichen Perspektiven im Laufe der Zeit erlernt. Hierbei werden die räumlichen Informationen im räumlichen Arbeitsgedächtnis als Konfigurationen aufrechterhalten. Darüber hinaus können die routenbasierten Repräsentationen als verbalkodierte Informationen gespeichert werden; hierbei ist das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis vermutlich nicht von Relevanz (Hegarty et al., 2006).

Schließlich erfolgen visuell-räumliche Transformationsprozesse, um Rückschlüsse von den mentalen Repräsentationen auf die Umgebung ziehen zu können. Diese Prozesse sind erforderlich, um die wechselnden Ansichten zu verstehen, die durch Rotieren und Schieben der Karte der Umgebung und durch den Perspektivenwechsel zwischen egozentrischen und allozentrischen Ansichten zustande kommen und um ein kohärentes mentales Modell aufbauen zu können. Die Lernenden rotieren dabei ihre interne Repräsentation vom Gebäude (Route beziehungsweise Überblick) und/oder ändern ihre Perspektive hinsichtlich der mentalen Repräsentation. Der interne Perspektivenwechsel ist dann notwendig, wenn der Lernende die mentale Repräsentation der Route anhand der Karte oder die mentale Repräsentation der Struktur über virtuelle Bewegungen durch das Gebäude konstruiert. Diesen kognitiven Transformationsprozessen zufolge sind die mentalen Rotationstests und der Test der Perspektivenübernahme als Vorhersagevariablen zulässig (Allen et al., 1996; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Hegarty & Waller, 2004). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass als Prädiktorvariablen die kognitiven Prozesse der Enkodierung, Speicherung und mentalen Manipulation der räumlichen Visualisierungen herangezogen werden sollten. Deshalb wird in den Hauptstudien I und II in der vorliegenden Dissertation untersucht, inwieweit die visuell-räumlichen Fähigkeiten, erfasst durch Tests der Mustererkennung, des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses, der mentalen

Rotation sowie der Fähigkeit zur Perspektivenübernahme, die Leistungen der Lernenden beim Erwerb von räumlichen Konfigurationen des 3D-Gebäudemodells vorhersagen. Die Arbeitsgruppe von Allen (1996) konnte zudem nachweisen, dass die räumliche Fähigkeit der Perspektivenübernahme ein bedeutender Indikator für die Leistung bei der räumlichen Aufgabe der Richtungsschätzung ist (Allen et al., 1996).

### *Selbsteinschätzung der Orientierungskompetenz und Strategien des Wegfindens*

Individuen unterscheiden sich auch hinsichtlich räumlicher Orientierungskompetenzen in der realen Umwelt. Sie verwenden unterschiedliche Strategien, um ihre Wege zu finden, oder mentale Repräsentationen von ihren Umgebungen zu bilden. Die Strategien der Lernenden zur Orientierung in realer Umwelt scheinen eine reliable Prädiktorvariable zur Erklärung von inter-individuellen Differenzen in der mentalen Repräsentation von virtuellen Räumen (räumliches Lernen über virtuelle Lernumgebung) zu sein (Hegarty et al., 2002; Hegarty et al, 2006; Kozlowski & Bryant, 1982; Münzer & Hölscher, 2011; Münzer & Stahl, 2011; Pazzaglia & de Beni, 2001, Pazzaglia & Taylor, 2007). Diesen räumlichen Fähigkeiten zugrunde liegende kognitive Prozesse unterscheiden sich wiederum von denen, die üblicherweise mithilfe psychometrischer Tests erfasst werden (räumliche Visualisierung und räumliche Orientierung). Die ablaufenden kognitiven Prozesse zur Orientierung im realen Raum reflektieren einen weiteren Faktor von räumlichen Fähigkeiten, sog. räumliche Aktualisierung („*spatial updating*“), bei der die eigene Position im Raum durch Selbstbewegung aktualisiert wird. Daher wird angenommen, dass die Selbsteinschätzung der Orientierungsfähigkeit ein starker Prädiktor für die Vorhersage der inter-individuellen Leistungen ist, vor allem in Aufgaben, die eine Neuorientierung in der Umgebung erfordern.

Es werden unterschiedliche Methoden genutzt, um die Orientierungskompetenz der Lernenden und ihre dabei eingesetzten Strategien zur Wegfindung zu erfassen. Sie können beispielsweise (wie Hölscher, Meilinger, Vrachliotis, Brösamle & Knauff, 2006) über die Analyse von verbalen Routenbeschreibungen der Individuen (Routen in einem mehrstöckigen Gebäude) erfasst werden. Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz eines Fragebogens, welcher die

Selbsteinschätzung der eigenen Navigations- und Orientierungskompetenz in der realen Umwelt erhebt (z.B. Santa Barbara Sense of Direction Scale von Hegarty et al., 2006 oder Fragebögen Räumliche Strategien „FRS“ von Münzer & Hölscher, 2011). Selbstberichtete Orientierungsstrategien werden in einigen Studien (Bryant, 1982; Hegarty et al., 2006; Kozlowski & Bryant, 1977) als bedeutsamer Indikator für diese Form der räumlichen Fähigkeiten aufgefasst.

Studien belegen, dass sich die Orientierungsstrategien von Individuen hinsichtlich ihrer Präferenzen für Informationsgewinnung unterscheiden (Lawton, 1994, 1996; Lawton & Kallai, 2002; Münzer & Stahl, 2011; Pazzaglia & de Beni, 2001; Pazzaglia & Taylor, 2007). Pazzaglia und Taylor (2007) zeigten, dass Lernende mit gut ausgeprägten überblickbasierten mentalen Repräsentationen, die in ihrer Navigationsleistung und in ihrer Leistung im räumlichen Lernen den Routenlernenden überlegen waren, sich hinsichtlich ihres Orientierungssinns besser einschätzen. Lawton (1994, 1996) analysierte die Strategien zur Wegfindung hinsichtlich der darauf basierenden Arten des Wissens. Auf dieser Grundlage differenziert er zwei Hauptarten von Strategien, die Routenstrategie und die Überblicks-/Orientierungsstrategie. Die Routenstrategie basiert auf einer Sequenz von Anordnungen (Routeninformationen), welche es dem Individuum erlauben, von einem Ort zum nächsten zu navigieren. Dabei liegt der Fokus auf einer zuvor festgelegten und in der Regel direkten Route, die mithilfe von Landmarken von einem Punkt zum nächsten Punkt schreitet (lokale Aufmerksamkeit). Eine routenorientierte Person konzentriert sich auf die Richtung, in die sie an bestimmten Landmarken abbiegen soll (z.B. am Rathaus links abbiegen). Dies kann dazu führen, dass sich routenorientierte Personen leicht verlaufen, wenn sie von ihrer gelernten Route abweichen (Lawton, 1994). Die Überblicksstrategie, auch Orientierungsstrategie genannt, basiert hingegen auf globalen Anhaltspunkten (Überblicksinformationen/mentale Landkarte). Überblicksorientierte Personen verwenden bei der Navigation spezifische Anhaltspunkte wie zum Beispiel Himmelsrichtungen (z.B. „zuerst weiterlaufen in Richtung Süden...“) oder die Position der Sonne oder Entfernungen (z.B. „nach 100 m rechts weiterlaufen...“) (vgl. Lawton 1994, 1996). Dies macht die Überblicksstrategie flexibler und effizienter als die Routenstrategie. Personen, die die Überblicksstrategie einsetzen, können im Falle einer Abweichung von der Route leichter alternative Wege finden. Pazzaglia und de Beni (2001)

unterscheiden zwischen landmarkenorientierten und überblicksorientierten Individuen, was dem Konzept der routen- und orientierungsbasierten Personen von Lawton nahekommt.

Münzer und Hölscher (2011) differenzieren drei Arten von Orientierungsstrategien, die sie mithilfe des deutschen Fragebogens Räumliche Strategien (FRS), erfassen. Die entsprechende Klassifizierung der Orientierungsstrategien der Individuen wurde auf Grundlage ihrer Selbstangaben zu den Fragen des Erhebungsinstrumentes gemacht. Die Strategien sind: 1) die globale richtungs- und routenbasierte Strategie, die auf der egozentrischen Position und Orientierung in der Umgebung basiert, 2) die Überblicksstrategie, welche eine allozentrische Strategie, ähnlich der mentalen Karte, umfasst und 3) die Strategie, welche auf der Orientierung über Himmelsrichtungen basiert (für eine detaillierte Beschreibung der Testdimensionen; s. Methodenteil von jeweiligen Studien der vorliegenden Arbeit). Die Autoren zeigen auch, dass Personen, die oft angeben, die egozentrische Strategie (Strategie Nr. 1) zu nutzen, bei den routenbasierten Orientierungsaufgaben besser abschneiden als diejenigen, welche häufiger die Nutzung der allozentrischen Überblicksstrategie (Strategie Nr. 2) angeben. Beim Erlernen von virtuellen Lernumgebungen in Form von Gebäudemodellen (Orientierung im Innenraum) lässt sich die Strategie der Himmelsrichtung (Strategie Nr. 3) mutmaßlich nicht als bedeutender Indikator nutzen. Dahingegen wird angenommen, dass die erste, „global egozentrische“ Strategie zur Varianzerklärung bei der mentalen Repräsentation der Route und die zweite „überblickbasierte Strategie“ als Prädiktorvariable zum Erwerb der räumlichen Konfiguration eines Gebäudes beitragen. Dies wird dadurch begründet, dass die routenbasierten Aufgaben mittels Transferleistung bei der mentalen Repräsentation bewältigt werden können, welche in der egozentrischen Perspektive erworben wird, ohne dass allozentrisches Überblickswissen notwendig wäre.

Eine weitere Arbeitsgruppe (Hölscher et al., 2006) befasste sich mit den Orientierungsstrategien zum Wegfinden in Innenräumen. Auf der Basis der verbalen Beschreibung durch die Methode des „Lauten Denkens“ konnte Hölschers Arbeitsgruppe drei spezifische Strategien identifizieren, die *Strategie des zentralen Punktes*, die *Richtungsstrategie* sowie die *Flurstrategie*, welche vor allem zur Navigation in komplexen mehrstöckigen Gebäuden benutzt werden.

Wenn beim Wegfinden möglichst viele bereits bekannte Abschnitte des Gebäudes (z.B. Haupteingang oder Hauptkorridore) fokussiert werden, dann wird die Strategie des zentralen Punktes verwendet. Die Richtungsstrategie basiert auf Routenentscheidungen, die auf horizontalem Weg zur Position des Ziels führen, ungeachtet möglicher Etagenwechsel. Schließlich zielt die Flurstrategie auf Routenentscheidungen ab, die auf vertikalem Weg zur Position des Ziels führen, ungeachtet der horizontalen Position des Ziels. Die Flurstrategie scheint die effizienteste Strategie zu sein, die vor allem von mit der Umgebung vertrauten Personen verwendet wird. Hölscher und Kollegen (2006) haben in ihrer Studie eindeutige Unterschiede zwischen mit der Umgebung vertrauten beziehungsweise unvertrauten Teilnehmern bezüglich ihrer Strategiewahl bei der Navigation aufgezeigt.

Zusammenfassend lassen sich in der vorliegenden Dissertation die interindividuellen Unterschiede in der Fähigkeit, sich in der realen Umgebung zu orientieren, als mögliche Prädiktorvariable zur Erklärung der Unterschiede in der mentalen Repräsentation der räumlichen Gebäudestrukturen untersuchen. Diese Fähigkeiten basieren auf der eigenen Einschätzung der Lernenden bezüglich ihrer Orientierungsstrategien, die mithilfe der deutschen Fragebögen Räumliche Strategien (FRS) von Münzer und Hölscher (2011) erfasst werden.

### *Vorerfahrungen mit Computern und Computerinterfaces*

Zusätzlich zu den oben genannten Variablen, welche das räumliche Lernen sowohl in der realen als auch in der virtuellen Umgebung beeinflussen, existieren weitere Variablen, die mit der Nutzung von Computern im Allgemeinen und spezifisch mit dem Umgang mit animierten virtuellen Umgebungen (z.B. Computerspielen) zusammenhängen. Diese gelten ebenfalls als bedeutsame Einflussfaktoren für die Leistung in räumlichen Aufgaben in virtuellen Umgebungen. Einige Studien zeigen, dass Personen mit Vorerfahrungen in virtueller Navigation deutlicher von der virtuellen Umgebung profitieren als diejenigen ohne solche Vorerfahrungen (Darken & Banker, 1998; Waller, 2000). Die Vorerfahrung des Lernenden im Umgang mit Computern und mit der Steuerung von Computerinterfaces wurde von Waller und seiner Arbeitsgruppe

(Waller, 2000; Waller et al., 2001) als bedeutende Prädiktorvariable für die Varianz im räumlichen Lernen untersucht. Unterscheiden sich die Lernenden in ihrer Fähigkeit zur Nutzung des Computerinterfaces und seiner Automatisierung, dann können diese Unterschiede die Differenzen im virtuellen räumlichen Wissenserwerb möglicherweise zumindest zum Teil erklären (Waller, 2000).

Waller und Kollegen lieferten in der Tat Nachweise für einen signifikanten Einfluss der Fähigkeit zur Steuerung des Interfaces auf die Leistung beim räumlichen Wissenserwerb in der virtuellen Umgebung, obwohl der Anteil dieses Faktors an der Aufklärung der Varianz in den Leistungen nicht besonders hoch war. Die Vorerfahrung mit Computern im Allgemeinen hat ebenfalls einen minimalen, jedoch signifikanten Effekt auf das räumliche Lernen in der virtuellen Umgebung (Waller, 2000; Waller et al., 2001). Die Forscher ziehen aus ihren Ergebnissen folgenden Schluss: Um von den interaktiven Möglichkeiten einer virtuellen Umgebung zu profitieren und um die Aufmerksamkeit der Lernenden bei der Bearbeitung der virtuellen Aufgaben sicherzustellen, ist es sinnvoll, die Lernenden vorab mit Interfaces vertraut zu machen (Waller, 2000). Vor der Lern- und Testphase sollten die Teilnehmer hinsichtlich der Steuerung der Schnittstelle daher ausreichend trainiert werden. Dadurch werden die erforderlichen Ressourcen zum Einsatz der relevanten kognitiven Prozesse freigegeben, die das Ziel verfolgen, eine exakte mentale Repräsentation des Raums zu bilden.

Um herauszufinden, inwieweit die Vorerfahrungen der Lernenden mit Computern im Allgemeinen und spezifisch mit Computerspielen ihre Leistung bei den räumlichen Anforderungen in der virtuellen Umgebung erklären, liegt die Analyse dieser Variablen als mögliche Prädiktoren im Fokus der vorliegenden Arbeit. Es soll untersucht werden, ob die Personen, die mehr Erfahrungen mit dynamisch-interaktiven Visualisierungen in Computerspielen haben und die dadurch hinsichtlich der Steuerung des Interfaces ausreichend trainiert sind, diese Fähigkeit beim Lernen von räumlichen Gebäudestrukturen durch interaktive Repräsentationen nutzen können.

## *Geschlecht*

Männer und Frauen scheinen sich bei vielen räumlichen Orientierungsleistungen zu unterscheiden. Das ist unabhängig davon, ob sie in der realen Umgebung navigieren (Lawton, 1996; Lawton, Charleston & Zieles, 1996), eine Karte der Umgebung studieren (Coluccia & Martello, 2004; McGuinness & Sparks, 1983, vgl. Coluccia & Louse, 2004, für eine Übersicht; Galea & Kimura, 1993) oder sich in virtuellen/simulierten Umgebungen orientieren (Moffat et al., 1998; Sandstrom, Kaufman & Huettel, 1998; Waller et al., 2001). Hierbei werden in den Leistungsmaßen überwiegend Geschlechtereffekte zugunsten der Männer berichtet. Frauen sind zwar besser als Männer bei der Erinnerung von Landmarken und deren Positionen in der Umgebung (Galea & Kimura, 1993; Montello, Lovelace, Golledge & Self, 1999, vgl. Coluccia & Louse, 2004). Männer erzielen jedoch bei der Richtungsschätzung (Galea & Kimura, 1993; Lawton, 1996; Lawton et al., 1996; Waller et al., 2001) und in Aufgaben zur Wegfindung (Coluccia & Martello, 2004, vgl. Coluccia & Louse, 2004; Devlin & Bernstein, 1995; Moffat et al., 1998; Sandstrom, et al., 1998) bessere Leistungen.

Einige Studien zeigen jedoch, dass Geschlechterdifferenzen nicht bei sämtlichen alltagsnahen Leistungen auftreten. Frauen können beim Finden eines Rückwegs (Lawton et al., 1996), beim räumlichen Lernen mittels Karten oder bei der Anfertigung von Kartenskizzen genauso effizient sein wie Männer (Montello, Lovelace, Golledge & Self, 1999, vgl. Coluccia & Louse, 2004). Unumstritten ist dabei, dass die geschlechtsspezifischen Effekte bei der virtuellen und realen Navigation deutlicher ausfallen als z.B. beim Studieren einer Karte (Montello et al., 1999) und dass diese Effekte bei identischen Aufgaben in virtuellen Umgebungen größer ausfallen als in realen Umgebungen (Moffat et al., 1998; Waller et al., 1998; Waller et al., 2001). Frauen tendieren dazu, mehr Fehler zu machen, wenn ihre Leistung in einer virtuellen Umgebung getestet wird. Beispielsweise neigten die Frauen in den Studien von Waller (Waller, 2000; Waller et al., 2001) bei denselben räumlichen Aufgaben zur Richtungsschätzung in einer virtuellen Umgebung dazu, mehr Fehler zu machen als bei der gleichen Aufgabe in der realen Umwelt. Dahingegen sind die Leistungen der Geschlechter ähnlicher, wenn sie in einer realen Umgebung getestet werden.

---

In der Summe liefert die Forschung bezüglich der geschlechtsspezifischen Effekte auf die räumliche Leistung keine einheitlichen Ergebnisse – und dies nicht nur in der realen Umwelt, sondern auch in virtuellen Umgebungen. Nicht alle Forschungsarbeiten in diesem Bereich zeigen Geschlechterunterschiede auf (Darken & Sibert, 1996; Rossano & Moak, 1998; Wilson et al., 1997). Diesen Forschungsarbeiten gegenüber stehen einige Studien, die das Geschlecht als besonders starken Prädiktor für das virtuelle räumliche Lernen und für die räumliche Orientierung berichten (Devlin & Bernstein, 1995; Sandstrom et al., 1998; Waller, 2000; Waller et al., 1998; Waller et al., 2001; Witmer et al., 1996). Einige dieser Studien gehen von keinem direkten geschlechtsspezifischen Effekt auf das virtuelle und räumliche Lernen aus, sie diskutieren jedoch einen moderierenden beziehungsweise mediierenden Effekt des Geschlechts. Dabei wird das Geschlecht als ein starker Prädiktor nachgewiesen, hauptsächlich im Zusammenhang mit anderen Faktoren, wie zum Beispiel mit den visuell-räumlichen Fähigkeiten (Münzer & Stahl, 2011; Waller, 2000), den Vorerfahrungen mit Computern (-Interfaces) (Waller, 2000; Waller et al., 2001) und auch in Abhängigkeit von Orientierungsstrategien (Münzer & Stahl, 2011; Lawton, 1994 & 1996; Lawton & Kallai, 2002; Sandstrom et al., 1998).

In einigen Arbeiten wurde der geschlechtsspezifische Effekt der visuell-räumlichen Fähigkeiten, der sehr stark den räumlichen Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen prädiziert, festgestellt. Waller (2000) zeigte in seiner Studie die bedeutende Auswirkung des Geschlechts auf die mentale Repräsentation von räumlichen Strukturen im Zusammenhang mit visuell-räumlichen Fähigkeiten seitens der Lernenden (räumliche Visualisierung und Orientierung). Münzer und Stahl (2011) konnten ebenfalls einen marginalen, durch diese Fähigkeiten medierten, Effekt des Geschlechts zeigen. Die Autoren konnten jedoch keinen Geschlechtereffekt in Wechselwirkung mit der Art der Visualisierung (Karte, Bilder, Animation) replizieren. Schließlich wurden Geschlechterunterschiede in der Orientierungskompetenz von Frauen und Männern zu Gunsten der Männer berichtet. Die Unterschiede haben ihren Ursprung allerdings nicht in einer *per se* besseren Orientierungskompetenz der Männer, sondern hängen von der Art der Informationen ab, die die Geschlechter aus der virtuellen Umgebung gewinnen und davon, welche Strategien bei der Aufgabenlösung eingesetzt werden (Münzer & Stahl, 2011).

Für die erfolgreiche Navigation in einer computerbasierten virtuellen Umgebung benötigen Frauen Landmarken-Informationen, Männer hingegen Landmarken- und Geometrieinformationen. In der Arbeit von Sandstrom und Kollegen (1998) waren Männer besser als Frauen bei der Zielerreichung, sofern geometrisch-konfigurale Informationen präsentiert wurden. Dahingegen gab es keine Geschlechterunterschiede, wenn ausschließlich Informationen über Landmarken gegeben waren. Vermutlich waren Männer besser in der Lage, entsprechend der präsentierten Informationen ihre Strategien zu ändern, während es den Frauen schwerfiel, dies zu tun. Frauen schienen die routenbasierte Strategie zu präferieren, wohingegen sich Männer bevorzugt auf globale Referenzpunkte und Konfigurationen stützen (Überblicksstrategie), die zudem effizienter als Routeninformationen sind (Lawton, 1994, 1996; Lawton & Kallai, 2002). Ähnliche Ergebnisse wurden von der Arbeitsgruppe von Saucier (2002, vgl. Coluccia & Louse, 2004) gefunden. Darüber hinaus schätzen Männer ihre Fähigkeiten generell höher ein, als Frauen dies tun (Hegarty et al., 2006). Dies kann dadurch begründet sein, dass Männer sich bei der Einschätzung ihrer eigenen Orientierungskompetenz sowie beim Wegfinden sicherer sind als Frauen (Devlin & Bernstein, 1995; Kozlowski & Bryant, 1977; Münzer & Hölscher, 2011). Frauen befürchten eher als Männer, sich zu verlaufen. Münzer und Hölscher (2011) fanden schließlich Geschlechtsunterschiede in der Selbsteinschätzung der egozentrischen Strategie.

Die Studien, die den Zusammenhang zwischen den Geschlechterunterschieden beim virtuellen räumlichen Wissenserwerb und den Vorerfahrungen mit Computern (-Interfaces) genauer untersucht haben (Okagaki & Frensch, 1994; Subrahmanyam & Greenfield, 1994, vgl. Waller, 2000 für einen Übersicht), zeigen, dass Frauen schlechtere Interfaceleistungen liefern, als Männer. Eine mögliche Schlussfolgerung aus diesem Resultat ist Folgende: Wenn die Interfaceleistung und die visuell-räumlichen Fähigkeiten den geschlechtsspezifischen Effekt beim virtuellen räumlichen Wissen erklären, dann kann davon ausgegangen werden, dass die Frauen in diesen Fähigkeiten trainiert werden sollten, um Geschlechterdifferenzen zu verringern.

Aus den Ergebnissen der erläuterten Forschungsstudien, die die individuellen Variablen untersuchen, lassen sich gewisse Schlussfolgerungen ziehen. Diese werden zugleich als Grundlage der geplanten Analysen in der vorliegenden Dissertation berücksichtigt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Unterschiede zwischen den Individuen hinsichtlich ihrer visuell-räumlichen Fähigkeiten, ihrer Strategien zur Orientierung in der realen Umwelt und ihrer Vorerfahrungen mit Computerinterfaces ihre Leistungen im räumlichen Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen präzisieren. Diese Variablen sind zudem verantwortlich für die beobachteten Geschlechtereffekte bei virtuellen räumlichen Leistungen. Sie moderieren beziehungsweise vermitteln den Vorhersageeffekt des Geschlechts auf die Leistungsdifferenzen in den räumlichen Anforderungen der virtuellen Umgebungen.

#### **2.4 Weitere Einflussfaktoren auf das räumliche Lernen in der virtuellen Umgebung**

Zur Bildung von exakten mentalen Repräsentationen der räumlichen Strukturen einer virtuellen Umgebung und für den Transfer in die äquivalente reale Umwelt spielen, über inter-individuelle Unterschiede in Personenfähigkeiten hinaus, eine Reihe weiterer Komponenten eine Rolle. Diese sind unter anderem die Charakteristika von virtuellen Umgebungen und die dabei gestellten räumlichen Aufgaben. Dazu zählen beispielsweise die Art und Komplexität der räumlichen Anforderungen (z.B. ob Objekte gesucht werden sollen oder der Weg zum Ziel gefunden werden muss), die Art und Komplexität der Umgebung und ihre strukturellen Eigenschaften oder die „fidelity“ der virtuellen Umgebung (d.h. die Authentizität und Genauigkeit der Abbildung der realen Umwelt in der virtuellen Umgebung). Zwei der bedeutendsten Einflussgrößen stellen die während dem Lernen zur Verfügung stehende räumliche Perspektive und Aspekte der Interaktivität beziehungsweise des Explorationsmodus dar.

Die Auswirkungen der räumlichen Perspektive (welche den Lernenden während des Lernens und der Exploration präsentiert wird) auf die Konstruktion der kognitiven Karte beziehungsweise auf das räumliche Lernen der Route und des Überblicks wurden von zahlreichen Forschern untersucht (Pazzaglia & Taylor, 2007; Ruddle et al., 1997; Shelton & McNamara, 2004; Thorndyke & Hayes-Roth,

1982). In der Literatur wird prinzipiell zwischen der Überblicks- beziehungsweise allozentrischen Perspektive („aerial/overview perspective“ nach Shelton & McNamara, 2004) und der Routen- beziehungsweise egozentrischen Perspektive („ground-level perspective“ nach Shelton & McNamara, 2004) unterschieden (für einen Überblick, s. Punkt 2.2.2 der vorliegenden Arbeit). Diese Perspektiven beziehen unterschiedliche Formate von Informationen mit ein, die auch über unterschiedliche Prozesse verarbeitet werden. Daraus resultieren differenzielle Konsequenzen für die Leistung in den räumlichen Aufgaben. Während die egozentrische Lernperspektive einen geeigneteren Rahmen für die Navigation bietet, ermöglicht die allozentrische Perspektive einen Überblick über die komplette Umgebung mit ihren Strukturen und Routen-Segmenten. Demzufolge erfordert die Überblicksperspektive eine statische und die egozentrische Perspektive eine dynamische Orientierung (Shelton & Pippitt, 2007). Beim räumlichen Lernen über virtuelle Umgebungen wird in der Regel eine egozentrische Perspektive eingenommen, die eine dynamische virtuelle Navigation erlaubt. Bei der virtuellen Navigation ändern sich die egozentrischen räumlichen Verhältnisse durch die Bewegung in der Lernumgebung stetig und simultan. Gleichzeitig ist dabei jedoch keine allozentrische Perspektive, die überblicksbasierte räumliche Informationen liefern würde, gegeben. Die Erweiterung der egozentrischen Perspektive auf eine allozentrische Perspektive ist somit eine Möglichkeit, mit welcher gleichzeitig andere Arten von räumlichen Informationen zugänglich gemacht werden.

Eine mit einer zusätzlichen Karte erweiterte virtuelle Umgebung bietet den Lernenden daher gleichzeitig sowohl allozentrische räumliche Rahmenbedingungen durch die Darstellung der Karte (globaler Überblick), als auch simultane Änderungen in den egozentrischen, räumlichen Verhältnissen. Eine Reihe von Untersuchungen beschäftigt sich mit dem Erwerb von räumlichem Wissen über die Bereitstellung von virtuellen Umgebungen unter Nutzung einer zusätzlichen Karte (Darken et al., 1998; Farrell et al., 2003; Ruddle et al., 1999; Witmer et al., 2002). Diese Kombination scheint sowohl den Erwerb von räumlichem Wissen (z.B. Überblickswissen bei Witmer et al., 2002; Routenwissen bei Farrell et al., 2003), als auch die virtuelle Navigation (Ruddle et al., 1999) zu unterstützen, auch wenn dies nicht zwingend eine Effektivitätserhöhung beim Transfer in die reale Umwelt nach sich zieht. Die Effektivität einer Karte in

Kombination mit der virtuellen Umgebung hinsichtlich des Trainings und der Förderung der Navigationsfähigkeit in der realen Umwelt wird insbesondere in den Arbeiten von Darken et al. (1998) und Farrell et al. (2003) untersucht. Darken et al. (1998) untersuchten den Transfer des Routenwissens auf eine reale Umwelt bei Probanden, die Vorerfahrungen mit Orientierungs- beziehungsweise Wegfindungsaufgaben hatten. Sie verglichen drei Gruppen miteinander: eine Gruppe, die nur die Karte zur Verfügung hatte; eine Gruppe, die eine Kombination aus Karte und virtueller Umgebung erhielt und eine Gruppe, die die reale Umwelt stets anhand von Karten explorierte. Die Autoren zeigten, dass nur die Personen mit einem mittleren Ausmaß an Orientierungserfahrung von einer kombinierten Lernumgebung profitieren. Dahingegen profitieren die Teilnehmer mit gut ausgeprägter Orientierungsfähigkeit von der alleinigen Nutzung der Karte. Sie sind in der Kartennutzung derart geschult, dass ihnen die virtuelle Umgebung keine weiteren Informationen liefert.

Diesen Befund untersuchten Farrell et al. (2003) mit einer größeren Stichprobe, die außerdem repräsentativ für die allgemeine Population war. Die Autoren weisen mit ihrer Untersuchung auf die Effektivität der Bereitstellung einer Karte - zusätzlich zu den egozentrisch basierten Informationen in einer virtuellen Umgebung - hin. Diese Kombination gewährleistet den Transfer des Routenwissens in die anschließende Navigation in einer realen Umgebung. Dennoch ist diese Nutzungsform dem reinen Studieren einer Karte nicht in jedem Fall überlegen (Farrell et al., 2003). Nach Ansicht von Witmer et al. (2002) verbessert die Bereitstellung der allozentrischen Karte zusätzlich zur virtuellen Lernumgebung die Leistung im räumlichen Überblickswissen sowohl in der Trainingsphase als auch in der Testphase. Dies gilt vor allem dann, wenn die Lerner die Karte zur Exploration und Organisation der Umgebung genutzt haben.

Die in der vorliegenden Arbeit eingesetzte virtuelle Lernumgebung (virtuelles Gebäudemodell) bietet zusätzlich zur virtuellen Bewegung (egozentrische Perspektive) eine virtuelle Karte der Umgebung (allozentrische Perspektive). In der egozentrischen Perspektive werden durch den Einsatz eines Avatars räumliche Informationen über das Gebäude aus der Eigenposition durch die Eigenbewegung in der Umgebung erworben (dynamische Orientierung). Demgegenüber werden in der allozentrischen Ansicht Informationen über die räumlichen Strukturen des Gebäudes aus einem Betrachter-Standpunkt außerhalb

des Modells mittels einer virtuellen Karte der Umgebung gewonnen. Die spezifische Eigenschaft der allozentrischen Ansicht im vorliegenden virtuellen Modell ist allerdings, dass sie im Gegensatz zu ihrer üblichen Art in ihrer Funktionalität eine dynamische Orientierung beansprucht. Die in dieser Perspektive zur Verfügung gestellte Karte ist eine interaktive Karte, die multiple Informationen über die Struktur des gesamten Gebäudes und seiner Etagen dreidimensional visualisiert. Durch die aktive Nutzung der zur Verfügung gestellten Kontrollmöglichkeiten wird die Karte der Umgebung selbstgesteuert rotiert, gezoomt und bewegt. Dadurch wird sowohl eine globale, als auch eine lokale Betrachtungsweise auf die räumlichen Strukturen des Gebäudes ermöglicht. Diese unterschiedlichen visuellen Zugänge begünstigen daher den Erwerb von unterschiedlichen Arten räumlicher Informationen, die die Lernenden zum Verständnis der komplexen räumlichen Strukturen des Gebäudes benötigen. Dies bildet die Grundlage der Analysen in den vorliegenden Studien.

Eine weitere relevante Einflussgröße für ein effektives, räumliches Lernen über virtuelle Umgebungen ist das Ausmaß der Interaktivität mit den externen Repräsentationen. Dieser Aspekt besitzt im Forschungsfeld der Raumkognition fundamentale Bedeutung. Eine Interaktivität wird oft mit der aktiven und passiven Teilnahme am virtuellen Lernen verbunden. Farrell et al. (2003) verwenden den Begriff „*aktive Teilnahme*“ für Situationen, in denen der Teilnehmer während seiner Bewegung durch die Umgebung auch Navigationsentscheidungen trifft. Nach ihrer Auffassung ist der „*passive Teilnehmer*“ dahingegen derjenige, der entweder nur die virtuelle Navigation einer anderen Person beobachtet oder während der Steuerung der eigenen Bewegung in der virtuellen Umgebung keine Entscheidungsmöglichkeiten hat, sondern der Richtung und den Bewegungen folgt, die ihm vorgegeben werden (Farrell et al., 2003, S. 220). Eine Differenzierung hinsichtlich des Grades der vorhandenen Interaktivität wird von Bertrancourt (2005) vorgenommen. Er unterscheidet zwischen der Interaktivität einfachen Grades (z.B. die Interaktionsmöglichkeiten des Zurücklaufens, der Wiedergabe oder der Pause) und einer anspruchsvolleren Form der Interaktivität (z.B. die Möglichkeit des Perspektivenwechsels zur Exploration aus unterschiedlichen Ansichten).

Hinsichtlich der Effekte der Interaktivität auf die mentalen Repräsentationen der räumlichen Informationen liefern entsprechende Studien jedoch keine konsistenten Ergebnisse. Einige Studien belegen ein signifikant besseres räumliches Lernen durch aktive vs. passive Exploration während des virtuellen Lernens (Carassa et al., 2002; Farrell et al., 2003; Péruch et al., 1995). Andere Studien zeigen hingegen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Leistungen nach aktiver vs. passiver Exploration (Foreman, Sandamas & Newson, 2004; Gaunet, Vidal, Kemeny & Berthoz, 2001; Wilson, 1999). Wilson und Péruch (2003) fanden je nach Art der Testaufgaben sogar eine Überlegenheit der passiven Teilnahme (Wilson & Péruch, 2003, Untersuchung I). Farrell et al. (2003) betonte eine aktive Teilnahme an der Navigation gegenüber einer passiven Teilnahme als Grundvoraussetzung für einen effizienten räumlichen Wissenserwerb in der virtuellen Umgebung und dessen Transfer in die reale Umwelt. Die Untersuchung von Péruch et al. (1995) zeigt bei der virtuellen Navigation in einigen Fällen in der Tat eine Überlegenheit zugunsten der aktiven Exploration gegenüber der passiven Betrachtung der Umgebung. Hierbei werden allerdings die Effekte der Interaktivität auf die Navigationsfähigkeit nur innerhalb der virtuellen Umgebung geprüft, nicht hinsichtlich ihres Transfers auf die Anforderungen in der realen Umwelt. Ähnliche Resultate haben Carassa et al. (2002) gefunden: Ihre aktive Explorationsgruppe war in den Wegfindungsaufgaben erfolgreicher als die passive Gruppe. Die Untersuchung, ob die aktive Exploration gegenüber der passiven in Hinblick auf den Transfer des erworbenen räumlichen Wissens auf die äquivalente reale Umwelt effektiver ist, wurde von Péruch und Wilson (2004) vorgenommen. Die Autoren konnten im Einklang mit den oben genannten Studien (Carassa et al., 2002; Farrell et al., 2003; Péruch et al., 1995) eine signifikante Überlegenheit der aktiven Exploration der virtuellen Umgebung beim Erwerb von Routen- und Überblickswissen zeigen (Péruch & Wilson, 2004).

Eine zwingende Verbindung zwischen der Ermöglichung von Interaktivität und mehr Effektivität beim räumlichen Lernen ist jedoch nicht gegeben, da die Interaktionsmöglichkeiten von den Nutzern nicht immer effektiv genutzt werden (Keehner, Hegarty, Cohen, Khooshabeh & Montello, 2008). Die Frage, welche Effekte die qualitative Nutzung von Interaktivität auf das Lernen mit virtuellen interaktiven Medien hat, ist Forschungsgegenstand der Arbeitsgruppe von Hegarty (Keehner et al., 2008). Nach Ansicht der Forschungsgruppe bedeutet die

Ermöglichung einer Interaktivität (z.B. interaktive Visualisierungen) nicht unmittelbar und nicht unbedingt eine Verbesserung der Leistung in den dynamischen, räumlichen Anforderungen. Von Bedeutung ist jedoch, wie (effektiv) der Lerner die interaktiven Visualisierungen nutzt. Ein signifikanter Effekt der interaktiven Visualisierung wurde allerdings nur bei denjenigen Lernenden beobachtet, die diese so nutzten, dass die relevanten Informationen für die Lösung der meisten Aufgaben identifiziert wurden. Die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen der Interaktivität mit der Umgebung und den Wegfindungsstrategien der Lernenden wird von Carassa et al. (2002) angedeutet. Sie zeigten, dass Teilnehmer mit aktiver Exploration effizientere Strategien beim Finden des Ziels einsetzen (Carassa et al., 2002). Die Wechselwirkung zwischen der Interaktivität der visuellen Repräsentationen und der visuell-räumlichen Fähigkeiten hinsichtlich der effektiven Nutzung dieser dynamischen Visualisierungen beim räumlichen Lernen wurde in einer Studie von Keehner et al. (2008) untersucht. Die Autoren fanden eine unabhängige Auswirkung von visuell-räumlichen Fähigkeiten auf das räumliche Lernen, die jedoch für die Vorhersage des interaktiven Verhaltens der Lernenden nicht prädiktiv ist.

Der anspruchsvollere Grad von Interaktivität in der vorliegenden Studie erlaubt den Lernenden mögliche Bewegungen und Rotationen bei der Visualisierung unterschiedlicher Achsen, um das Gebäudemodell und seine Struktur aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten zu können. Diese sind wichtig, um den räumlichen Anforderungen angemessen gerecht zu werden. Wie qualitativ hochwertig die verschiedenen Perspektiven von den Lernenden benutzt werden und wie sich diese dann auf den Erwerb der räumlichen Konfigurationen des Modells auswirken, ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Ein weiterer Fokus der Analyse liegt auf der Untersuchung, ob es substanzielle inter-individuelle Unterschiede bei der Nutzung der interaktiven Kontrollmöglichkeiten, welche sich wiederum auf die räumliche Leistung auswirken, gibt.

## 2.5 Lernstrategien bei der Exploration interaktiver virtueller Umgebungen

In diesem Kapitel wird zunächst darauf eingegangen, was unter Lernstrategien verstanden wird und welche Komponenten diese beinhalten. Insbesondere sollen die strategischen Vorgehensweisen und ihre Relation zu dynamisch-interaktiven Lernumgebungen während des Lernens erläutert werden. Solch eine Lernumgebung ist auch Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Daher soll verdeutlicht werden, welche strategischen und regulativen Anforderungen das Lernen in virtuellen 3D-Gebäudemodellen und die Steuerung der Interaktivität innerhalb dieser Umgebungen an den Lerner stellen können. Danach werden gängige Methoden zur Erfassung von Lernstrategien vorgestellt, die in wissenschaftlichen Studien über die kognitive und metakognitive Regulation des Lernens verwendet werden, wobei auch ihre Vorteile und Nachteile diskutiert werden. Anschließend konzentriert sich die Arbeit auf die Notwendigkeit der Förderung von Lernstrategien und ihrer Regulation zum Zwecke der Erzielung besserer Lernergebnisse. Dabei ist die Beantwortung der Fragen relevant, was und wie gefördert werden soll. Demzufolge werden Überlegungen über die instruktionale Förderung der kognitiven und metakognitiven Komponenten des Lernprozesses in virtuellen Gebäudemodellen dargestellt.

### *Strategiewissen, strategische Fähigkeiten und ihre Regulation*

Zur effektiven Nutzung der dynamisch-interaktiven Möglichkeiten von visuellen Medien sind angemessene Explorations- und Lernstrategien seitens des Lerners nötig (Carassa et al., 2002; Cohen & Hegarty, 2007). Die Lernstrategien schließen sämtliche Verhaltensweisen und Kognitionen ein, die zur Unterstützung des Lernprozesses (Souvignier & Rös, 2005) bewusst, zielgerichtet, spontan, selektiv, kontrolliert und kapazitätsbelastend (Artelt, 2000; Hasselhorn & Gold, 2009, S. 90) von den Lernenden eingesetzt werden. Entsprechend dieser Definition werden in der vorliegenden Arbeit Explorationsstrategien als Lernstrategien bezeichnet, welche das strategische Verhalten hinsichtlich der Exploration des Gegenstands mit dem Ziel der Wissensgewinnung prägen. Sie werden im folgenden Kontext als strategische Verhaltensweisen des Lernenden während der Interaktion mit der

---

virtuellen Lernumgebung zum Erwerb von räumlichen Strukturen des Gebäudemodells verstanden.

Es wird angenommen, dass Lernende über mehr oder weniger erfolgreiche Explorations- und Lernstrategien zur Nutzung von interaktiven Kontrollmöglichkeiten verfügen. Cohen und Hegarty (2007) zeigen in ihrer Studie, dass nicht alle Lernenden in einer interaktiven Computervisualisierung spontan herausfinden, wie sie die notwendigen räumlichen Informationen daraus extrahieren und einsetzen können. Einerseits kann die effektive Nutzung von Interaktionsmöglichkeiten durch die dynamischen Repräsentationen die kognitive Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Lernen unterstützen beziehungsweise optimieren. Andererseits kann diese, über die grundlegende Informationsverarbeitung hinausgehende, zusätzliche Interaktion hohe Anforderungen an die Lerner stellen, so dass sie dadurch möglicherweise weniger effizient räumliche Informationen erwerben können (vgl. Schnotz, Seufert & Bannert, 2001; Bannert, 2005). Nach Cohen und Hegarty (2007) kann dieser negative Effekt – unter Berücksichtigung von Personenfähigkeiten - beispielsweise bei Lernenden mit schlechter ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten auftreten. Außerdem kann die Nutzung von interaktiven Repräsentationen schwach ausgeprägte räumliche Visualisierungsfähigkeiten (visuell-räumliche Fähigkeiten) von Individuen nicht kompensieren (Cohen & Hegarty, 2007).

Inwieweit sich Lernstrategien auf die Regulation des Explorationsbeziehungsweise Interaktionsverhaltens der Lernenden in interaktiven Lernumgebungen auswirken, wurde in einigen Studien experimentell untersucht (Wirth, 2004; Wirth & Leutner, 2006; Thillmann, Gößling, Wirth & Leutner, 2009; Wichmann & Leutner, 2009). Die Mehrzahl der Beiträge über Lernstrategien und ihre Regulation stammt aus der traditionellen Lernstrategieforschung (z.B. Mayer, 2001; Schnotz & Bannert, 1999, vgl. Bannert, 2003), die sich ursprünglich mit dem Lernen über verbale Informationen (z.B. Texte) oder „passive“ Medien (z.B. Grafiken und Bilder) sowie ihrer Kombination beschäftigten, oder aus dem Forschungsgebiet des hypermedialen Lernens (Bannert, 2003, 2005, 2007).

---

Gemäß der Ergebnisse von Forschungsarbeiten aus dem Bereich des selbstregulierten Lernens mit dynamisch-interaktiven Lernmedien bestimmt das Ausmaß der Interaktivität der Lernumgebung den Umfang der Steuerung des Lernprozesses durch das Medium beziehungsweise durch den Lerner selbst (medium- vs. lernergesteuertes Lernen, s. Thillmann et al., 2009; Wirth & Leutner, 2006). Das Lernen verläuft bei hoher Interaktivität des Lernmediums (z.B. computersimulierte Planspiele) weitgehend lernergesteuert (Thillmann et al., 2009, S. 90). Das Ausmaß der Interaktivität wird durch die Anzahl der Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Medium und den Mediennutzern bestimmt. Dabei müssen alle Steuerungsparameter, die für interaktive Prozesse notwendig sind, von den Medienbenutzern selbst eingegeben werden (Niegemann, Domagk, Hessel, Hein, Hupfer & Zobel, 2008; „(Re-)Aktionen des Mediennutzers“ nach Thillmann et al., 2009). Auf Grundlage dieser Eingaben werden entsprechende Informationen durch Systeme dargestellt; in der Regel nach deren Erzeugung über einen Algorithmus („(Re-)Aktionen des Mediums“ nach Thillmann et al., 2009). Vor diesem Hintergrund stellt die Interaktion mit dynamisch-interaktiven Lernmedien hohe strategische Anforderungen zur Selbstregulation des Lernprozesses an den Lerner, und dies sowohl auf kognitiver, als auch auf metakognitiver Ebene (Thillmann et al., 2009; Wirth & Leutner, 2006).

In dynamisch-interaktiven Lernsituationen stehen die zum Lernen benötigten Informationen nicht direkt zur Verfügung. Bevor diese Informationen verarbeitet werden können, muss der Lerner die neuen (relevanten) Informationen zunächst durch Interaktion mit dem Lernmedium identifizieren. Die durch das Medium dargebotenen Informationen sollen von den Lernenden also systematisch entdeckt und generiert werden (Wirth, 2004; Thillmann et al., 2009), um anschließend verarbeitet und gelernt zu werden. Dabei setzen die Lerner Strategien für das Generieren von Informationen ein, wobei die Art des interaktiven Mediums bestimmt, welche der verschiedenen Strategien die jeweils adäquate beziehungsweise erforderliche ist. Diese Strategien werden hauptsächlich in der Forschung zum *scientific discovery learning* beziehungsweise *inquiry learning* (Wichmann & Leutner, 2009; s. Wirth & Leutner, 2006 sowie Thillmann et al., 2009 für eine Übersicht) thematisiert, die sich mit dem systematischen Explorieren und Vorgehen in komplexen Systemen befasst. Wirth (2005) beschreibt zwei

---

bedeutende Ziele des Generierens und des Integrierens durch den Einsatz von jeweils spezifischen Strategien in seiner Arbeit, in der er sich mit Selbstregulation in einer komplexen, computergestützten Simulation beschäftigt.

Das Generieren von neuen Informationen bedeutet im Kontext von dynamischen Lernumgebungen, dass durch eine Aktivierung der Eingabeschaltfläche per Mausklick neue Informationen in Form von Systemfeedback dargeboten werden. Dies hat zur Folge, dass neue Informationen erst dann präsentiert werden, wenn der Benutzer die Schaltfläche betätigt hat und das System auf diesen Eingriff reagiert. Das Erlernen der angemessenen Steuerung eines solch komplexen dynamischen Systems weist auf Gemeinsamkeiten mit den obengenannten experimentellen Lernparadigmen hin, wobei ebenfalls zunächst neue Informationen systematisch erzeugt werden müssen. Um die Informationen weiter zu verarbeiten, muss der Lerner die relevanten Informationen selektieren und diese anschließend organisieren, indem er eine Verbindung zwischen diesen Informationen und seinem individuellen Vorwissen herstellt (Wirth, 2005). Die Organisationsstrategien dienen der Strukturierung der Lerninhalte und deren Reduzierung auf das Wesentliche (Niegemann et al., 2008). Schließlich integriert der Lerner die generierten Informationen in eine kohärente Wissensstruktur, damit diese zu einer späteren Gelegenheit bei Bedarf zuverlässig zugänglich sind (Wirth & Leutner, 2006).

Allerdings postulieren die Forscher, die sich mit der Untersuchung des Strategieeinsatzes, seiner optimalen Regulation während des Lernprozesses und seinem Einfluss auf den Lernerfolg beschäftigen (z.B. Wirth, 2004, 2005), dass zur Erfassung des zeitlichen Verlaufs des Strategieeinsatzes Maße erforderlich sind, welche den selbstregulierten Einsatz der Strategien objektiv, reliabel und valide erfassen. Dabei müssen genaue Indikatoren für die Erfassung der Strategien entwickelt werden. Dadurch kann objektiv festgestellt werden, in welchem zeitlichen Verlauf beispielsweise die Strategien des Generierens oder die Strategie des Verarbeitens eingesetzt werden (vgl. Wirth, 2005). Hierbei wird das erstmalige Betätigen eines bestimmten Schalters als Strategie des Generierens bezeichnet, wohingegen wiederholte Aktivierungen des gleichen Schalters der Strategie des Integrierens zugeschrieben werden. Der Grund für Letzteres ist derjenige, dass beim wiederholten Aktivieren keine neuen Informationen mehr identifiziert beziehungsweise generiert werden, sondern die erworbenen

Informationen durch Wiederholung verarbeitet werden. In der Gesamtschau wird deutlich, dass die Lernenden über unterschiedliche Strategien des Generierens von neuen Informationen und des Verarbeitens von bereits generierten Informationen verfügen, welche sie beim selbstregulierten Lernen in interaktiven Lernumgebungen anwenden müssen. Die bereits genannten Studien zeigen übereinstimmend, dass ein maximaler Lernerfolg erzielt wird, wenn von einem intensiven Generieren von Informationen zügig zum Verarbeiten der Informationen übergegangen wird.

Auf Ebene der Regulation muss der Lerner darüber hinaus die Anwendung von verschiedenen Strategien untereinander koordinieren. Die strategische Vorgehensweise beim Generieren von Informationen unterscheidet sich von der Vorgehensweise bei den Strategien zur Integration von Informationen. Demnach muss der Lerner während des Lernprozesses kontinuierlich Entscheidungen über den Einsatz von jeweils geeigneten Strategien treffen, insbesondere Entscheidungen zwischen Strategien zum Generieren beziehungsweise zum Verarbeiten von Informationen. Er muss zu jedem Zeitpunkt kontrollieren, ob und wann er neue Informationen identifizieren will und wann er diese integriert (Wirth & Leutner, 2006). Dies spricht die metakognitive Ebene der Anforderungen an, die der Regulation und Überwachung des kognitiven Strategieeinsatzes dient (Mandl & Friedrich, 2006; Plötzner, Leuders & Wichert, 2009, S. 11). Metakognitive Strategien umfassen Prozesse wie Planung, Überwachung oder Bewertung (vgl. Bannert, 2007). Die Planung des Ablaufs des Lernens und der zu erreichenden Lernziele erfolgt in der Regel zu Beginn des Lernprozesses. Die Zielplanung ist von großer Relevanz, da diese die Grundlage für die anschließende Bewertung des Lernprozesses bildet. Überwachung bezieht sich auf die Kontrolle des zu erreichenden Lernzieles durch Beobachtung des eigenen Lernfortschritts. In der Bewertung geht es darum festzustellen, ob das Lernziel erreicht wurde und der Lernprozess nach Planung verlaufen ist; darüber hinaus erfolgt eine Gesamtbewertung des Lernprozesses. Es lässt sich zusammenfassen, dass es beim Lernen in dynamisch-interaktiven Lernumgebungen zum Konflikt zwischen den zusätzlichen Anforderungen der Interaktion und der eigentlichen Informationsverarbeitung kommen kann. Zur Bewältigung dieser interaktionsspezifischen Anforderungen und zur Sicherstellung einer optimalen Gestaltung des Lernprozesses sind daher der zielgerichtete Einsatz von

Lernstrategien und ihre kontinuierliche Regulation während des Lernens erforderlich.

In der vorliegenden Arbeit wird von der Relevanz der bereits erläuterten Prozesse des Generierens und Verarbeitens und ihrer Regulation für die Interaktion mit einem dynamisch-interaktiven virtuellen Gebäudemodell zum Erfassen von räumlichen Konfigurationen ausgegangen. Zunächst sollten die erforderlichen visuellen Informationen zum Erwerb der räumlichen Strukturen des Gebäudemodells durch die Interaktion mit dem virtuellen 3D-Modell mithilfe von interaktiven Steuerungsflächen erzeugt werden. Die Lernenden extrahieren durch das systematische Vorgehen bei der Nutzung und Steuerung der Interaktionsbuttons räumliche Informationen, die sie dann verarbeiten. Zum Beispiel kann der Lerner durch das Betätigen der Option des Etagenwechsels aus der Außenperspektive und durch das Anklicken eines bestimmten Stockwerkes Informationen über das entsprechende Stockwerk und seine Struktur erhalten. Werden nun alle Etagen der Reihen nach und nur jeweils einmal ausgewählt und angeschaut, so verschafft sich der Lerner einen globalen Überblick über das ganze Gebäude und seine Stockwerke. Dies spiegelt eine gelungene Strategie des Generierens wider. Es ist allerdings nicht klar, wie und ob die relevanten Informationen identifiziert werden. Das gilt ebenfalls für weitere vorhandene Optionen wie zum Beispiel Zoomen oder Rotieren.

Wiederholt der Lerner anschließend die gleiche Prozedur für das Organisieren oder Vertiefen der generierten Informationen, bedeutet dies, dass die Verwendung der Verarbeitungsstrategie greift und nicht mehr die des Generierens. Zudem muss der Lerner ständig neue Informationen aus der wechselnden Ansicht oder aus der Rotation des Modells in vorhandene Strukturen integrieren. Der Lerner versucht durch die wiederholte Auswahl der Etagen die Struktur dieser Etagen miteinander zu vergleichen, um zu erfahren, ob diese hinsichtlich der Struktur identisch oder unterschiedlich sind. Darüber hinaus muss er über die Fähigkeit verfügen, kontinuierlich zu kontrollieren, welche Funktionen er aktiviert und wann er dies tut. Er muss planen, welche Informationen relevant sind. Er muss zum Beispiel gezielt nach Säulen suchen und sich die Struktur des Gebäudes mit seinen jeweiligen Etagen einprägen. In der Zwischenzeit bewertet er, was er gelernt hat und was er nicht verstanden hat. Auf dieser Grundlage entscheidet er dann, wie er weitergeht.

Vor diesem Hintergrund ist es daher in der vorliegenden Dissertation von großem Interesse, zunächst herauszufinden, inwieweit die Lernenden in der Lage sind, die zum erfolgreichen Wissenserwerb erforderlichen Strategien während der Interaktion mit den dynamischen Repräsentationen des virtuellen Gebäudemodells angemessen und spontan einzusetzen. Der angemessene Einsatz dieser Strategien ist schließlich notwendig, um spätere räumliche Aufgaben über strukturelle Zusammenhänge des Modells auf Basis des zuletzt integrierten Wissens erfolgreich bearbeiten zu können. Daher sind Maßstäbe festzulegen, um den selbstregulierten Strategieeinsatz adäquat und reliabel erfassen zu können.

### *Erfassung des Strategieverhaltens*

Die Methode der Erfassung von Strategien und Lernaktivitäten bildet eine relevante Grundlage für wissenschaftliche Arbeiten im Bereich des selbstregulierten Lernens. Die Erfassung des strategischen Verhaltens ist eine anspruchsvolle Herausforderung, denn es erweist sich als schwierig, ein einheitliches Maß zu dessen Erfassung zu finden. Die Schwierigkeiten kommen einerseits durch Unterschiedlichkeiten der Lerninhalte, Lernsituationen und der Lerner selbst zustande. Problematisch sind zudem erzwungene Veränderungen des Lernprozesses, die wiederum eine sich stetig ändernde Anforderung an den Lernprozess und seine Regulation stellen. Beim Lernen mit dynamisch-interaktiven Medien müssen, wie bereits erwähnt, neue Informationen erst generiert und anschließend verarbeitet werden. Es wird angenommen, dass das Generieren von Informationen am Anfang des Lernprozesses bedeutender ist (Wirth, 2009). Im Laufe des Lernens verliert das Identifizieren von neuen Informationen an Bedeutung und stattdessen gewinnt das Integrieren dieser, auf Grundlage von bereits vorhandenen Wissensstrukturen, zunehmend an Bedeutung (Wirth, 2009). Dies bringt auch einen wechselnden Strategieeinsatz mit sich. Solche Arten von Veränderungen müssen bei der Erfassung von Strategien berücksichtigt werden. Die Erfassung dynamischer Lernprozesse erfordert daher die Heranziehung dynamischer Verfahren und - wie von vielen Autoren empfohlen - auch die Anwendung multipler Verfahren (Bannert, 2009).

Eine weitere Schwierigkeit entsteht durch die üblicherweise eingesetzten Erhebungsmethoden. Es gibt unterschiedliche Verfahren, um die Lernstrategien des Lernenden zu erfassen, und diese stehen zum Teil aufgrund mangelnder Validität unter Kritik. Diese Verfahren lassen sich in verhaltensbasierte und selbstauskunftsbasierte Messmethoden unterteilen. Zu letzterer Gruppe gehören zum Beispiel (prospektive/retrospektive) Fragebögen, (prospektive/retrospektive) Interviews, Lerntagebücher oder die Verbalprotokolle durch die Methode des Lauten Denkens. Zu der ersten Gruppe zählen die Methode der (meist videogestützten) Beobachtung des strategischen Verhaltens oder Logfile-Protokolle. Die Anwendung von strukturierten (deduktiven) Fragebögen ist eine traditionell verwendete Methode zur Erfassung von Lernstrategien. Diese Methode ist äußerst ökonomisch und weist eine hohe Auswertungsobjektivität auf (Artelt, 2000). Die Konstruktion solcher Fragebögen basiert in der Regel auf Theorien der kognitiven Informationsverarbeitung (vgl. Artelt, 2000).

Zu den bekanntesten Instrumenten im deutschsprachigen Raum zählen LIST (Fragebogen über Lernstrategien im Studium von Wild und Schiefele, 1994), KSI (das Kieler Lernstrategie-Inventar für Schüler von Baumert, Heyn und Köller, 1992) und WLS („Wie lernen Sie?“ von Souvignier und Gold, 2004). Dabei werden die Strategien in vorformulierter Form bereitgestellt und sie sollen nach der Häufigkeit ihrer Anwendung eingeschätzt werden. Die entsprechenden Skalen erfassen die unterschiedlichen Teilkomponenten des selbstgesteuerten Lernens bezüglich kognitiver, metakognitiver und zuletzt ressourcenbezogener Strategien. Die Fragebögen sind ökonomisch einsetzbar und sehr reliabel (Spörer & Brunstein, 2005). Sie werden jedoch hinsichtlich ihrer Validität kritisch in Frage gestellt, da sie vielmehr Lernpräferenzen als tatsächliches Lernverhalten erheben (Artelt, 2000; Souvignier & Rös, 2005; Spörer & Brunstein, 2005). Dadurch wird eher deklaratives Wissen über bestimmte Strategien und zudem die Bewertung ihrer Verwendung erfasst und nicht der aktuelle Strategieeinsatz sowie exekutive Kontrollprozesse während des Lernprozesses und seiner Regulation. Durch die Fragebögen wird nicht deutlich erfasst, welche Lernstrategien in einer spezifischen Lernsituation eingesetzt werden (Gegenstandsunspezifität). Darüber hinaus wird der Strategieeinsatz in Strategiefragebögen quantitativ bewertet und es wird keine Aussage darüber ermöglicht, wie effizient diese eingesetzt werden (Qualität der Strategienutzung).

---

Die dritte Methode des (retrospektiven) Interviews bietet allerdings ein hohes Maß an situationsbezogenen Möglichkeiten der Erfassung. Jedoch wird diese Methode mit einer zeitlichen Verschiebung und daher entkoppelt vom eigentlichen Lernprozess eingesetzt (Wirth, 2005). Bei einem Interview kann das strategische Verhalten einer Person in einer oder mehreren Lernsituationen mit eigenen Worten (selbstberichtet) beschrieben werden. Dabei werden im Gegensatz zu Fragebögen keine Strategien vorgegeben, sondern sie werden über die allgemeine Vorgehensweise beim selbstregulierten Lernen oder über die Lernregulation eines in der Vergangenheit liegenden Lernprozesses reflektiert. Die verbal selbstberichteten Daten bilden das tatsächliche Regulationsverhalten jedoch nicht vollständig und nicht verzerrungsfrei ab (Wirth, 2005). Die Methode des Lauten Denkens (Ericsson & Simon, 1993) erfasst dagegen zeitgleich zum Lernen die begleitenden strategischen Aktivitäten. Die daraus erfassten Verbaldaten sind von den Problemen des Vergessens und der Verzerrung vermutlich nicht betroffen. Es ist anzunehmen, dass diese Methode zusätzlich zu den hohen kognitiven und metakognitiven Anforderungen, die ein hohes Maß an Regulation erfordern, eine kognitive Belastung mitsichbringt, die vermutlich die Regulation beeinträchtigt (vgl. Wirth, 2005). Bei der Verwendung der Methode des Lauten Denkens ist darüber hinaus zu beachten, dass die Formulierungen und Instruktionen unbedingt konkret und korrekt formuliert sein müssen (Ericsson & Simon, 1993).

Vor dem Hintergrund der spezifischen Vor- und Nachteile dieser Verfahren sprechen sich die Autoren für den Einsatz einer handlungsnahen Prozessanalyse aus, um die Lernstrategien und Metakognition valide zu erfassen. Es sollte eine situations- und gegenstandsspezifische Strategie-Erfassung durch die Verwendung qualitativer Erhebungsinstrumente zum Einsatz kommen (vgl. Bannert, 2004). Bei computerbasiertem Lernen bietet Logfile-recording eine angemessene Methode. Hiermit werden alle Benutzeraktivitäten automatisch und mit einem Zeitstempel in einer Datei, dem sogenannten „Logfile“ protokolliert, ohne dass dies von der Person bemerkt oder der Lernprozess gestört wird. Die Online erhobenen Log-Daten sind reine Verhaltensdaten, die keine Verzerrungen aufweisen, da sie kontinuierlich während des gesamten Zeitraums des Lernens (handlungs- und zeitnah) erfasst werden (Wirth, 2004 & 2005). Diese Verhaltensdaten können nach bestimmten Maßstäben zum Beispiel nach Verhaltenssequenzen weiter

ausgewertet werden. Die Interpretation derartiger Logfile-Daten ist jedoch kritisch zu bewerten, denn bei dieser Methode werden in der Regel bestimmte Aktivitäten in einem zeitlichen Verlauf erfasst, doch können keine qualitativen Aspekte dieser Aktivitäten gemessen werden (Wirth, 2004 & 2005). Es lässt sich zusammenfassen, dass eine Erfassungsmethode dann valide ist, wenn sie den Strategieeinsatz handlungsnah und situationsspezifisch und nicht nur quantitativ, sondern vielmehr auch qualitativ, erfasst. Eine solche Methode sollte eine gute Grundlage für die Konstruktion eines Prozessinstruments bieten. Es wird außerdem von vielen Autoren betont, dass multiple Strategieverfahren herangezogen werden müssen (vgl. Bannert, 2009).

Um den Strategieeinsatz der Lernenden während der Interaktion mit dem virtuellen Modell valide festhalten zu können, wird daher in der vorliegenden Arbeit ein multiples Verfahren eingesetzt, welches das Strategieverhalten der Lernenden prozess- und zeitnah erfasst. Dieses Verfahren umfasst sowohl quantitative als auch qualitative Erhebungsmethoden. Hierbei wird das Ziel verfolgt, die in Frage kommenden Methoden hinsichtlich ihrer Vorteile miteinander zu kombinieren, um dadurch die Prozessdaten zeitgleich von unterschiedlichen Gesichtspunkten aus ermitteln zu können. Anschließend wird der Schwerpunkt auf die Untersuchung gerichtet, ob beziehungsweise wodurch die Lernenden bei der Anwendung dieser Prozesse unterstützt werden können.

### *Förderung der Lernstrategien*

In vielen kognitions- und metakognitionspsychologischen Untersuchungen zum Lernen mit linearen (z.B. Texten, Bilder), non-linearen (z.B. Hypermedia-Lernen) und dynamischen Lernmaterialien (z.B. Animationen) finden sich jedoch Belege dafür, dass die Lerner entweder nicht über genügend strategisches Wissen verfügen (Mediationsdefizite) oder das strategische Vorgehen nicht automatisch und spontan einsetzen können (Produktionsdefizite) (Cohen & Hegarty, 2007; vgl. Bannert, 2003). Beispielsweise zeigt Bannert (2001, 2005), dass die Lerner nicht immer spontan die regulativen Anforderungen beim Lernen mit hypermedialen Lernumgebungen erfüllen können und es zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Lernenden große inter-individuelle Unterschiede bezüglich der spontanen Anwendung von metakognitiven Lernstrategien gibt. Das Auftreten der

genannten Defizite wird auch beim Lernen mit dynamisch-interaktiven Lernmedien angenommen. Die Lernenden der Studie von Cohen und Hegarty (2007) hatten beispielsweise Schwierigkeiten, spontan Lernstrategien anzuwenden, um die notwendigen räumlichen Informationen aus dynamischen Repräsentationen zu extrahieren.

Zahlreiche Studien zur Selbstregulation belegen einen Bedarf an Förderung des Einsatzes von Lernstrategien mit dem Ziel des regulierten Lernens (Artelt & Moschner, 2005; Artelt, 2006; Bannert & Schnotz, 2006). Diese beschäftigen sich mit der Anregung und Förderung von unterschiedlichen Lernstrategien und dienen daher dem Erkenntnisgewinn über die Unterstützungsmöglichkeiten für erfolgreiches Lernen (z.B. beim hypermedialen Lernen: Bannert, 2003; in computerbasierten (dynamisch-interaktiven) Lernumgebungen: Stark, Tyroller, Krause & Mandl, 2008; Stark & Krause, 2009; Wirth, 2009; in computerbasierten Simulationen: Wichmann & Leutner, 2009). Das Ziel der Fördermaßnahmen sollte jedoch nicht sein, lediglich spezifische Strategien zu vermitteln, sie sollten vielmehr den Lernenden ermöglichen, diese Strategien in guter, korrekter und zielführender Weise einzusetzen (instruktionale Förderung; Leutner & Leopold, 2006). Thillmann et al. (2009) untersuchten zudem den Einfluss von Regulationsinstruktionen auf den Lernerfolg und zeigten, dass Regulationsprompts, die während des Lernprozesses dargeboten werden, einen höheren Lerneffekt nach sich ziehen (Thillmann et al., 2009). Darüber hinaus erweisen sich Fördermaßnahmen als erfolgreich, die bereichsspezifisch gestaltet und in Lernprozesse integriert sind (vgl. Bannert, 2003, 2007; Glogger, Holzäpfel, Schwonke, Nückles & Renkl, 2009). In der Literatur wird auf zwei Formen der Förderung, auf die direkte und indirekte Förderung, verwiesen. Die direkte Förderung zielt auf ein direktes Training von Lernstrategien und Regulationsmechanismen ab. Dabei werden zum Beispiel verschiedene kognitive und metakognitive Strategien direkt vermittelt und geübt. Hierbei erweist sich der Einsatz von Lerntagebüchern mit dem Ziel des Aktivierens von Selbstbeobachtungsprozessen als erfolgreich (Landmann & Schmitz, 2007; Perels, 2003; vgl. Niegemann et al., 2008).

Bei der indirekten Förderung werden hingegen Hilfestellungen in Form von Aufgaben in die Lernumgebung integriert, die strategische Kompetenzen abrufen und während des Lernens in verschiedenen Phasen dargeboten werden können (Friedrich & Mandl, 2006). Hinsichtlich der Art der Fördermaßnahme lässt sich aufgrund der Vor- und Nachteile der jeweiligen Formen eine Kombination von direkten und indirekten Maßnahmen als erfolgreich postulieren (Friedrich & Mandl, 1997; vgl. Bannert, 2003, 2007; Bannert & Schnotz, 2006). Diese Empfehlung basiert allerdings auf der Instruktionsforschung zum Lernen mit Texten. Bannert (2009) diskutiert außerdem die Notwendigkeit der Berücksichtigung interner und externer Lernvoraussetzungen bei der Analyse der Effektivität von Fördermaßnahmen.

Es wird empfohlen, dass sich die Forschung verstärkt der Untersuchung von Charakteristika der Lernenden widmen sollte. Zu den internen Lernvoraussetzungen gehören beispielsweise domänenspezifisches Vorwissen und bereits bestehendes Strategiewissen. Zu den externen Eigenschaften zählen zum Beispiel die Schwierigkeit der Aufgaben beziehungsweise der Lernkontexte (Bannert, 2009, S. 140). Wirth (2005) betont die bedeutende Rolle des gegenstandsspezifischen Vorwissens und des erworbenen Wissens bei der Orientierung zu relevanten Informationen während des Identifizierens und Integrierens von räumlichen Informationen. Diese Orientierung fällt dem Lerner vor allem beim Identifizieren von neuen Informationen nicht immer leicht. Er muss bei der Unterscheidung zwischen relevanten und irrelevanten Informationen Hypothesen generieren, wofür ein gewisses Ausmaß an Vorwissen nötig ist (Wirth, 2005). Beim Integrieren sind die Lerner hingegen weniger abhängig von diesen Faktoren, da die Informationen aus der Generierungsphase bekannt sind. Thillmann et al. (2009) griffen auf den Faktor der Gestaltungsmerkmale interaktiver Lernmedien zurück und untersuchen deren Einfluss auf die Selbstregulation des Lernens mithilfe der bereits beschriebenen Medien.

### *Förderungsmaßnahmen durch instruktionale Prompts*

Das Bereitstellen von Prompts als Methode der indirekten Förderung ist eine „ökonomische Form der Instruktion“ (Wirth, 2009, S. 92). Prompts stellen effektive Hilfen sowohl zur Förderung der Selbstbeteiligung am eigenen Lernprozess und seiner Regulation (Bannert, 2003; Thillmann et al., 2009) als auch zur Unterstützung des Wissenserwerbs dar (Bannert, 2003; Glogger et al., 2009; Hilbert et al., 2008; Hübner, Nückles & Renkl, 2006; Stark et al., 2008; Stark & Krause, 2009; Thillmann et al., 2009; Schwonke et al., 2006). In den letzten 25 Jahren hat die Anregung von Lernprozessen durch Prompts im Bereich der Selbstregulation zunehmend die Aufmerksamkeit von Forschern gewonnen (Bannert, 2009). Bannert (2003) zeigte, dass die Nutzung metakognitiver Lernhilfen in Form von Prompt-Interventionen einerseits das metakognitive Lernverhalten und andererseits die Lernperformanz vor allem in Transferaufgaben in netzbasierten Lernumgebungen verbessert. Prompts werden in der Regel als Abruf- beziehungsweise Lernhilfen definiert, die den Lernenden in Form von Lernaufforderungen oder Aufgaben während des Lernprozesses dargeboten werden (Bannert, 2003). Demzufolge sollen die Lernenden eine bestimmte Aktivität während des Lernens ausführen, die Wissen, Fähigkeiten und Strategien hervorruft, die der Lerner zwar beherrscht, jedoch nicht spontan beziehungsweise nicht in ausreichendem Maße einsetzt (Bannert, 2007, 2009; Glogger et al., 2009; Hilbert et al., 2008; Wirth, 2009).

Die instruktionalen Prompts vermitteln keine neuen Informationen. Bei der Darbietung der Prompts wird vielmehr davon ausgegangen, dass das strategische Wissen und die benötigten Fähigkeiten des Lernenden bereits vorhanden sind, diese jedoch nicht angemessen und nicht zur richtigen Zeit beziehungsweise nicht spontan angewendet werden können. Die Prompts können aus einer Bandbreite von möglichen Aufgaben und Anweisungen bestehen, beispielsweise von „Was ist Ihr Plan?“ bis hin zu explizit leitenden Unterstützungen wie „Zuerst musst du die Variablen z-standardisieren und diese dann miteinander multiplizieren!“. Da solche Prompts lediglich eine minimale Menge an Informationen beinhalten, unterbrechen sie den laufenden Lernprozess nur in einem sehr geringem Maß (Wirth, 2009). Dabei sind zwei Fragestellungen von zentraler Bedeutung, auf die Friedrich und Mandl (2006) hinweisen: Was beziehungsweise welche Aktivitäten müssen durch

---

Prompts gefördert werden und wie sollen die Prompts gestaltet sein, um das selbstregulierte Lernen der Personen auf eine unterstützende Weise einzuleiten. Die instruktionalen Prompts basieren auf unterschiedlichen Komponenten des Konstrukts des selbstregulierten Lernens, welche der Simulation und Einführung kognitiver, metakognitiver, motivationaler und kooperativer Aktivitäten des Lerners während des Lernprozesses dienen (Bannert, 2007, 2009). Hierbei spricht Wirth (2009) vom „Gehalt des Prompts“.

In der Kognitionspsychologie werden Lernstrategien häufig in kognitive und metakognitive Strategien eingeteilt. Viele Forscher implementieren demnach in ihren Untersuchungen kombinierte Prompt-Maßnahmen unter Einbezug von kognitiven und metakognitiven Strategiekomponenten (Bannert, 2003; Glogger et al., 2009; Leutner & Leopold, 2006; Schwonke et al., 2005; Thillmann et al., 2009; Wichmann & Leutner, 2009). Dieser Ansatz beruht vor allem auf empirischen Befunden aus dem traditionellen Forschungsbereich der Selbstregulation beim textbasierten Lernen. Nach diesen Befunden sind solche Trainingsprogramme effektiv, die entweder kognitive Strategien oder eine Kombination von kognitiven und metakognitiven Strategien einführen (z.B. Leutner & Leopold, 2003). Schwonke et al. (2005) untersuchten in ihrer Studie, inwieweit die effektive Nutzung der Lernprotokolle von Studierenden durch Prompt-Maßnahmen unterstützt wird. Die Prompt-Maßnahmen wurden in einer computergestützten Lernumgebung dargeboten, die als Ergänzung zu einem Präsenzseminar eingesetzt wurde. Die Autoren replizierten in ihrer Studie auch den Befund, dass sich entweder nur kognitive Prompts oder die Kombination von kognitiven und metakognitiven Prompts als lernförderlich erweisen (Schwonke et al., 2005). Jedoch wird in der vorliegenden Arbeit nur der unmittelbare Einfluss der Prompts auf den Lernerfolg untersucht. Prompts können die Strategieanwendung unmittelbar lernförderlich beeinflussen.

Wichmann und Leutner (2009) untersuchten den Effekt von Prompts beim Lernen mit computerbasierten Lernsimulationen. Sie fanden ähnliche Befunde, nämlich dass die Studenten der Gruppe mit kognitiven und metakognitiven Prompts besser abschnitten als die Kontrollgruppe. Jedoch scheint dieser positive Effekt der Prompts keine mittelfristige Auswirkung zu haben. Die kombinierten Prompt-Maßnahmen (kognitive und metakognitive Prompts) waren hingegen in der Studie von Hilbert et al. (2008) nicht effektiver als ausschließlich kognitive

beziehungsweise metakognitive Prompts. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie die Prompts konstruiert sein sollten, damit sie Lernprozesse fördern. Hierzu weisen Studien auf einige Aspekte wie zum Beispiel die Art der Prompts (Bannert, 2003; Glogger et al., 2009; Leutner & Leopold, 2006; Schwonke et al., 2005; Thillmann et al., 2009; Wichmann & Leutner, 2009), ihre Spezifität (Glogger et al., 2009) sowie die Zeit und Abfolge ihres Auftretens (Thillmann et al., 2009) hin, welche beim Entwurf von Prompt-Studien berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise untersuchten Glogger et al. (2009) die Effekte von unterschiedlich spezifischen Prompts kognitiver und metakognitiver Art auf den Einsatz von Lernstrategien. Signifikante Effekte der spezifischen Prompts zeigten sich hinsichtlich der spontanen Anwendung von kognitiven Elaborations- und Organisationsstrategien. Entgegen der Erwartung konnte jedoch kein Effekt der Prompts auf die qualitative Anwendung von Strategien beobachtet werden (Glogger et al., 2009). Es besteht ein Bedarf an genaueren Analysen, die die Effekte von verschiedenen Prompts auf unterschiedliche Leistungsmaße untersuchen. Des Weiteren bewirkte die Art der spezifischen und unspezifischen metakognitiven Prompts keine differenziellen Effekte.

Basierend auf den Ergebnissen der vorgestellten empirischen Studien wird in der vorliegenden Arbeit ein Kurzzeit-Training konzipiert und angewendet. Das Training verfolgt zum einen das Ziel, bei den Lernern nachhaltig die Fähigkeit zur selbstregulierten Anwendung von Strategien zu fördern. Zum anderen sollen die Lerner bei der effektiven Nutzung von visuell-dynamischen Repräsentationen und von Explorationsverhaltensweisen unterstützt werden. Dabei steht die Förderung von kognitiven und metakognitiven Regulationsprozessen, die nach der Präsentation von instruktionalen Prompts erfolgen, an erster Stelle. In drei Bedingungen des Trainingsprogramms wird die Art der Prompts variiert und miteinander kombiniert. Die Lernenden werden während der Anwendung von interaktiven Steuerungsmöglichkeiten und während des Lernens durch kognitive und metakognitive Prompts gezielt instruiert. Diese Prompts sollen während der Interaktion der Lernenden mit dem virtuellen Gebäudemodell ihr Lernen der räumlichen Konfigurationen unterstützen.

Die Prompts werden im angewendeten Training bereichsspezifisch konzipiert und direkt in der interaktiven Lernumgebung in einen festen zeitlichen Rahmen implementiert, und zwar in verschiedenen Phasen des Lernprozesses, d.h. am Anfang, mittendrin und zeitnah zum Schluss. Dieses Design stützt sich auf die Arbeit von Thillmann et al. (2009), in der die Einleitung der Prompts während des Explorationslernens effektiver war, als eine direkte Unterstützung vor Beginn des Lernens. Außerdem zeigen viele Studien aus diesem Forschungsbereich, dass eine im Lernkontext integrierte Strategieinstruktion besser wirkt, als separate und kontextentbundene Instruktionen. Die instruktionalen Prompts mit kognitiven Komponenten regen Aktivitäten bei den Lernenden an, die das Generieren und Verarbeiten von Informationen beinhalten. Diese Verarbeitungsstrategien lassen sich in Organisations- und Elaborationsstrategien unterteilen. Die Beispiele in Abbildung 6 stellen die unterschiedlichen Prompts aus den Booklets dar, die jeweils Strategien des Generierens, Organisierens oder Elaborierens der gegebenen Informationen hervorrufen. Die metakognitiven Lernhilfen unterstützen die Lernenden in ihrer Informationsverarbeitung anhand von metakognitiven und regulativen Aktivitäten, wie zum Beispiel der Zielplanung, der Überwachung und des Kontrollierens sowie der Bewertung des Lernprozesses. Die Lernhilfen fordern die Lernenden außerdem dazu auf, diese Aktivitäten jeweils am Anfang, in der Mitte oder zum Schluss des Lernens durchzuführen. Die jeweiligen Prompts können aus dem Beispiel in den Abbildungen 6 und 7 entnommen werden.

In der Summe werden bei den Lernenden der vorliegenden Arbeit strategische und regulative Vorgehensweisen vorausgesetzt, die sie während der Exploration des virtuellen interaktiven Gebäudemodells zum Verständnis der räumlichen Zusammenhänge einsetzen sollen. Hierfür ist von großer Bedeutung, über genügend kognitives und regulatives Wissen zu verfügen und dieses auch angemessen und spontan bei der Interaktion mit dem Lernmaterial einzusetzen (strategische Vorgehensweise). Hinsichtlich der strategischen Vorgehensweise sowie des Einsatzes dieser Strategien differenzieren sich erfolgreiche Lernende von weniger erfolgreichen Lernenden. Daher setzt sich diese Arbeit zum Ziel, herauszufinden, welche Strategien die erfolgreichen beziehungsweise weniger erfolgreichen Lerner im Umgang mit den gegebenen Interaktionsmöglichkeiten in räumlichen Umgebungen einsetzen und in welchem quantitativen und qualitativen

Ausmaß diese angewandt werden. Dabei ist es relevant zu wissen, welche Strategie zu welchem Zeitpunkt eingesetzt wird und welche qualitativen Aspekte des Strategieeinsatzes sich identifizieren lassen. Es wird angenommen, dass die erfolgreichen Lerner die Steuerungsmöglichkeiten zur Interaktion mit dem Modell bewusster und effektiver anwenden und sie die unterschiedlichen Perspektiven zielgerichteter nutzen sowie bewusst zwischen diesen wechseln.

## **2.6 Ableitung der Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit**

Der Gegenstand dieser Forschungsarbeit besteht darin, bedeutende Variablen, die sich auf die effektive Nutzung von visuell-dynamischen Repräsentationen zum Zwecke des erfolgreichen Lernens von räumlichen Strukturen im Innenraum auswirken, zu untersuchen. Dazu wird den Lernenden ein virtuelles 3D-Gebäudemodell zur Verfügung gestellt, das flexible (interaktive) visuelle Zugänge zu räumlichen Strukturen eines mehrstöckigen Gebäudes bietet. Die Lernenden werden instruiert, dieses Modell zu explorieren. Bei der erfolgreichen Bildung von mentalen Repräsentationen der räumlichen Konfigurationen des virtuellen Gebäudes (räumliches Lernen) durch visuell-dynamische interaktive Repräsentationen, wie aus der Darstellung der theoretischen Grundlagen deutlich wurde, sind verschiedene Variablen von Bedeutung. Dazu zählen beispielsweise die Personeneigenschaften sowie die strategische Vorgehensweise des Lerners im Umgang mit interaktiven Kontrollfunktionen.

Vor diesem Hintergrund steht die Überprüfung des Einflusses von Personeneigenschaften sowie der strategischen Nutzung von vorhandenen interaktiven Kontrollmöglichkeiten auf den Erwerb von räumlichem Wissen im Fokus. Darauf basierend und auf Grundlage der Befunde von Forschungsarbeiten über Selbstregulation wird ein Mehrkomponenten-Trainingsprogramm entwickelt, das vor allem die weniger erfolgreichen Lerner bei der Bildung von mentalen Repräsentationen der Umgebung unterstützen soll. Das Trainingsprogramm beinhaltet kognitive und metakognitive Strategiekomponenten, welche für selbstregulierte interaktive Exploration zum Zwecke des effektiven räumlichen Lernens als relevant erachtet werden. Drei aufeinander aufbauende experimentelle Untersuchungen (Vor- und Hauptstudien I & II), in denen die Effekte von Personeneigenschaften, von Strategieelementen und von einem

Kurzzeit-Training untersucht werden, verfolgen die drei folgenden Hauptziele der Dissertation:

*Das erste Ziel der Forschungsarbeit ist es, die Explorationsstrategien von Lernenden zu identifizieren, welche die unterschiedlichen Lernerfolge beim Erfassen von räumlichen Konfigurationen erklären können.* Dabei gilt es herauszufinden, welche Strategien Personen mit hohem vs. niedrigem Lernerfolg bei der Exploration räumlicher Strukturen einsetzen und ob diese Strategien tatsächlich lernwirksam sind. Dabei soll auch geklärt werden, ob sich Geschlechtsunterschiede bezüglich der Strategieanwendung identifizieren lassen.

*Als zweites Ziel wird überprüft, welche weiteren Variablen den Lernerfolg bezüglich des Erwerbs von räumlichen Konfigurationen durch Exploration der virtuellen Umgebung erklären können.* Dabei wird vor allem auf die Personeneigenschaften seitens des Lerners fokussiert. Dazu gehören „visuell-räumliche Fähigkeiten“, „Selbsteinschätzung der Orientierungskompetenz“ und „Vorerfahrung mit Computerinterfaces und Computerspielen“. Mittels multipler Regressionsanalysen wird bestimmt, wie viel Varianzaufklärung für das Kriterium Lernerfolg von diesen Prädiktorvariablen geleistet wird.

*Als drittes Ziel sollen kurz- und mittelfristige Auswirkungen eines Trainings der Explorationsstrategien auf den räumlichen Lernerfolg experimentell untersucht werden.* Dafür wird ein Mehrkomponenten-Trainingsprogramm entwickelt, welches mittels instruierter Lernhilfen (Prompts) das strategische Explorationsverhalten der Lernenden unterstützen soll. Innerhalb des Experiments werden drei Trainingsgruppen untersucht, zwischen denen die Art der Lernhilfen variiert wird. Die erste Trainingsgruppe erhält keine Prompts. Den Lernenden der zweiten und dritten Trainingsgruppe werden Prompts vorgegeben, welche entweder ausschließlich kognitive oder eine Kombination von kognitiven und metakognitiven Komponenten der Strategien anleiten. Es soll geklärt werden, welche der Trainingsmaßnahmen im Hinblick auf die effektive Nutzung von interaktiven Steuerungsmöglichkeiten zielführend eingesetzt werden können. Aufgrund der beschriebenen Ziele dieser Arbeit und basierend auf den theoretischen Ausführungen der vorangegangenen Kapitel lassen sich die untenstehenden Forschungsfragen der vorliegenden Dissertation generieren und daraus Hypothesen ableiten. Aus diesen Forschungsfragen abgeleitete Hypothesen werden zum Zwecke einer besseren Übersicht im Folgenden an den

---

entsprechenden Stellen in der Vor- und Hauptstudie I und II (s. Kapitel 3.1; 4.1 und 5.1) aufgeführt.

#### *Forschungsfragen der Vorstudie*

- Welche Explorationsstrategien lassen sich während des Umgangs mit interaktiven Steuerungsmöglichkeiten in virtuellen Gebäudemodellen identifizieren?
- Wie hoch korrelieren die Personenfähigkeiten (visuell-räumliche Fähigkeiten, Orientierungsfähigkeit und Vorerfahrungen mit Computer(-spielen)) mit der räumlichen Leistung?
- Unterscheiden sich die Geschlechter hinsichtlich ihrer Personenfähigkeiten sowie ihrer räumlichen Leistung?

#### *Forschungsfragen der Studie I*

- Inwieweit lassen sich die Explorationsstrategien der Lernenden während des Umgangs mit interaktiven Steuerungsmöglichkeiten in virtuellen Gebäudemodellen klassifizieren? Wie differenzieren sich diese Klassifikationen voneinander?
- Was ist eine gute Strategie hinsichtlich des Lernens der räumlichen Strukturen des Gebäudemodells? Wenden erfolgreiche Lerner beim räumlichen Lernen effizientere Strategien an, als weniger erfolgreiche Lerner?
- Inwieweit haben diese Strategien Einfluss auf die unterschiedlichen Komponenten des räumlichen Wissenserwerbs (routen- und überblick-basiertes Wissen)?
- Inwieweit präzisieren inter-individuelle Unterschiede in den Personenfähigkeiten (visuell-räumliche Fähigkeiten, Selbsteinschätzung der Orientierungskompetenz und Vorerfahrungen mit Computerspielen) den Lernerfolg bei freier und selbstgesteuerter Exploration des virtuellen Gebäudemodells?
- Inwiefern können die Unterschiede im räumlichen Lernerfolg durch die Geschlechterunterschiede in den Personenfähigkeiten aufgeklärt werden?

*Forschungsfragen der Studie II*

- Hat ein Kurzzeit-Training von kognitiven und metakognitiven Strategiekomponenten einen Einfluss auf den räumlichen Lernerfolg?
- Unterscheidet sich ein Training mit kombinierten Lernhilfen im Vergleich zu einem mit einfachen Lernhilfen oder im Vergleich zu einem Training mit Verzicht auf Lernhilfen hinsichtlich seines Effekts auf den Lernerfolg?
- Hat der Einsatz von Explorationsstrategien (quantitativer und qualitativer Art) während des Lernens im virtuellen Gebäudemodell Auswirkungen auf den Erfolg beim räumlichen Lernen von Gebäudestrukturen?
- Inwieweit wird der Einfluss der Explorationsstrategien auf die Lernerfolgskriterien durch das Training gefördert?
- Wird die Wirksamkeit der Explorationsstrategien auf das räumliche Lernen durch Personenvariablen beeinflusst?
- Beeinflusst das Training beziehungsweise die Art der prompt-basierten Lernhilfen den Zusammenhang zwischen den Personenvariablen und dem Lernerfolg beim räumlichen Wissenserwerb?

### 3 Vorstudie

#### 3.1 Ziel und Hypothesen

Diese erste Studie dient als Pilotstudie, in der hauptsächlich Materialien und Testverfahren vorgetestet werden, um dadurch die Validität der eingesetzten Tests zu gewährleisten. Es ist daher das vorrangige Ziel dieser ersten Studie, die diagnostischen Materialien sowie die Tests zur Erfassung der routen- und überblickbasierten mentalen Repräsentationen des Gebäudemodells zu prüfen. Dabei soll bei Bedarf eine Optimierung in den Instruktionen und Lernmaterialien für anschließende Studien vorgenommen werden. Ein weiteres Ziel der Studie ist es, die Strategien zu klassifizieren, welche die Lerner bei der Interaktion mit dem Modell anwenden. Dabei sollen Strategieelemente und ihre Anwendung unter qualitativen Aspekten differenziert werden, um dabei quantitative Messgrößen für die Bestimmung der Effizienz von Explorationsstrategien zu entwickeln. Hierzu wird der Frage nachgegangen, ob die Anwendung von unterschiedlichen Strategien mit individuell hohem beziehungsweise niedrigem Lernerfolg einhergeht. Außerdem soll geklärt werden, ob die räumliche Lernleistung der Personen mit ihren visuell-räumlichen Fähigkeiten, der Selbsteinschätzung der Orientierungskompetenz sowie ihren Vorerfahrungen mit Computer(-spielen) zusammenhängt. Darüber hinaus wird der Frage nachgegangen, ob es zwischen den Geschlechtern bezüglich ihrer vorausgesetzten Fähigkeiten oder des räumlichen Wissenserwerbs Unterschiede gibt. Die Hypothesen lassen sich wie folgt formulieren:

- Die Lernenden zeigen unterschiedliche strategische Vorgehensweisen bei der freien Exploration des Gebäudemodells.
- Die Fähigkeit der Personen, eine exakte mentale Repräsentation vom virtuellen Gebäudemodell aufzubauen, hängt stark mit ihren visuell-räumlichen Fähigkeiten, ihrer Selbsteinschätzung der Orientierungsstrategien sowie ihren Vorerfahrungen mit Computerspielen zusammen.

- Die Geschlechter zeigen bedeutsame Unterschiede hinsichtlich ihrer visuell-räumlichen Fähigkeiten, ihrer Orientierungsfähigkeit, ihrer Vorerfahrungen mit Computern sowie ihrer räumlichen Leistung.

## **3.2 Methode**

### **3.2.1 Stichprobe**

An dieser Untersuchung nahmen insgesamt zwölf Studierende (davon sechs weibliche) verschiedener Fachrichtungen der Universität des Saarlandes im Alter von 20 bis 31 Jahren ( $M = 23.80$ ,  $SD = 3.22$ ) freiwillig teil. Sie wurden mittels Aushängen rekrutiert und erhielten für ihre Teilnahme entweder eine geringfügige finanzielle Entschädigung oder, im Falle von Psychologiestudierenden, eine Versuchspersonenstunde gutgeschrieben. Voraussetzung für die Teilnahme war das Fehlen jeglicher Vorkenntnisse über das für die Studie genutzte Gebäude auf dem Campus der Universität des Saarlandes und über die Strukturen des Lerngebäudes dieser Studie. Um potenzielle Fehler beim Verständnis der Instruktionen und Aufgabenstellungen zu minimieren, wurden ausschließlich Probanden mit deutscher Muttersprache zur Teilnahme zugelassen.

### **3.2.2 Instrumente und Materialien**

An dieser Stelle werden alle Instrumente und Materialien beschrieben, die für die erste Studie verwendet wurden. Diese wurden eingesetzt, um die Prädiktor- und Kriteriumsvariablen sowie die Prozessdaten zu erfassen. Die Prädiktorvariablen beinhalten die Tests der visuell-räumlichen Fähigkeiten, der Selbsteinschätzung der eigenen Orientierungskompetenz sowie die Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen. Die Kriteriumsvariablen erfassen die beiden Arten des routen- beziehungsweise überblickbasierten Wissens. Die Prozessvariablen umfassen die Daten hinsichtlich der strategischen Explorationsaktivitäten der Lernenden. Bei der Darstellung der Erhebungsinstrumente wird die interne Konsistenz der jeweiligen Messinstrumente, die mittels Reliabilitätsanalyse überprüft wurde, angegeben. Eine Reliabilität über .60 wird in den Sozialwissenschaften als angemessen angesehen

(Bortz & Döring, 2005). Der Alpha-Koeffizient von Cronbach als Reliabilitätsmaß fällt umso höher aus, je reliabler die verwendeten Items und je größer die Interkorrelationen der Items sind.

### **Materialien der Lernphase**

Die virtuelle Lernumgebung ist ein Modell eines real existierenden Gebäudes auf dem Campus der Universität des Saarlandes, welches mit interaktiven Kontrollmöglichkeiten explorier- und virtuell begehbar ist. Das reale Gebäude ist ein komplexes, mehrstöckiges Gebäude, dessen Stockwerke zum Teil ineinander übergehen (z.B. durch Galerien mit Lufträumen). Außerdem unterscheiden sich die Stockwerke, aufgrund unterschiedlicher Funktionen, strukturell voneinander. Das virtuelle 3D-Gebäudemodell wird durch die Software Yamamoto modelliert. Es beinhaltet eine integrative Interaktionskonsole mit Buttons für Etagenwechsel und das Wechseln von Ansichten (s. Abbildung 1). Den Lernenden werden zur Exploration und Interaktion mit dem Gebäudemodell zwei unterschiedliche Perspektiven – die allozentrische und die egozentrische – zur Verfügung gestellt. Zwischen diesen können sie jederzeit durch das Klicken der entsprechenden Buttons wechseln. In der allozentrischen Perspektive, welche die zwei verschiedenen Möglichkeiten der sog. Perspektivenansicht und der orthogonalen Ansicht bietet, wird das Gebäudemodell von oben von einem Betrachter-Standpunkt außerhalb des Modells dargestellt. Die beiden Ansichtsvarianten können in der Menüleiste unter „View“ ausgewählt werden. Die orthogonale Ansicht ist einem Bauplan beziehungsweise einem Grundriss ähnlich, wohingegen die Perspektiven-Ansicht das Gebäudemodell dreidimensional darstellt. Eine Interaktion mit dem Modell ist aus beiden Ansichtsvarianten durch Benutzung der Maus möglich. Dabei können Optionen wie Zoomen, Rotieren und Wechseln zwischen den Stockwerken ausgewählt werden. Die egozentrische Ansicht, die sog. Avatar-Ansicht, zeigt das Modell von innen, indem die Person als integrierter „Avatar“ das Modell virtuell begehen kann. Zum Navigieren in dieser Ansicht sollen die Lernenden die Pfeiltasten (rechts, links, auf, ab) auf der Tastatur verwenden. Im virtuellen Gebäude werden fünf nummerierte, farbige Säulen als Landmarken platziert. Die Nummerierung und farbliche Unterscheidung der Säulen dient als Unterstützung und soll die Orientierung im Gebäude erleichtern. Das

Modellierungsprogramm Yamamoto und das virtuelle Lernmodell sind auf der CD als Anlage dieser Arbeit zu finden.

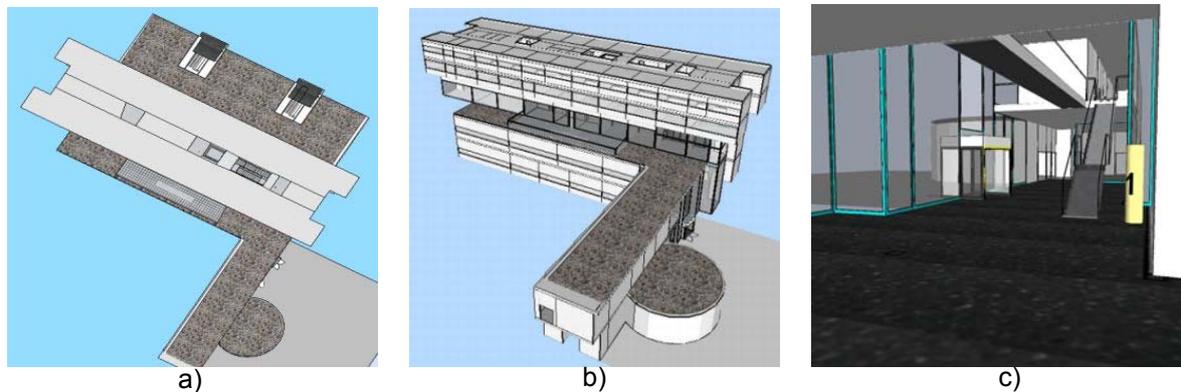


Abbildung 1. Ausschnitt des in der Vorstudie eingesetzten virtuellen Gebäudemodells aus (a) orthogonaler Ansicht, (b) Perspektivenansicht und (c) Avatar-Ansicht

## Erfassung der inter-individuellen Personenfähigkeiten

### *Visuell-räumliche Fähigkeiten*

Um die visuell-räumlichen Fähigkeiten der Teilnehmer zu erfassen, wurden drei valide und geprüfte Instrumente eingesetzt. Der Test *Hidden Patterns* (Mustererkennung) gehört zum Faktor Closure Flexibility des „Manual for Kit of Factor-Referenced Cognitive Tests“ (Ekstrom, French & Harman, 1976). Er überprüft mittels 200 Items die Fähigkeit, ein räumliches Muster zu enkodieren und dieses in einer komplexeren Figur wiederzuerkennen. Eine „versteckte“ zweidimensionale Strichfigur ist in einer komplexeren Strichfigur enthalten (oder nicht) und muss in der komplexeren Figur entdeckt werden. Dabei können höchstens 200 Punkte erreicht werden. Dieser Test wird computergestützt durchgeführt (s. Vorstudie\_ Tests\_ HP & MP auf der CD als Anlage zu dieser Arbeit). Die interne Reliabilität des Tests ist gut (Cronbach's  $\alpha = .91$ ).

*Mental Pathway* (zu erinnernder Bewegungspfad) ist ein Test zur Erfassung des visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnisses, welcher eine Variante von Brooks Aufgaben darstellt (Brooks, 1967, vgl. Münzer & Stahl, 2011). Der Test erfasst die Fähigkeit, die Anordnungen, den Ort und die Orientierung von Objekten im visuellen Gedächtnis abzuspeichern und sich an diese zu erinnern. Dieses Instrument erfordert die Vorstellung einer unsichtbaren 5 x 5 Matrix und das

Merken einer Sequenz von Buchstaben, die nacheinander in einer bestimmten Ordnung präsentiert werden. Die Länge der Buchstabensequenz (Pfad) ändert sich entsprechend der Anzahl der präsentierten Buchstaben. Die Aufgabe des Lernenden ist es, die Buchstaben in der später erscheinenden Matrix korrekt wiederzugeben. Die Aufgabenstellung beginnt mit einer verbalen Anweisung, während der eine Sequenz von Buchstaben (beginnend mit „A“) alphabetisch nacheinander in einer bestimmten Ordnung angegeben wird. Dabei bildet sich eine Art „Buchstabenpfad“ von Buchstaben durch die Matrix, dessen Länge sich im Verlauf des Tests ändert. Entsprechend der Anzahl der Buchstaben werden unterschiedliche Levels von sechs bis dreizehn definiert, wobei in jedem Level drei Aufgaben gestellt werden. Während der Anweisungen sieht der Lerner die Matrix beziehungsweise den beschriebenen Pfad nicht auf dem Bildschirm, er soll ihn sich vorstellen und einprägen. Daraufhin soll der Lerner den gemerkten Pfad in der richtigen Reihenfolge durch Mausklicke in die erscheinende Matrix eintragen. Der Lerner erreicht das nächste Level, wenn er mindestens zwei von drei Aufgaben korrekt beantwortet hat und fällt hingegen auf ein niedrigeres Level zurück, wenn nur eine von drei Aufgaben korrekt war. Der Test ist beendet, wenn keine der drei Aufgaben eines Levels korrekt gelöst wurden. Die Gedächtnisspanne des Lerners bemisst sich folglich an dem zuletzt erreichten Level, in welchem er sich an mindestens zwei korrekte Reihenfolgen der Buchstaben erinnern konnte. Der Test weist ein Cronbach's  $\alpha$  von .63 auf (vgl. Münzer & Stahl, 2011). Er wurde außerdem computergestützt durchgeführt und die Antworten wurden automatisch durch Algorithmen protokolliert (s. Vorstudie\_ Tests\_ HP & MP auf der CD als Anlage zu dieser Arbeit).

Der Test *Perspective Taking (Perspektivenübernahme)* (Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Hegarty & Waller, 2004) ist ein Instrument zur Messung der räumlichen Orientierung. Er misst die Fähigkeit, sich eine vorgegebene Überblicksperspektive aus einer egozentrischen Perspektive vorzustellen, um basierend auf einer Karte Richtungsangaben machen zu können (s. Anhang A1, S. 217-222). Die Karte zeigt die räumliche Konfiguration von verschiedenen Objekten (z.B. Auto, Blume, Stoppschild, Haus etc.). Die Teilnehmer machen eine Richtungsangabe, indem sie sich vorstellen, dass sie an einer bestimmten Position (z.B. an der Blume) stehen, dabei in Richtung eines anderen Objekts (z.B. des Baumes) schauen und dann auf eine bestimmte Stelle (z.B. die Katze)

zeigen. Die Richtungseinschätzung wird auf einem Blatt Papier angegeben. Auf diesem ist ein Kreis dargestellt, dessen Mittelpunkt die eigene Position zeigt und (in Analogie zu einer Uhr) in Höhe von zwölf Uhr die Blickrichtung angegeben ist. Die Teilnehmer sollen in diesem Kreis einen Pfeil in Richtung des Zielobjekts zeichnen. Bei diesem Test gibt es insgesamt zwölf Aufgaben, alle unter Verwendung der gleichen Karte. Die Bearbeitungszeit ist auf fünf Minuten begrenzt. Für die Auswertung wird der Durchschnitt der absoluten Differenz (in Grad) zwischen der geschätzten und der tatsächlichen Richtung der gelösten Items berechnet. Für diesen Test werden Reliabilitäten zwischen .79 und .85 (Cronbach's  $\alpha$ ) berichtet (Hegarty & Waller, 2004).

### *Orientierungsfähigkeit in realer Umwelt*

Zur Erfassung der selbstberichteten räumlichen Orientierungsfähigkeit in realer Umwelt wurde der von Münzer und Hölscher entwickelte *Fragebogen Räumliche Strategien (FRS; Münzer & Hölscher, 2011)* eingesetzt (s. Anhang A2, S. 223). Mit seiner Hilfe lassen sich Aussagen über die Verhaltensweisen und Strategien während der Orientierung in der realen Umgebung treffen. Die Items werden drei Dimensionen (Skalen) zugeordnet. Die global-egozentrische Skala (FRS1) umfasst die Einschätzung der globalen Orientierungsfähigkeit in Bezug auf die Nutzung von richtungs- und routenbasierten Strategien (z.B. „Mein Orientierungssinn ist sehr gut“, „Ich bin sehr gut darin, von meinem gegenwärtigen Standort aus Richtungen zu anderen Orten anzugeben“, „In einem großen Gebäude weiß ich spontan, in welcher Richtung der Eingang liegt“). Die Reliabilität der FRS1-Skala erweist sich als gut (Cronbach's  $\alpha = .92$ ). Durch die Verwendung einer Überblicksstrategie-Skala (FRS2) werden Elemente erfasst, die die Nutzung einer überblicksbasierten Strategie wiedergeben (z.B. „Ich stelle mir die Umgebung stets wie auf einer "mentalen Karte" (Überblicksansicht) vor“, „Ich verfüge über eine sehr gute Vorstellung von meiner Stadt, wie auf einer Karte“). Die interne Konsistenz dieser Skala hat sich als gut herausgestellt (Cronbach's  $\alpha = .89$ ). Die Himmelsrichtungen-Skala (FRS3) besteht aus Items, die die Kenntnis der Himmelsrichtungen widerspiegeln (Cronbach's  $\alpha = .90$ ). Die Aufgaben werden mithilfe einer 7-Stufen-Ratingskala („lehne stark ab“ = 1; „stimme stark zu“ = 7)

beantwortet. Höhere Werte im Antwortformat stehen für eine höhere Selbsteinschätzung.

### *Vorerfahrungen mit Computerinterfaces und Computerspielen*

Der Fragebogen zur Erfassung der Vorerfahrungen der Probanden mit Computerinterfaces sowie Computerspielen wurde von der Autorin der vorliegenden Dissertation entwickelt. Der Fragebogen beinhaltet elf Fragen (s. Anhang A3-I, S. 224 & 225), die über eigene Angaben der Versuchspersonen deren Spielverhalten erfassen. Frage 1 und Frage 2 ermitteln die durchschnittliche Zeit, die die Probanden pro Woche zum einen im Allgemeinen und zum anderen spezifisch mit Spielen am Computer verbringen. Frage 3 erfasst das Lieblingsspiel beziehungsweise die Lieblingsspiele in der jeweiligen vorgegebenen Kategorie mithilfe einer fünfstufigen Skala, indem angekreuzt wird, wie oft jedes der genannten Spiele gespielt wird (1 = nie, 5 = sehr oft). Zusätzliche Fragen, die ebenfalls über eine fünfstufige Skala bewertet werden, beziehen sich auf die Präferenzen der Lerner bezüglich weiterer Aspekte wie zum Beispiel die Art der gestellten Aufgaben in Spielen, der Steuerungsgeräte oder der Darstellungsformen der Spiele.

### **Erfassung des strategischen Explorationsverhaltens**

Im vorliegenden Paradigma kann angenommen werden, dass unter anderem die folgenden Explorationsstrategien zur Anwendung kommen: Sequenzierung, zweckmäßiger Einsatz der Steuerungsmöglichkeiten, zielgerichtete Nutzung der Perspektive, Vergleich von Vorher-Nachher-Ansichten und Wiederholungen. Die spezifischen Explorationsaktivitäten der Teilnehmer während der Lernphase wurden anhand von zwei Methoden erfasst. Über die gesamte Lernzeit wurden mittels Screenrecording Videos aufgezeichnet (für einzelne Videos s. Vorstudie\_ Aufnahmen auf der CD als Anlage zu dieser Arbeit). Synchron dazu wurden die Verbaldaten protokolliert. Die Transkripte der Verbalprotokolle sind auf der CD „Vorstudie\_ Transkripte“ zu finden. Hierzu wurden die Versuchspersonen gebeten (für Instruktion, s. Anhang B2-I, S. 229), während der Explorationsphase „laut zu denken“ (Methode des Lauten Denkens nach Ericsson & Simon, 1993). Mithilfe

der eingesetzten Methoden wurde das Ziel verfolgt, Schlüsse über die Strategien der Lernenden und der dahinter stehenden Intentionen während der Exploration und Interaktion mit dem virtuellen Gebäude zu ziehen und einen Einblick in die Strategieverwendung der Teilnehmer zu gewinnen. Die Verbaldaten der Lernenden wurden protokolliert, d.h. sie wurden aufgezeichnet, transkribiert, mit einem Kategoriensystem kodiert und schließlich ausgewertet. Anschließend wurden die aufbereiteten Daten dahingehend analysiert, welches Wissen sie über das strategische Vorgehen der Lernenden vermitteln.

### **Erfassung der verschiedenen Komponenten des räumlichen Lernens**

Zur Untersuchung des räumlichen Lernens wurden drei Tests eingesetzt, die sich auf unterschiedliche kognitive Prozesse während des Lernens beziehen. Die Tests erfassen Routen- und Überblickswissen als mentale Abbildung des virtuellen Modells. Die Aufgabe der *Wegbeschreibung* erfasst die routenbasierte mentale Repräsentation der Umgebung. Die Aufgaben der *Richtungsschätzung* und der *Kartenskizze* zielen hingegen auf die Überprüfung des überblickbasierten Wissens ab.

#### *Routenwissen*

Ziel der Aufgabe der *Wegbeschreibung* ist es, das Routenwissen der Lernenden zu erfassen. Die Fähigkeit der Lernenden zur Wegbeschreibung wurde über eine Aufgabe abgefragt, bei welcher die Versuchspersonen einen Weg von einem bestimmten Standort aus (im mittleren Teil des Erdgeschosses, mit dem Rücken vor dem Aufzug und mit Blick auf das Treppenhaus) zur Säule 3 im zweiten Stockwerk des Gebäudes beschreiben sollen. Gelenkt werden sie dabei durch bestimmte sprachlich vorgegebene Formulierungen und im Programm eingebaute Barrieren. Sie sollen sich zum Beispiel vorstellen, dass die Aufzüge nicht funktionieren und deshalb die Treppe benutzt werden müssen. Um zu verhindern, dass die Probanden trotz dieser Anweisung den Aufzug benutzen, wurde diese Möglichkeit nicht in das Programm integriert. Der maximal erreichbare Wert in dieser Aufgabe ist die Punktzahl 6.

## Überblickswissen

Der Test der *Richtungsschätzung* zur Überprüfung der räumlichen Konfiguration des Gebäudemodells umfasst zwanzig Einzelaufgaben (Cronbach's  $\alpha = .51$ ). In diesen Aufgaben sollen sich die Teilnehmer – ausgehend von bestimmten Positionen im Gebäude – orientieren und die jeweilige Richtung zum Auffinden bestimmter Objekte einschätzen. Dabei treffen sie Aussagen über räumliche Relationen zum Zielobjekt. Die Richtungsschätzung wird auf Papier angegeben. Jede Aufgabe wird mit einem Screenshot des Sichtfeldes der Ausgangsposition unterstützt. Für die individuelle Leistungsbewertung wird der Mittelwert der Winkelfehler der gelösten Aufgaben berechnet.

Bei dem Test der *Kartenskizze* sollen die Lernenden eine Karte vom ersten Stockwerk des Gebäudes zeichnen. Dafür wird den Lernenden ein Umrissplan zur Verfügung gestellt. Sie sollen darauf die Gänge, die Räume, die Lage der Säule(n), die Nummer(n) der Säule(n) sowie etwaige Treppenhäuser einzeichnen. Bewertet wird sowohl die korrekte Anzahl der gezeichneten Objekte, als auch deren richtige Platzierung auf dem Plan. Zusätzlich zur Auswertung der gezeichneten strukturellen Elemente der Etage und ihrer Eigenschaften kann außerdem ein weiterer Punkt vergeben werden, wenn die Karte einen guten globalen Eindruck vermittelt. Insgesamt können bei dieser Aufgabe 24 Punkte erreicht werden. Das Testpaket, welches alle Aufgaben des Nachtests beinhaltet, ist im Anhang D1-I auf den Seiten 235 bis 244 zu finden.

### 3.2.3 Ablauf

Die Testung der Probanden verlief in Form eines Einzelversuchs in einer Sitzung. Diese fand im Büroraum der Autorin der vorliegenden Arbeit am Lehrstuhl für empirische Bildungsforschung auf dem Campus der Universität des Saarlandes statt. Hierfür wurde ein separater Arbeitstisch eingerichtet. Die virtuelle Lernumgebung, die computergestützten Tests und die Videoaufzeichnungen wurden mit einem 17 Zoll-Laptop mit hochleistender Grafikkarte (ATI Mobility Radeon HD 3400) durchgeführt. Dieses anspruchsvolle technische Equipment war notwendig, um die Software Yamamoto und die damit verbundenen qualitativ hochwertigen Visualisierungen des virtuellen Gebäudemodells nutzen zu können.

Alle Daten, inklusive der Bearbeitungszeiten, wurden vom Computer automatisch protokolliert. Nach der Begrüßung und einer kurzen Einführung in den Versuchsablauf gaben die Versuchspersonen in einem Fragebogen ihre demografischen Daten (Alter, Geschlecht und Studienfächer) an. Daraufhin wurden die oben beschriebenen Tests zur Messung der visuell-räumlichen Fähigkeiten durchgeführt. Die Tests Mental Pathway und Hidden Pattern wurden digital unterstützt und liefen daher auf dem Computer. Der Test Perspective Taking wurde jedoch auf Papier bearbeitet. Der Fragebogen Räumliche Strategien zur subjektiven Einschätzung eigener räumlicher Orientierungsfähigkeiten und der Fragebogen zu den Vorerfahrungen mit Computerspielen und Computerinterfaces wurden gemäß den vorgegebenen Standards durchgeführt.

Anschließend machten sich die Versuchspersonen mit den Interfaces vertraut, lernten die Navigationsgrundlagen und übten den Gebrauch der Steuerungsmöglichkeiten. Daraufhin wurde ihnen ein Instruktionstext (s. Anhang B1-I, S. 227) präsentiert. Währenddessen hatten sie die Gelegenheit, alle interaktiven Funktionsmöglichkeiten in einem Übungsmodell auszutesten. Hierfür gab es keine Zeitbegrenzung. Jeder Teilnehmer hatte so lange Zeit zum Üben, wie er benötigte. Im Anschluss wurde ein Aufgabenblatt überreicht, wodurch die Teilnehmer selbst überprüfen konnten, ob sie mit dem Programm umgehen konnten oder noch zusätzliche Übungszeit benötigten.

Nach der Anweisungs- und Übungsphase erfolgte die Lernphase. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, das virtuelle Gebäude zu explorieren (für Instruktion, s. Anhang B2-I, S. 229). Zur aktiven Exploration der Lernumgebung standen ihnen zehn Minuten zur Verfügung. Zur Steuerung konnten sie die Interaktionskonsole verwenden. Die Teilnehmer wurden instruiert, alle fünf Säulen im Gebäude zu finden und sich zu merken, wo sich diese im Gebäude befanden. Zudem wurden sie aufgefordert, sich die Struktur des Gebäudes so gut wie möglich einzuprägen und eine mentale Repräsentation von diesem zu entwickeln. Mit Hilfe des Screenrecording-Programms „CamStudio“ wurde das individuelle Explorationsverhalten der Versuchspersonen aufgezeichnet und synchron dazu die Verbaldaten aus dem Lauten Denken protokolliert. Im Anschluss an die Lernphase wurde der räumliche Lernerfolg mit den oben beschriebenen Aufgaben getestet. Abschließend wurden die Probanden zu ihrem eigenen strategischen

Vorgehen bei der Exploration in der Lernphase befragt. Die gesamte Durchführung dauerte ca. 60 Minuten.

### **3.2.4 Auswertung**

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei dieser Studie um eine Pilotstudie, in der die anschließend eingesetzten Messinstrumente und Materialien vorgetestet werden sollten. Zur Überprüfung der postulierten Zusammenhangsbeziehungsweise Unterschiedshypothesen wurden lediglich die Auswertungen der korrelativen und deskriptiven Daten herangezogen. Als Signifikanzniveau wurde stets ein adjustiertes Alpha von .05 herangezogen. Hierbei war aufgrund der geringen Anzahl an Probanden ( $n = 12$ ) die Durchführung inferenzstatistischer Methoden nicht besonders sinnvoll. Alle statistischen Auswertungen wurden mit der deutschsprachigen Version des Statistik-Programms SPSS 21 für Windows durchgeführt.

### **3.3 Ergebnisse**

Im Folgenden werden zunächst die Resultate hinsichtlich der Identifikation von möglichen Strategieelementen präsentiert. Der weitere Fokus liegt auf der Darstellung der korrelativen Ergebnisse zu allen zentralen Variablen und anschließend auf der Präsentation der deskriptiven Daten. Hierbei werden Geschlechtereffekte hinsichtlich der Personenfähigkeiten und der Komponenten des räumlichen Wissenserwerbs dargestellt. Bei der Interpretation der korrelativen und deskriptiven Ergebnisse ist zu beachten, dass ein kleinerer Leistungswert bei der visuell-räumlichen Perspektivenübernahme und bei der Aufgabe zur Richtungseinschätzung mit einer besseren Fähigkeit in der jeweiligen Variable korrespondiert. Dadurch entstehen negative Korrelationskoeffizienten bei den jeweiligen Korrelationsberechnungen.

Insgesamt ist bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Studie stets zu beachten, dass die eingeschränkte Anzahl der Probanden weniger aussagekräftige Schlussfolgerungen erlaubt. Darauf sind teilweise vermutlich auch einige nicht-signifikante Effekte zurückzuführen. Die Resultate sollen lediglich vorläufige Erkenntnisse liefern, die zur Überarbeitung von Materialien und

Messinstrumenten dienen. Für eine möglichst übersichtliche Ergebnisdarstellung werden in den Tabellen die Abkürzungen für die jeweiligen Variablen angegeben. Ihre vollständige Benennung ist in den Anmerkungen zu finden. Es ist außerdem zu verdeutlichen, dass im Folgenden an manchen Stellen für die unabhängigen Variablen (visuell-räumliche Fähigkeiten, Selbsteinschätzung der Orientierungsfähigkeiten und Vorerfahrungen mit Computerinterfaces) die Bezeichnung „Prädiktor“ und für die abhängige Variable des räumlichen Lernens (Richtungsschätzung, Wegbeschreibung und Kartenskizze) die Bezeichnung „Kriterium“ verwendet wird. Der Grund dafür ist die theoriebasierte Annahme, dass die genannten Personenvariablen Prädiktoren des Kriteriums des räumlichen Lernens sind, obwohl an dieser Stelle noch keine Zusammenhangsanalysen im Sinne von Regressionsberechnungen durchgeführt wurden.

#### *Identifizierung von Elementen des strategischen Explorationsverhaltens*

Bei der Analyse der Verbalprotokolle ließen sich keine differenzierten Strategieelemente identifizieren. Das Laute Denken erbrachte keine verwertbaren Ergebnisse, da die Versuchspersonen vorwiegend ihre Aktionen verbalisierten und keine Begründungen oder Hypothesen für ihre gewählte Vorgehensweise lieferten. Vor diesem Hintergrund wurde die Auswertung der Videoaufzeichnungen vorgenommen, wobei angenommen wurde, ein differenziertes Bild von der strategischen Verhaltensweise der Lernenden erhalten zu können. Um dies sicherzustellen, wurden zwei unterschiedliche Methoden umgesetzt.

Zunächst wurden die Strategiedaten hinsichtlich der Nutzung von interaktiven Optionen erfasst. Dabei wurde ermittelt, ob und wie oft eine räumliche Ansicht benutzt wurde und welche der im Rahmen dieser Perspektive erlaubten Optionen zum Einsatz kamen (quantitative Daten). Aufgrund der inhaltlichen und ökonomischen Validität wurde die Analyse auf die Anwendung von lediglich zwei räumlichen Perspektiven, die sog. Außenperspektive und die Avatarperspektive, beschränkt. Die Außenperspektive beinhaltet die zusammengefassten Daten über die Nutzung von zwei allozentrischen Ansichten, der Perspektivenansicht und der orthogonalen Ansicht. Als quantitative Indizes der Strategien wurden in die Analysen die prozentualen Nutzungsanteile von der Avatarperspektive, der Außenperspektive, des Zoomens und des Rotierens herangezogen. Wie bereits

deutlich geworden, erlauben diese Daten jedoch keine qualitative Aussage darüber, zu welchem vorher festgelegten Zweck diese Ansichten und Optionen von den Probanden eingesetzt wurden.

Demzufolge wurde im nächsten Schritt versucht, herauszufinden, ob über die quantitativen Daten hinaus Klassifikationen der strategischen Verhaltensweisen seitens der Lernenden zu erstellen sind. Die verschiedenen Klassen könnten die Unterschiede im zweckmäßigen Verhalten der Lernenden bei der Exploration des Modells und während des Umgangs mit den interaktiven Optionen abbilden. Ein weiteres Ziel richtete sich darauf, basierend auf dieser Klassifikation ein Kategoriensystem zu entwickeln und dadurch (bei dessen Einsatz in kommenden Studien) eine qualitative Bewertung der abgebildeten Strategien zu ermöglichen. Bei der Analyse der Videos war jedoch deutlich zu beobachten, dass sich die Lerner während der Exploration des Gebäudes hauptsächlich auf das Finden der Säulen konzentrierten. Es waren nur vereinzelt Versuchspersonen identifizierbar, die sich darüber hinaus die Struktur des Gebäudes einprägten und dabei möglicherweise andere Strategien anwendeten. Auf dieser Grundlage lässt sich die „Säulenstrategie“ als gut erkennbare Strategie identifizieren. Sie stellt eine Vorgehensweise dar, bei der mit den gegebenen Informationen die im Gebäudemodell verteilten Säulen gesucht werden. Dabei scheint es keinen bedeutsamen Unterschied hinsichtlich des prozentualen Nutzungsanteils der jeweiligen Ansichten (allozentrische Ansicht:  $M = 41.00$ ,  $SD = 25.57$ ; egozentrische Ansicht:  $M = 59.00$ ,  $SD = 25.57$ ) zu geben. Die weiteren beobachteten Strategien wurden für weitere geplante Analysen und für den Entwurf eines Bewertungsschemas in die nächste Studie der vorliegenden Arbeit aufgenommen.

### *Analyse der korrelativen Zusammenhänge*

Um der Frage nachzugehen, wie stark die Leistungen der Lernenden in den räumlichen Anforderungen des virtuellen Gebäudemodells mit ihren visuell-räumlichen Fähigkeiten, ihren selbstberichteten Orientierungsfähigkeiten und ihren Vorerfahrungen mit Computerinterfaces einhergehen, wurden Korrelationen berechnet, die in Tabelle 1 dargestellt werden.

Tabelle 1

Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten zentralen Variablen und den unterschiedlichen Leistungskriterien des räumlichen Lernens (N = 12)

	Variablen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
visuell-räumliche Fähigkeiten	1. HP	-									
	2. MP	-.06	-								
	3. PT	-.45	-.35	-							
räumliche Orientierungskompetenz	4. FRS1	.31	.51	-.41	-						
	5. FRS2	.60*	.62*	-.72**	.58*	-					
	6. FRS3	.58	.49	-.37	.67*	.78*	-				
Vorerfahrungen	7. PC-Nutzung	.45	.54	-.62*	.31	.70*	.44	-			
	8. PC-Spiel	.66*	-.08	-.46	.43	.52	.60*	.51	-		
Räumliches Lernen	9. RE	-.12	-.64*	.58*	-.32	-.60*	-.56	-.37	-.21	-	
	10. WB	.12	.27	-.37	.31	.21	.13	-.01	.02	-.62*	-
	11. KS	.49	.46	-.56	.67*	.69*	.62*	.41	.55	-.66*	.63*

Anmerkung. \* $p < .06$ ; \*\* $p < .05$ ; \*\*\* $p < .01$ .

HP = Hidden pattern/Mustererkennung (Anzahl der korrekten minus falschen Antworten), MP = Mental pathway/ visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis (erreichtes Level, höchstens 13), PT = Perspective taking/ Perspektivenübernahme (Winkelfehler in Grad);

FRS 1 = Fähigkeit der globalen Einschätzung (Skalenwert 1-7), FRS 2 = Fähigkeit der Überblicksstrategie (Skalenwert 1-7),

FRS 3 = Fähigkeit der Orientierung an Himmelsrichtung (Skalenwert 1-7);

PC-Nutzung = Computernutzung in der Woche (in Stunden), PC-Spiele = Computerspielen in der Woche (in Stunden);

RE = Richtungsschätzung (durchschnittliche Winkelfehler in Grad), WB = Wegbeschreibung (relative Bewertungspunkte in Prozent), KS = Kartenskizze (nach einem Punkteschema).

Die Korrelationskoeffizienten zeigen, dass besser ausgeprägte visuell-räumliche Fähigkeiten oder eine höhere Selbsteinschätzung über die räumliche Orientierungsfähigkeit mit besseren Lernerfolgen einhergehen. Das räumliche Wissen der Lernenden hinsichtlich der Richtungsschätzung korreliert, wie erwartet, signifikant mit der visuell-räumlichen Fähigkeit der Perspektivenübernahme ( $r = .58, p < .05$ ). Dies bedeutet, dass Personen mit einer ausgeprägten Fähigkeit zur Perspektivenübernahme auch bei der Richtungsschätzung besser abschneiden als Personen mit schwächeren diesbezüglichen Fähigkeiten. Das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis zeigt zudem einen relativ starken signifikanten Zusammenhang ( $r = -.64, p < .05$ ) mit der räumlichen Fähigkeit zur Richtungsschätzung. Es scheint daher ein wichtiger Prädiktor für das überblickbasierte räumliche Lernen zu sein. Ein signifikanter Korrelationskoeffizient ( $r = -.60, p < .05$ ) weist außerdem auf einen starken Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zur Richtungsschätzung und der selbstberichteten, überblickbasierten Orientierungsfähigkeit hin. Die Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen zeigen jedoch keine bedeutsame Korrelation mit der Leistung in der Richtungsschätzung ( $r = -.37, n.s.$ ;  $r = -.21, n.s.$ ).

Aufgrund der niedrig ausfallenden Korrelationskoeffizienten wird kein signifikanter Effekt der Prädiktorvariablen auf die Lernleistung in der Wegbeschreibung erwartet. Die Ergebnisse zeigen keine Zusammenhänge hinsichtlich der visuell-räumlichen Fähigkeiten der Mustererkennung ( $r = .12, n.s.$ ), des Kurzzeitgedächtnisses ( $r = .27, n.s.$ ) und der Fähigkeit zur Perspektivenübernahme ( $r = -.37, n.s.$ ) mit der Fähigkeit der Wegbeschreibung. Zudem werden keinerlei Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Skalen der selbstberichteten Orientierungskompetenz und der Fähigkeit zur Wegbeschreibung gefunden (für Korrelationskoeffizienten s. Tabelle 1). Die Leistung der Personen bei der Wegbeschreibung geht auch nicht mit ihren Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen einher (s. Tabelle 1).

Die Korrelationen zwischen dem räumlichen Wissen aus der Kartenskizze und den Faktoren der visuell-räumlichen Fähigkeiten liegen im mittleren Bereich, sie sind jedoch nicht signifikant (HP:  $r = .49$ , n.s.; MP:  $r = .46$ , n.s.; PT:  $r = -.56$ , n.s.). Alle drei Subskalen der Orientierungseinschätzung zeigen hohe, signifikante Korrelationen mit der Leistung in der Kartenskizze. Ihre Korrelationskoeffizienten liegen im mittleren Bereich, fallen jedoch nicht signifikant aus, was vermutlich auf die eingeschränkte Probandenanzahl in dieser Studie zurückzuführen ist.

### *Deskriptive Daten hinsichtlich der Geschlechterunterschiede*

Die deskriptiven Daten der Prädiktor- und Kriteriumsvariablen sind in Tabelle 2 separat für die teilnehmenden Frauen und Männer dargestellt. Mittelwertvergleiche zwischen Frauen und Männern zeigen, wie erwartet, Geschlechterunterschiede in den visuell-räumlichen Fähigkeiten. Männer erreichen im Schnitt konsistent bessere Leistungen als Frauen. Sie sind besser bei der visuell-räumlichen Fähigkeit zur Mustererkennung, im visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnis und sie machen weniger Fehler bei der räumlichen Perspektivenübernahme. Allerdings zeigt sich ein signifikanter Geschlechtereffekt nur bei der visuell-räumlichen Gedächtnisspanne ( $F(1,10) = 5.67$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .36$ ). Die Analysen der Unterschiede zwischen den Geschlechtern zeigen hinsichtlich der eingeschätzten Orientierungskompetenz ein konsistentes Bild zu früheren Studien in diesem Forschungsgebiet. Erwartungsgemäß fallen die Werte in allen Subskalen der selbstberichteten Orientierungskompetenz bei Männern höher aus als bei Frauen. Signifikante Ergebnisse sind jedoch nur bei der Einschätzung der global-egozentrischen Fähigkeit ( $F(1,10) = 9.33$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .48$ ) und bei der Einschätzung der Fähigkeit zur Angabe von Himmelsrichtungen ( $F(1,10) = 10.77$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .52$ ) zu finden.

Tabelle 2  
 Deskriptive Statistik für Prädiktor- und Kriteriumsvariablen separat bei Frauen und Männern (N = 12)

Variable	Männer (n = 6)			Frauen (n = 6)		
	M	SD	Min-Max	M	SD	Min-Max
visuell-räumliche Fähigkeiten						
HP	105.00	25.60	76-146	96.33	26.90	73-138
MP	9.20	1.94	8-13	7.00	1.10	5-8
PT	33.75	34.18	9-86	49.73	34.24	15-99
räumliche Orientierungskompetenz						
FRS1	4.95	.87	4-6	3.17	1.13	2-5
FRS2	3.62	1.49	2-5	2.45	1.02	1-4
FRS3	2.91	1.24	2-5	1.17	.41	1-2
Vorerfahrungen						
PC-Nutzung	21.25	16.12	6-42	11.33	7.00	6-25
PC-Spiel	3.56	5.93	0-15	1.00	1.99	0-5
RE	81.67	23.59	55-110	97.50	10.37	80-110
räumliches Lernen						
WB	2.17	2.22	0-6	2.17	1.84	0-4
KS	13.00	4.09	9-18	8.50	5.08	1-14.50

Hinsichtlich der Vorerfahrungen mit Computern haben Männer sowohl bei der Nutzung von Computern im Allgemeinen als auch beim Gebrauch von Computerspielen im Speziellen mehr Erfahrungen als Frauen, jedoch sind die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche nicht signifikant. Hinsichtlich der Nutzung der räumlichen Ansichten sind Männer bei der Nutzung der allozentrischen Perspektive signifikant besser als Frauen. Beim räumlichen Wissenserwerb lassen sich keine signifikanten Geschlechterunterschiede feststellen. Die Männer machen zwar weniger Fehler bei der Richtungsschätzung und sind besser beim Zeichnen der Umgebungskarte, jedoch sind diese Geschlechterunterschiede nicht signifikant (RE:  $F(1,10) = 2.27$ , n.s.; WB:  $F(1,10) < .01$ , n.s.; KS:  $F(1,10) = 2.85$ , n.s.). Diese Ergebnisse werden aufgrund der geringen Stichprobe mit Einschränkungen zur Kenntnis genommen, ihre Aussagekräftigkeit soll in den nächsten Studien der Arbeit anhand einer größeren Anzahl an Teilnehmern geprüft werden.

### **3.4 Diskussion**

#### *Offenlegung des Strategieverhaltens*

Das primäre Ziel der Vorstudie war es, die Frage zu beantworten, welche Explorationsstrategien die Lernenden bei der Interaktion mit dem virtuellen Modell einsetzen. Um diese Strategien zu identifizieren, wurden die Aktivitäten der Lernenden aufgenommen. Gleichzeitig wurden die Lerner aufgefordert, laut anzugeben, was und warum sie etwas taten. Die Methode des Lauten Denkens (Ericsson & Simon, 1993) wurde eingesetzt, da diese eine vielversprechende Methode ist, um das strategische Verhalten der Lernenden „Online“ inmitten des Geschehens zu erfassen, ohne dass die Gefahr besteht, dass die subjektiven Gründe des Handelns in Vergessenheit geraten. Die Methode fand in dieser Studie allerdings keine zufriedenstellende Anwendung. Die Analyse der Verbaldaten führte zu keinen bedeutsamen Ergebnissen, es konnte keine differenzierte strategische Vorgehensweise der Lernenden festgestellt werden. Die Probanden verbalisierten lediglich das, was sie in dem Moment gerade taten. Sie machten weder eine Aussage darüber, ob sie zielgerichtet vorgehen und wie sie ihr Ziel erreichen wollten, noch begründeten sie, zu welchem Zweck sie eine

bestimmte Aktivität ausführten. Hierfür lassen sich als Erklärung drei verschiedenen Gründe vermuten. Der erste Grund könnte sein, dass die Methode des Lauten Denkens nicht korrekt angewendet wurde. Der zweite Grund könnte sein, dass der Einsatz der Methode eventuell zu einer kognitiven Überlastung führte, beispielsweise da diese Methode im Vorfeld von den Lernenden nicht ausreichend eingeübt worden war. Der dritte Grund könnte darin bestehen, dass die Aufgabenstellung während des Lernens nicht korrekt formuliert wurde.

Das erstgenannte Problem basiert vermutlich auf der Instruktion zum Lauten Denken, wie es auch in der Grundlagenliteratur von Ericson et al. (1993) beschrieben wird. Bei der Instruktion der Methode soll auf den Einsatz von korrekten und konkreten Formulierungen geachtet werden. Die in dieser Studie eingesetzte Instruktion gibt dem Lerner jedoch keine genaue Anweisungen und wurde vielmehr allgemein formuliert (z.B. „jeden deiner Gedanken, Gründe und Entscheidungen laut auszusprechen“, s. Anhang B2-I, S. 229). Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Instruktion wäre daher, im Vorfeld die möglichen Aktivitäten der Lernenden zu antizipieren und diese schriftlich festzuhalten. Treten diese Aktivitäten während des Lernens auf und werden vom Lerner nicht selbst begründet, dann kann der Versuchsleiter explizit nach den Gründen sowie nach dem Zweck der Handlung fragen.

Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit bestünde darin, die Lernenden während des Lernprozesses wiederholt auf die Instruktion aufmerksam zu machen. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass diese Einflussnahme kritisch betrachtet werden muss, denn durch die wiederholte Instruktion wird indirekt in den Lernprozess des Lerners eingegriffen. Wie von Wirth (2005) kritisch angedeutet, wird im Rahmen der vorliegenden Studie zudem vermutet, dass die Methode des Lauten Denkens zusätzlich zum eigentlichen Denkprozess während des Lernens weitere kognitive und metakognitive Anforderungen an den Lerner stellt. Beispielsweise werden durch den Umgang mit den Interaktionsmöglichkeiten der entsprechenden Benutzeroberfläche zusätzliche kognitive Ressourcen beansprucht. In der Summe könnte dies zur kognitiven Überlastung des Lernenden geführt haben. Um die kognitiven Ressourcen dem eigentlichen Lernprozess zur Verfügung zu stellen und eine mögliche Überlastung bei der Durchführung des Lauten Denkens zu vermeiden, wäre es überlegenswert, die Methode des Lauten Denkens vor dem Lernprozess ausreichend einzuüben.

Das Üben des Umgangs mit der Benutzeroberfläche vor dem Lernprozess ist bereits im Ablaufdesign integriert.

Die wenig konkret und korrekt formulierte Instruktion während der Lernphase kann als weitere mögliche Erklärung für das unzureichende Ergebnis hinsichtlich der Strategieidentifikation genannt werden. Es wurde festgestellt, dass die im Instruktionstext gestellten Aufgaben von den Lernenden nicht gleichrangig wahrgenommen und demzufolge nicht gleich behandelt wurden. Die Ursache hierfür liegt in der einseitigen Formulierung der Aufgabe, welche die ungleiche Behandlung zur Folge hatte. In dieser wurde die Aufmerksamkeit der Lernenden zunächst nur auf das Lernen der Säulen gelenkt („Fünf Objekte (fünf nummerierte Säulen) sind im Gebäude platziert. Du sollst alle fünf Säulen finden und dir merken, wo im Gebäude die Säulen stehen.“) (s. Anhang B2-I, S. 229). Im Anschluss folgte die zweite Aufgabe, in welcher die Lernenden aufgefordert wurden, „dabei so gut wie möglich zu versuchen, sich die Struktur des Gebäudes einzuprägen und eine mentale Vorstellung vom Gebäude zu entwickeln“. Durch diese Formulierung entstand fälschlicherweise der Eindruck, dass die Lernenden sich auf das Suchen der Säulen konzentrieren und sich nur nebenbei, wenn möglich, auch die Struktur des Gebäudes einprägen sollten, was eigentlich als eigenständige Aufgabe gedacht war. Aus der Videoanalyse geht deutlich hervor, dass alle Probanden diese zweite Aufgabe nicht als eigenständige Aufgabe angesehen hatten, da nur die Säulenstrategie als Strategie erkannt werden konnte. Ein retrospektives Nachfragen bezüglich der eigenen Vorgehensweise stellt sich als eine Alternative dar. Dies könnte etwa geschehen, wenn die Lernenden ihr eigenes Video noch einmal anschauen. Dies erfordert jedoch eine Rekonstruktion des Vorgehens, die bei den Lernenden eventuell eine Metaperspektive notwendig macht. Zudem bestünde dabei die Gefahr, dass die Rekonstruktionen von zeitlichen Verzerrungen betroffen sind.

Bei der weiteren Videoanalyse zur Identifizierung der Strategien konnten Daten erfasst werden, die eher den quantitativen Aspekt des Explorationsverhaltens der Lernenden (z.B. Häufigkeit der Nutzung der Ansichten von innen und außen; Häufigkeit der Nutzung der Zoom- und Rotationsfunktion) abbilden. Welche strategischen Vorentscheidungen die Lernenden bei der Exploration des Modells anhand der gegebenen interaktiven Funktionen getroffen hatten, konnte dadurch allerdings nicht analysiert werden. Die erfassten

Häufigkeitsdaten hinsichtlich der Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten bilden auch keine endgültigen Indizes der Explorationsstrategien von Lernenden. Diese Daten erzeugen lediglich erste vorläufige Erkenntnisse über die Erfassung von Strategien und bilden damit die Basis der Überlegungen für den Methodeneinsatz in der nächsten Studie dieser Dissertation (Studie I). Für eine differenzierte und valide Klassifizierung sind weitere Verfahren notwendig. In der folgenden Studie I wird versucht, anhand von automatischer Logfile-Funktion und systematischer Videoanalyse unter Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Gesichtspunkten die Explorationsstrategien der Lernenden zu klassifizieren. Basierend auf den erfassten Daten sollen weitere Untersuchungen erfolgen, in denen geprüft wird, inwieweit sich die effektive Nutzung dieser Strategien auf das räumliche Lernen des virtuellen Gebäudemodells auswirkt. Außerdem wird untersucht, inwiefern der effektive Einsatz der Strategien mit dem Ausmaß der Personenfähigkeiten zusammenhängt.

#### *Zusammenhang zwischen Personenfähigkeiten und räumlichem Lernen*

Des Weiteren wurden auf Grundlage der Annahme, dass die Personenfähigkeiten starke Prädiktoren für den Erfolg beim Erlernen der räumlichen Strukturen des Gebäudes sind, zunächst Korrelationen geprüft. Hierdurch sollte untersucht werden, wie stark diese Variablen zusammenhängen. Zur Überprüfung der unterschiedlichen Arten mentaler räumlicher Repräsentationen wurden verschiedene Wissenstests eingesetzt, die das Lernen von routen- und überblickbasierten Informationen erfassen. Ziel war es, zu überprüfen, welche Auswirkungen inter-individuelle Unterschiede in visuell-räumlichen Fähigkeiten auf diese räumlichen Leistungsmaße haben. Ihre bedeutsame diesbezügliche Rolle wird durch Befunde von Studien zum konfiguralen Lernen in konsistenter Weise belegt. Darüber hinaus wurde angenommen, dass die Selbsteinschätzung der eigenen Orientierungskompetenz sowie die Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen den Erfolg im räumlichen Lernen zum Teil erklären können. Diese Erwartungen wurden allerdings nur zum Teil bestätigt. Nicht alle Maße der visuell-räumlichen Fähigkeiten zeigten in dieser Untersuchung einen Zusammenhang mit den verschiedenen Kriterien des räumlichen Lernens. Der Erfolg bei der

---

Richtungsschätzung als Form des überblickbasierten räumlichen Wissens sowie das Erlernen der Kartenskizze hängen mit der visuell-räumlichen Fähigkeit der Perspektivenübernahme stark zusammen, jedoch nicht mit der Fähigkeit zur visuell-räumlichen Enkodierung oder dem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis. Die Leistung in der routenbasierten Wegbeschreibung zeigt überhaupt keinen Zusammenhang mit visuell-räumlichen Fähigkeiten, die Korrelationen fallen sehr gering aus und sind nicht signifikant. Die vorliegenden Ergebnisse sind teilweise konsistent mit Studien, die von einem bedeutsamen Einfluss von visuell-räumlichen Fähigkeiten auf den Wissenserwerb in räumlichen Konfigurationen ausgehen (Hegarty et al., 2006; Münzer & Hölscher, 2011). Beispielsweise konnten Münzer und Hölscher (2011) deutliche Zusammenhänge zwischen dem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis und dem Erfolg bei der Richtungsschätzung aufzeigen. Nach Hegarty et al. (2006) ist das räumliche Arbeitsgedächtnis für den Erwerb von räumlichen Konfiguration möglicherweise bedeutender als für den Erwerb von Routenwissen.

Die Fähigkeit zur räumlichen Orientierung ist ein weiterer bedeutender Faktor beim räumlichen Lernen. Die hohe Korrelation bei der überblickbasierten (nicht global-egozentrischen) Skala spricht für die Korrektheit dieser Annahme. Personen, die zur Orientierung in der realen Welt eine überblickbasierte Strategie anwenden, können auch die räumliche Aufgabe erfolgreichen bewältigen, die ähnliche Anforderungen an die Lernenden stellt. Auf die überblickbasierte räumliche Fähigkeit der Personen, die zur Bewältigung der Aufgabe mit der Kartenskizze erforderlich ist, scheint nur die visuell-räumliche Fähigkeit der Perspektivenübernahme einen Einfluss zu haben. Orientierungskompetenzen sowie Vorerfahrungen mit Computerspielen hängen hingegen mit der Fähigkeit zur Wegbeschreibung zusammen. In der Summe kann der Schluss gezogen werden, dass die Korrelationen Tendenzen aufzeigen, denen in den nachfolgenden Studien der vorliegenden Dissertation genauer nachgegangen werden soll. Hierbei werden die Personenvariablen als bedeutsame Prädiktoren für das Kriterium angenommen. Da allerdings die Prädiktorvariablen sehr hoch miteinander korrelieren, müssen multiple Regressionsanalysen durchgeführt werden, um den Einfluss der Prädiktorvariablen auf die räumliche Leistung differenziert untersuchen zu können. Dadurch kann der Einfluss mehrerer Prädiktoren auf das Kriterium gleichzeitig überprüft werden, um festzustellen, wie viel Varianz des

Kriteriums „Lernerfolg“ von den einzelnen Prädiktoren erklärt wird. Solche Zusammenhangsanalysen sind in dieser Studie, die nur mit einer kleinen Stichprobe durchgeführt wurde, jedoch nicht sinnvoll.

### *Geschlechterunterschiede*

Es wurde außerdem untersucht, ob sich mögliche Geschlechterunterschiede hinsichtlich der Prädiktor- und Kriteriumsvariablen zeigen. Insgesamt können nur wenige bedeutsame Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. Erwartungsgemäß finden sich Unterschiede zwischen Männern und Frauen hinsichtlich ihrer selbstberichteten Orientierungskompetenz. Die Werte der Männer liegen konsistent höher als diejenigen der Frauen, was im Einklang mit Ergebnissen aus anderen Studien steht, in denen die Männer ebenfalls einen (signifikant) höheren Mittelwert erreichen als die Frauen (Hegarty et al., 2006; Münzer & Hölscher, 2011). Münzer und Hölscher (2011) erklären die Geschlechterunterschiede dadurch, dass Männer im Unterschied zu Frauen stärker dazu neigen, ihre Orientierungskompetenz hoch einzuschätzen, wohingegen Frauen bei der Selbsteinschätzung ihrer Orientierungskompetenz weniger selbstbewusst sind. Dieses Bild zeigt sich einheitlich bei allen drei Subskalen der Orientierungskompetenz. In Bezug auf die weiteren Prädiktorvariablen oder den Erfolg beim räumlichen Lernen weisen Frauen und Männer hingegen keine bedeutsamen Differenzen auf. Die erwarteten Geschlechterunterschiede im effektiven Einsatz von Strategien beim Umgang mit den räumlichen Interaktionsmöglichkeiten wurden an dieser Stelle nicht untersucht, da dies im Fokus der nachfolgenden Studie liegt. Dabei wird auch geprüft, ob die erwarteten Geschlechtseffekte auf die Einflüsse von anderweitigen Faktoren zurückgeführt werden können.

---

### *Weitere Konsequenzen für die nachfolgenden Studien*

Insgesamt lassen sich die für die nachfolgenden Studien dieser Dissertation abzuleitenden Konsequenzen, die sich auf die oben erläuterten Ergebnisse stützen, wie folgt zusammenfassen: Das primäre Ziel dieser Vorstudie war die Entwicklung eines Beobachtungs- und Bewertungssystems zur Bestimmung der Effizienz von Explorationsstrategien. Dieses Ziel wurde jedoch nur teilweise erreicht. Durch die eingesetzte Methode und die darauffolgende Analyse konnte keine deutliche Systematik im Explorationsverhalten der Lernenden beobachtet und festgelegt werden. Es konnten allerdings – dank der vorläufigen Befunde – erste Bausteine für ein funktionierendes Paradigma gelegt werden. Dies erfordert jedoch zusätzliche Überlegungen und den Einsatz von weiteren Erhebungsmethoden, die im Folgenden bei der Beschreibung der methodischen Optimierungen erläutert werden.

Ein weiteres bedeutsames Resultat bezieht sich auf die erfolgreiche Erreichung des vorrangigen Ziels dieser Vorstudie, die eingesetzten Lern- und Testmaterialien zu überprüfen und bei Bedarf Optimierungen vorzunehmen. Die geprüften Materialien bestehen sowohl aus der virtuellen Lernumgebung als auch aus den diagnostischen Instrumenten (Tests der visuell-räumlichen Fähigkeiten, Deutscher Fragebogen der Räumlichen Strategien und Fragen zur Vorerfahrungen mit Computerinterfaces) und den Tests zur Erfassung des Kriteriums für räumlichen Wissenserwerb (Richtungsschätzung, Wegbeschreibung und Kartenskizze). Die Veränderungen, die im Zuge der Optimierungsmaßnahmen umgesetzt werden, erfolgen sowohl inhaltlich (z.B. inhaltliche Überarbeitung der Instruktionstexte) als auch methodisch (z.B. Einsatz von Logfile-Funktion zusätzlich zur Videoaufnahme) und technisch (technische Verbesserung der virtuellen Lernumgebung und ihrer Tools). Diese Änderungen und Verbesserungen werden als Konsequenzen für die nachfolgenden Studien aufgegriffen, ihre Beschreibung erfolgt jedoch an der entsprechenden Stelle (s. Instrumente und Materialien der Studie I) in detaillierter Weise.

---

Zu einem inhaltlichen Aspekt der Verbesserung zählt die Überarbeitung und Konkretisierung der Instruktion während der Lernzeit. Die Begründung dafür ist die ursprünglich einseitige Formulierung der Aufgaben im Instruktionstext, sodass die Aufmerksamkeit der Lernenden überwiegend auf das Suchen der Säulen im Gebäude gerichtet war. Daher wurde der Instruktionstext insofern überarbeitet, dass durch konkrete Formulierungen beider Aufgaben (Säulen-Finden und Ausprägung der Gebäudestruktur) diese jeweils als eigenständige Aufgaben verstanden werden. Zudem wurden Verbesserungen hinsichtlich einiger methodischer Aspekte umgesetzt. Wie bereits dargestellt, zeigte die Methode des Lauten Denkens weniger erwartete Ergebnisse. Dies stellt unter anderem einen Grund für eine methodische Optimierung der nachfolgenden Studien dar. Dabei werden anstelle der Methode des Lauten Denkens alternative Erfassungsmethoden angewendet, um strategische Entscheidungen der Lernenden und ihr Vorgehen handlungs- und zeitnah ohne Verlust beziehungsweise Verzögerungen erfassen zu können.

Die eingesetzten Methoden sind die automatische Protokollierung des Interaktionsverhaltens durch die Logfile-Funktion sowie das qualitative Analyseverfahren der aufgezeichneten Videos, aus dem ein Kodiersystem zur qualitativen Bewertung der Strategien entwickelt wurde. Auch der Test zur Erfassung des räumlichen Lernens wurde überarbeitet, indem die Kriterien für die Bewertung der gezeichneten Karten von der Umgebung angepasst wurden. Zur Wegbeschreibung wurde eine zusätzliche Aufgabe hinzugefügt, welche die Rekonstruktion einer längeren Route erfasst. Die Aufgaben des Tests zur Richtungsschätzung wurden reduziert, um die Reliabilität des Tests zu erhöhen. Über die benannten Optimierungen hinaus wurden zudem technische Verbesserungen in den Tools der Software zur Darstellung des virtuellen Modells umgesetzt. Hierdurch sollte ein leichter und effektiver Umgang mit dem Modell ermöglicht werden. Hierfür wurde eine Interaktionskonsole im Programm eingebaut, um die Interaktion mit dem Modell zu vereinfachen. Zudem wurde das Interface in seinen Eigenschaften verfeinert und die Funktion der automatischen Logfile-Protokollierung im Programm eingefügt.

## 4 Studie I

### 4.1 Ziel und Hypothesen

Das erste Ziel dieser Studie besteht aus der Untersuchung, welche differenzierten strategischen Verhaltensweisen über die in der Vorstudie identifizierten Strategieelemente hinaus die Lernenden bei der Exploration des virtuellen Gebäudemodells (während ihrer Interaktion mit den Steuerungsmöglichkeiten) zeigen. Es wird vermutet, dass sich differenzierte Strategieelemente klassifizieren lassen, die das Explorationsverhalten der Personen unter Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Aspekten valide abbilden. Die Klassifikation unter quantitativen Aspekten beinhaltet Strategieindizes, welche die Nutzung von vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten (z.B. wechseln zwischen den Etagen) darstellen. Die Ermittlung der Häufigkeit der Nutzung der jeweiligen Funktionen (z.B. wie oft zwischen den Etagen gewechselt wird) wird als Bewertungsschema der eingesetzten Strategie genutzt. Die qualitativen Indizes liefern Strategieelemente, die sich auf selbstregulierte Vorplanungen und das zweckmäßige Vorgehen stützen (z.B. wird durch die Nutzung der allozentrischen Ansicht zwischen den Etagen gewechselt, um diese miteinander zu vergleichen und sich dadurch ihre Struktur einzuprägen). Mittels eines entwickelten Kategorie-Systems mit einem Auswertungsschema kann die Art der eingesetzten Strategie festgestellt und ihre effektive Nutzung qualitativ bewertet werden.

Weiterhin gilt es herauszufinden, ob und inwiefern individuelle Personenfähigkeiten (visuell-räumliche Fähigkeiten, Selbsteinschätzung der Orientierungsstrategien und Vorerfahrungen mit Computerspielen), sowie die Effizienz der Explorationsstrategien den Lernerfolg bei freier Exploration eines virtuellen Gebäudemodells vorhersagen. Es wird angenommen, dass Personen mit gut ausgeprägten Personenfähigkeiten (s.o.) und Personen, die effektive Explorationsstrategien nutzen, bessere Leistungen beim Erlernen der räumlichen Strukturen des Gebäudemodells erzielen. In Anlehnung an zahlreiche Studien (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty & Waller, 2004 & 2005; Hegarty et al., 2006;

Kozhevnikov et al., 2001; Moffat et al., 1998; Waller 1999 & 2000), welche visuell-räumliche Fähigkeiten als notwendige Voraussetzung für das räumliche Lernen durch dynamische und interaktive Visualisierungen nachgewiesen haben, wird davon ausgegangen, dass diese Personenfähigkeiten starke Prädiktoren für die Unterschiede in der räumlichen Leistung darstellen. Zur Untersuchung dieser Hypothese wird analysiert, ob die inter-individuellen Unterschiede in mentalen, visuell-räumlichen Fähigkeiten die Leistungsunterschiede in den Aufgaben Richtungsschätzung, Wegbeschreibung und Kartenskizze erklären können. Auch der Fähigkeit des Lerners, sein strategisches Vorgehen während der Orientierung in der realen Umwelt einzuschätzen, wird eine bedeutsame Vorhersagekraft für die virtuelle räumliche Lernleistung zugeschrieben (Hegarty et al., 2002; Kozlowsky & Bryant, 1977; Münzer & Hölscher, 2011; Pazzaglia & De Beni, 2001). Zu weiteren Prädiktoren des räumlichen Lernens zählen zudem die Vorerfahrung der Lernenden mit Computerinterfaces (Computeranwendung im Allgemeinen und spezifisch Erfahrung mit Computerspielen; Waller, 2000; Waller et al., 2001) und die individuellen Explorationsstrategien zur Gewinnung von räumlichen Informationen (Hölscher et al., 2006).

Außerdem wird angenommen, dass Personen mit ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten effizientere Strategien bei der Nutzung der interaktiven Kontrollmöglichkeiten anwenden. Demgegenüber nutzen Personen mit schwächer ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten die Kontrollmöglichkeiten ungezielt(er) und unfokussiert(er). Dies wird dadurch begründet, dass durch bessere räumliche Fähigkeiten mehr kognitive Ressourcen freigegeben werden können, die für die metakognitive Planung, Überwachung und Regulation des Vorgehens genutzt werden können. Dahingegen sind Personen mit schwächeren räumlichen Fähigkeiten von der Fülle der Kontrollmöglichkeiten vermutlich überfordert. Nicht nur aufgrund ihrer schwächeren räumlichen Fähigkeiten lernen sie schlechter, sondern auch weil sie kein effizientes strategisches Repertoire zur Nutzung der interaktiven Kontrollmöglichkeiten besitzen.

Es wird zudem angenommen, dass diejenigen Personen, die mehr Erfahrungen mit virtuellen Navigationsschnittstellen (beispielsweise im Rahmen von Computerspielen) haben, höhere Leistungen beim Erwerb von räumlichen Informationen über die virtuelle Umgebung erzielen, als Personen mit weniger Erfahrung. Ähnlich wie in Computerspielen, in denen die Spieler Objekte bewegen oder manipulieren, können sie dies auch in der hier eingesetzten virtuellen Umgebung tun. Daher wird in dieser Untersuchung eine spezielle Versuchspersonengruppe – nämlich Ego-Shooter-Spieler – einbezogen, die nach eigenen Angaben zahlreiche Erfahrungen mit dieser Art von Computerspielen gesammelt haben. Bei den Probanden dieser Gruppe werden hinsichtlich ihrer Strategiewahl (z.B. Wahl der Ansichten) Effekte einer spezifischen Expertise erwartet. Es wird davon ausgegangen, dass sie bevorzugt egozentrische Strategien verwenden, welche positions- und orientierungsabhängig sind. Dementsprechend wird erwartet, dass die räumlichen Aufgaben, die die egozentrische Perspektive erfordern (z.B. Wegbeschreibung), von den Ego-Shooter-Spielern besser gelöst werden.

Die zu untersuchenden Hypothesen dieser Studie lassen sich wie folgt ableiten:

- Es werden differenzierte Strategieelemente klassifiziert, die die unterschiedlichen, quantitativen und qualitativen Aspekte des Explorationsverhaltens von Lernenden abbilden.
- Die klassifizierten Explorationsstrategien und die Effizienz ihres Einsatzes sind starke Prädiktoren für die Erklärung der Unterschiede im räumlichen Wissenserwerb innerhalb der Strukturen des Gebäudemodells.
- Die Fähigkeit der Personen, eine exakte mentale Repräsentation vom virtuellen Gebäudemodell zu bilden, wird durch ihre visuell-räumlichen Fähigkeiten, ihre selbsteingeschätzten Orientierungsstrategien und ihre Vorerfahrungen mit Computerspielen vorausgesagt.
- Ein möglicher Geschlechtereffekt auf den Erfolg beim räumlichen Lernen wird durch (oben benannten) Personenvariablen mediiert.

## **4.2 Methoden**

### **4.2.1 Stichprobe**

An dieser Studie nahmen insgesamt 51 Teilnehmer im Alter von 19 bis 39 Jahren alt ( $M = 23.40$ ,  $SD = 3.66$ ) aus unterschiedlichen Fachbereichen, überwiegend von der Universität des Saarlandes teil. Sie wurden durch Aushänge an der Universität geworben und mit 12 Euro als Entschädigung für ihre Teilnahme honoriert. Unter den 51 Teilnehmern waren 40 Versuchspersonen (davon 23 Frauen) ohne und 11 Versuchspersonen (nur Männer) mit (nach Selbstangabe) Erfahrungen mit Ego-Shooter-Spielen. Die Teilnehmer hatten keine Vorkenntnisse über die Struktur des realen Gebäudes. Um potenzielle Fehler beim Verständnis der Instruktionen und Aufgabenstellungen zu minimieren, wurden nur Probanden mit deutscher Muttersprache zugelassen.

### **4.2.2 Instrumente und Materialien**

Die in der Vorstudie entwickelten und verwendeten Lernmaterialien beziehungsweise Messinstrumente wurden in dieser Untersuchung im Wesentlichen übernommen und eingesetzt. Um diesbezüglich im Folgenden Wiederholungen und Redundanzen zu vermeiden, werden an dieser Stelle nur die Instrumente und Tests ausführlich beschrieben, die entweder das erste Mal und ausschließlich in der aktuellen Untersuchung verwendet werden oder sich aufgrund von Optimierungen von den Tests in der vorherigen Untersuchung unterscheiden. Die Optimierungsmaßnahmen wurden durch die Vereinfachung von Tools, die Instruktions- und Aufgabenüberarbeitung, sowie durch die Protokollierung von Nutzeraktionen in der Software umgesetzt. Im Folgenden werden daher jegliche Veränderungen, sei es eine Überarbeitung, eine Verkürzung oder Eliminierung, an den entsprechenden Stellen erläutert.

## **Materialien der Übungsphase**

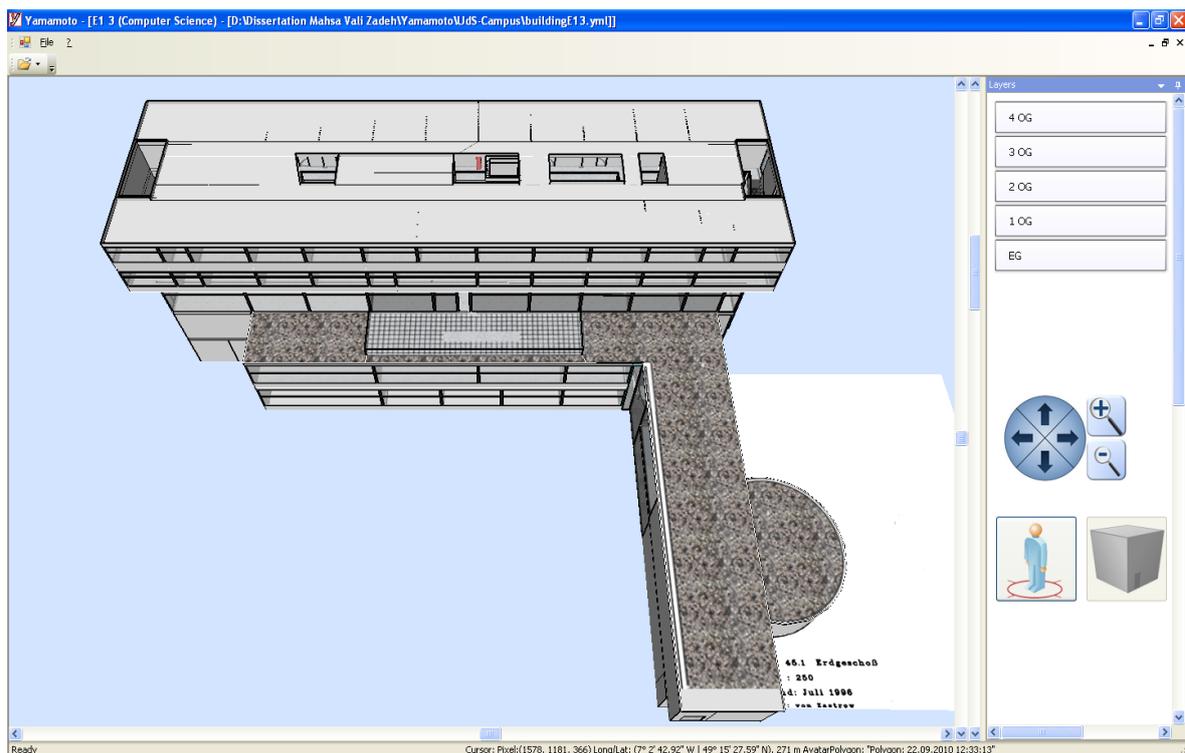
Die Übungsphase diente als Einführung in die Interaktionsmöglichkeiten von Yamamoto. Es wurden zwei Instruktionen in Form eines Textes mit informativen Bildern (s. Anhang B1-II, S. 228) beziehungsweise eines Videos verwendet. Die Videoinstruktion wurde für diese Studie neu konstruiert (Diese ist auf der Anlage-CD unter Studie I\_ Instruktionen\_ Videoinstruktion zu finden). Zur Einübung der Interaktionsmöglichkeiten wurde den Lernenden ein virtuelles Übungsmodell bereitgestellt, welches ebenfalls durch die Yamamoto-Software modelliert wurde. Damit die Lerner zusätzlich die Möglichkeit hatten, selbst zu kontrollieren, ob sie tatsächlich mit den Interaktionen des Programms umgehen konnten oder nicht, wurden ihnen einige adaptive Aufgaben zum Umgang mit Interfaces gestellt (s. Anhang B1-II, S. 228). Die Beobachtung der korrekten Durchführung der Aufgaben durch die Lernenden diente dem Versuchsleiter auch zur Bewertung der Vertrautheit des Lernenden mit der Interaktion im virtuellen Modell. Die Bewertung dieser Vertrautheit dient in der gesamten Untersuchung als Kontrolle einer möglichen Störvariable. Dadurch soll ausgeschlossen werden, dass eventuelle Defizite beziehungsweise die nicht vorhandene Vertrautheit im Umgang mit dem Modell das Lernen während der Lernphase negativ beeinträchtigt.

## **Materialien der Lernphase**

Das eingesetzte Lernmaterial in dieser Untersuchung ist dieselbe Lernumgebung (das virtuelle Gebäudemodell in Yamamoto) wie in der Vorstudie. Zudem wurden die Versuchspersonen auch vor die gleiche Lernaufgabe gestellt. Anders als in der vorherigen Studie wurde in dieser Untersuchung das Modell dem Lernenden auf einem Standard-Bildschirmcomputer im Computerlabor der Fachrichtung Bildungswissenschaften präsentiert. Die Entfernung vom Sitzplatz zum Monitor war ungefähr 45 cm, so dass ein Blickwinkel von etwa 28° resultierte.

Maßnahmen zur Optimierung des Interfaces und des Computerprogramms bestanden aus der Ausstattung des Programms mit zusätzlichen Funktionen. Zunächst wurde die Benutzerschnittstelle spezifiziert und anschließend in das Modellierungswerkzeug aufgenommen. Dabei wurde eine neue interaktive Konsole mit unterschiedlichen Buttons integriert. Diese ermöglichte den

Lernenden eine effizientere Nutzung der Kontrollmöglichkeiten und des Interfaces. Die Aktivierung der egozentrischen Ansicht wurde – durch Drücken des entsprechenden Buttons – ebenfalls einfacher. In dieser Ansicht wurde sowohl die Benutzung der Maus als auch der Pfeiltasten der Tastatur zugelassen. Dies erlaubte zum einen die Rotation des Kopfes nach rechts und links; und zum anderen – durch Nutzung der Pfeiltasten – die Bewegung des Körpers auf verschiedenen Achsen (z.B. eine 360°-Rotation). Außerdem wurde das Programm um eine zusätzliche Funktion erweitert, damit die Protokollierung der Nutzeraktionen in der Software erfolgen konnte. Diese ermöglichte das automatische Erheben der quantitativen Protokolldaten in Bezug auf die strategischen Vorgehensweisen einzelner Lernender. Zudem wurden das Modell beziehungsweise die darin enthaltenen Gebäudeelemente (z.B. Aufzüge, Treppengitter und Treppenhäuser) grafisch verfeinert. Abbildung 2 zeigt die überarbeitete Version des Tools und des Gebäudemodells.



**Abbildung 2.** Ausschnitt vom Gebäudemodell in Yamamoto aus der Studie I mit vereinfachten und übersichtlichen Steuerungs-Tools

Die weitere Verbesserung der Lernmaterialien richtete sich auf die Überarbeitung des Instruktionstexts und der Aufgaben während des Lernens im virtuellen Modell. Hierbei wurde der Instruktionstext inhaltlich und formell überarbeitet (s. Anhang B2-II, S. 230). Das Ziel war es hierbei, die beiden Lernaufgaben derart konkret zu formulieren, dass sie als gleichwertige Aufgaben angesehen wurden, wodurch die Notwendigkeit, beide zu bearbeiten, verdeutlicht werden sollte.

### **Erfassung der inter-individuellen Personenfähigkeiten**

Zur Erfassung der visuell-räumlichen Fähigkeiten wurden zum großen Teil die in der Vorstudie überprüften Instrumente (Hidden Pattern und Perspective Taking) verwendet. Der Mental Pathway wies in der vorherigen Studie nur geringe Korrelationen mit den verschiedenen Kriterien des räumlichen Lernens auf. Deshalb wurde dieser durch einen Test zur Erfassung der mentalen Rotationsfähigkeit (*Mentaler Rotationstest* von Jansen-Osmann & Heil, 2007) ersetzt. Die Fähigkeit zur mentalen Rotation ist vermutlich ein starker Prädiktor für die Varianz im räumlichen Wissenserwerb. Diese Fähigkeit kann vor allem beim Erlernen der bereitgestellten dynamischen Repräsentationen, sowie bei der effektiven Nutzung der Rotationsmöglichkeit in der Interaktion mit dem Modell bedeutsam sein, um sich die räumlichen Strukturen des Gebäudes anzueignen. Der *Mentale Rotationstest* erfasst die Fähigkeit zur mentalen Rotation. Der Test ist computergestützt und beinhaltet sechzig Items. Hierbei werden den Teilnehmern gleichzeitig zwei Symbole, ein Originalsymbol (links) und ein Vergleichssymbol (rechts), präsentiert. Das dargestellte Vergleichssymbol ist um einem von drei verschiedenen Drehwinkeln –  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $180^\circ$  – gedreht. Es ist mit dem Originalsymbol entweder identisch oder nicht identisch. Nicht identisch bedeutet, dass die beiden Symbole niemals deckungsgleich sind, unabhängig davon, wie das Vergleichssymbol gedreht wird. Die Versuchspersonen sollen nun so schnell wie möglich bestimmen, ob die beiden Symbole identisch sind oder nicht. Dabei werden zwei Komponenten der mentalen Rotationsfähigkeit, die Reaktionszeit bei jedem Item sowie die Anzahl der falsch beantworteten Items, gemessen. In der Originalarbeit wurde die Reliabilität mit der Odd-Even-Methode geschätzt und als  $r$

= .91 berichtet. Der Test ist auf der Anlage-CD unter „Studie I\_ Tests\_ Chronometrischer Test“ zu finden.

Der Fragebogen „FRS“ von Münzer und Hölscher (2011) wurde in dieser Untersuchung ebenfalls zur Erfassung der Strategien zur Orientierung in der realen Umwelt eingesetzt. Zur Erfassung der Vorerfahrungen der Probanden mit Computerinterfaces und Computerspielen wurde der Fragebogen aus der vorherigen Untersuchung eingesetzt. Dieser wurde jedoch überarbeitet und auf drei Hauptitems reduziert (s. Anhang A3-II, S. 226). Bei der ersten und zweiten Frage wurde die durchschnittliche Zeit in Stunden erfragt, die die Probanden pro Woche jeweils am Computer im Allgemeinen und spezifisch mit dem Spielen am Computer verbringen. Bei Frage 3 sollten die Versuchspersonen explizit ihre drei liebsten Computerspiele nennen. Mit Hilfe einer fünfstufigen Skala (1 = nicht gespielt in den letzten 12 Monaten; 2 = gespielt ein paarmal in den letzten 12 Monaten; 3 = gespielt weniger als 1 Stunde am Tag; 4 = gespielt mehr als 1 Stunde am Tag; 5 = gespielt mehr als 2,5 Stunden am Tag) gaben die Lernenden an, wie oft sie sich mit jedem der von ihnen genannten Spielen tatsächlich befasst hatten.

### **Erfassung des strategischen Explorationsverhaltens**

Zur Erfassung der von den Lernenden eingesetzten Explorationsstrategien und deren Sub-Elemente wird in der vorliegenden Arbeit, ebenso wie in der vorherigen Untersuchung, ein Multi-Erhebungsverfahren verwendet. Der Vorteil eines solchen Verfahrens besteht darin, dass durch die Anwendung verschiedener Methoden Informationen unterschiedlicher Art auf mehreren Ebenen gesammelt werden können. Das Multi-Erhebungsverfahren wird zudem von vielen Forschern als effektive Methode zur Erfassung von Lernstrategien dargestellt (vgl. Bannert, 2009). Beispielsweise wird in der vorliegenden Untersuchung anhand von drei unterschiedlichen Erfassungsmethoden versucht, auf quantitativen und qualitativen Ebenen Schlüsse über die Explorationsstrategien der Lernenden – während des Lernprozesses, aber auch retrospektiv – zu ziehen. Durch die Analyse dieser Daten soll ein Kategoriensystem entwickelt werden, womit für jeden Probanden die Effizienz seiner Strategie individuell bestimmt werden kann. Eine dieser Methoden ist die videogestützte Beobachtung des Verhaltens der

Probanden. Hierfür werden über die gesamte Lernzeit mittels Screenrecording Videos aufgezeichnet (für einzelne Videos, s. Studie I\_ Aufnahmen\_ Videos auf der CD).

In der ersten Studie der vorliegenden Dissertation fielen die Ergebnisse des Lauten Denkens nicht zufriedenstellend aus, da die Probanden diese Methode nicht wie erhofft anwendeten (sie verbalisierten lediglich, was sie gerade machten und nicht den Grund für ihr Handeln). Daher wurde diese Methode in der vorliegenden Untersuchung durch ein anderes Verfahren ersetzt. Diese bestand aus einem Logfile-recording während des Lernprozesses und synchron zu den oben beschriebenen Video-Aufzeichnungen. Dabei wurden die Strategien hinsichtlich verschiedener Kriterien erfasst. Diese Kriterien umfassten Aspekte in Hinblick auf die Häufigkeit der Nutzung einer oder beider Ansichten, auf die Häufigkeiten der Nutzung von hierfür vorhandenen interaktiven Buttons und schließlich auf die Dauer der Nutzung dieser Möglichkeiten (für Protokolldaten, s. Studie I\_ Aufnahmen\_ Logfile auf der CD). Im Anschluss an die Testung wurden die Probanden über einen neu konstruierten Reflexionsfragebogen (s. Anhang E1, S. 254) retrospektiv zu ihrer Zielsetzung und zu ihrem strategischen Vorgehen bei der räumlichen Exploration befragt. Dieser Fragebogen diente somit der Rekonstruktion des strategischen Vorgehens und verfolgte das Ziel, ausführliche und präzise Daten über die Strategieverwendung jeder einzelnen Person zu erhalten. Die erste Frage des Fragebogens zielte darauf ab, mögliche Probleme beim Umgang mit den Interaktionsmöglichkeiten im Modell zu identifizieren. Die Probanden wurden gefragt, ob und wie gut sie mit diesen Möglichkeiten zurechtkamen und sie wurden gebeten, ihre Antwort zu begründen. Die anschließenden Fragen bezogen sich auf die Nutzung der einzelnen Funktionen zur Interaktion. Dabei sollten beispielsweise Angaben dazu gemacht werden, an welcher Stelle die Avatar-Ansicht beziehungsweise die allozentrische Ansicht genutzt wurden. Bei allen Fragen war es von Bedeutung, die Aussagen schlüssig zu begründen. Außerdem wurde gefragt, welche räumliche Perspektive zum Finden der Säule und welche zum Einprägen der Gebäudestruktur jeweils bevorzugt worden waren.

## **Erfassung der verschiedenen Komponenten des räumlichen Lernens**

Alle in der Vorstudie verwendeten Tests zur Überprüfung des räumlichen Lernens kamen auch in der vorliegenden Untersuchung zum Einsatz. Allerdings wurden diese durch die Überarbeitung von Subaufgaben redigiert und zum Teil durch weitere Aufgaben ergänzt.

### *Routenwissen*

Zum Wegbeschreibungstest wurde eine zweite Aufgabe hinzugefügt. Darin werden die Lernenden dazu aufgefordert, zwei verschiedene Pfade – einen kürzeren und einen längeren – von einer bestimmten Säule aus zu einer anderen zu beschreiben (s. Anhang D1-II, S. 245-253). Je nachdem, welche Route die Teilnehmer schildern, können sie bei der ersten Aufgabe höchstens 4,00 und bei der zweiten höchstens 5,50 Punkte erhalten. Der Bewertungswert setzt sich aus dem Mittelwert der prozentualen Anteile der beiden gelösten Aufgaben zusammen. Diese Aufgabe wurde von zwei Personen unabhängig voneinander ausgewertet. Der durchschnittliche Wert der beiden in Prozent wurde als Endwert angesehen.

### *Überblickswissen*

Der Test der Richtungseinschätzung, in dem die korrekte Relation zwischen Objekten eingeschätzt werden soll, wurde auf zwölf Aufgaben reduziert. Damit wurde die interne Konsistenz des Tests (Cronbach's  $\alpha = .77$ ) erhöht. Die Aufgaben wurden den Lernenden zusammen mit illustrierten Screenshots präsentiert (für Aufgaben, s. Anhang D1-II, S. 245-253). Bezüglich des Kartenskizzentests wurde sowohl die Aufgabenstellung als auch das Auswertungsschema überarbeitet. Diesmal sollten die Lerner eine Karte vom Erdgeschoss zeichnen, das eine einfachere Struktur als die zu zeichnende Etage der vorherigen Untersuchung aufweist. Bei der Auswertung der Karten werden fünf Kriterien berücksichtigt. Zuerst wird die Karte hinsichtlich der korrekten Angabe der Anzahl der Objekte bewertet. Dann wird die Bewertung der relativen Positionierung der gezeichneten Objekte zueinander vorgenommen. Hierzu wird ein relativer Maßstab in Form

einer Schablone, in der für jedes tatsächliche Objektelement eine Positionsabweichungsgrenze eingezeichnet ist, über die Kartenskizze gelegt. Liegt das skizzierte Objekt innerhalb dieser Grenze, werden Punkte vergeben. Für die korrekte Angabe der Säulennummer kann zusätzlich ein halber Punkt erreicht werden. Außerdem können bis zu drei Punkte für die gesamte Darstellung der Standorte der Objekte auf der Karte vergeben werden (globale Bewertung). Die höchste zu erreichende Punktzahl für die gezeichneten Objekte, deren präzise Positionierung sowie die Benennung der Säulennummern beträgt 15 Punkte. Darüber hinaus sind Bonuspunkte möglich, die der Lerner erreichen kann, wenn er noch zusätzliche strukturelle Eigenschaften auf seiner Kartenskizze eingezeichnet hat.

### 4.2.3 Ablauf

Die Untersuchung erfolgte in einer Sitzung mit vier aufeinanderfolgenden Phasen, die von einer geschulten Testleiterin durchgeführt wurden. Diese fand im Computerlabor des Lehrstuhls „Empirische Bildungsforschung“ auf dem Campus der Universität des Saarlandes statt, wobei gleichzeitig zehn Probanden auf Computern mit 17-Zoll-Standard-Bildschirmen getestet werden konnten. Abbildung 3 dient einer besseren Veranschaulichung des Untersuchungsverlaufs.

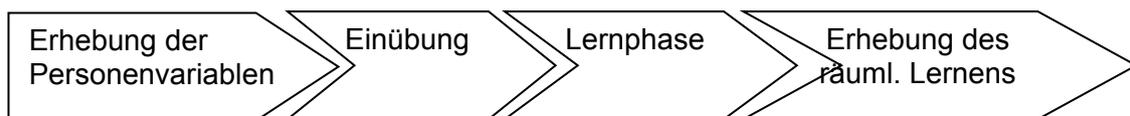


Abbildung 3. Schematische Darstellung des Verlaufs der Studie I

Nach der Begrüßung und einer kurzen Einführung hinsichtlich des Versuchsablaufs, erfolgte die Durchführung der Tests zur Erfassung der visuell-räumlichen Fähigkeiten. Zuerst wurde der Test der Mustererkennung (Hidden Pattern) und anschließend der mentale Rotationstest computerunterstützt durchgeführt. Danach wurde der Perspektiven-Test, wie bei der Pilotstudie, auf Papier bearbeitet. Der Fragebogen „Räumliche Strategien zur subjektiven Einschätzung eigener räumlicher Orientierungsfähigkeiten“, sowie der Fragebogen zu den Vorerfahrungen mit Computerspielen und Computerinterfaces wurden im

Anschluss auf Papier durchgeführt. In der darauffolgenden Phase – der Einübungsphase – sollten sich die Teilnehmer mit der Benutzeroberfläche vertraut machen, die Navigationsgrundlagen erlernen und den Gebrauch der Steuerungsmöglichkeiten ausreichend trainieren. Dabei wurden sie anhand von einer dreiminütigen Videoeinführung in die interaktiven Kontrollmöglichkeiten (Zoom, Rotation, Perspektivenwechsel, virtuelles Erkunden) in die virtuelle Lernumgebung eingewiesen (s. Studie I\_ Instruktionen\_ Videoinstruktion auf der Anlage-CD). Bei der Einübung gab es keine Zeitbegrenzung. Jeder Teilnehmer hatte so lange Zeit zum Üben, wie er benötigte. Im Anschluss wurde das Kontroll-Aufgabenblatt vorgelegt, mit welchem die Probanden selbst kontrollieren konnten, ob für sie noch Bedarf an zusätzlicher Übungszeit bestand oder ob sie mit dem Programm umgehen konnten.

Nach der Anweisungs- und Übungsphase erfolgte die Lernphase. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, das virtuelle Gebäude zu explorieren. Zur aktiven Exploration der Lernumgebung standen ihnen zehn Minuten zur Verfügung, wobei sie die Interaktionskonsole zur Steuerung verwenden konnten. Hierzu wurden die Teilnehmer instruiert, alle im Gebäude stehenden (fünf) Säulen zu finden, sich ihren Standort zu merken und sich so gut wie möglich die Struktur des Gebäudes einzuprägen, um eine mentale Vorstellung vom Gebäude zu entwickeln. Mit Hilfe des Screenrecording „CamStudio“ wurde das individuelle Explorationsverhalten der Versuchspersonen aufgezeichnet und synchron dazu die Logfile-Protokolle automatisch im Programm gespeichert. Im Anschluss an die Lernphase wurde der räumliche Lernerfolg (routen- und überblickbasiertes räumliches Wissen) anhand der oben beschriebenen Aufgaben getestet. Abschließend wurden die Probanden mit einem Reflexionsfragebogen zu ihrem strategischen Vorgehen bei der Exploration in der Lernphase befragt. Die gesamte Durchführung dauerte ca. sechzig Minuten.

#### 4.2.4 Auswertung

Zur Überprüfung der Unterschieds- beziehungsweise Zusammenhangshypothesen wurden varianzanalytische oder regressionsanalytische Verfahren eingesetzt. Die Datenanalyse basiert auf einem allgemeinen linearen Modell. Mittels Varianzanalyse wurde die Auswirkung der qualitativen Indizes der Strategien auf die Kriterien des räumlichen Lernens geprüft. Um zu überprüfen, ob die inter-individuellen Unterschiede in Personenfähigkeiten, die Explorationsstrategien und das Geschlecht den räumlichen Wissenserwerb vorhersagen, wurden Regressionsanalysen durchgeführt. Bei der Berechnung der Regressionsmodelle wurde hinsichtlich der Prüfung der Vorhersagekraft von Personenfähigkeiten auf das räumliche Lernen zu einem gewissen Ausmaß explorativ vorgegangen. Die durchgeführten Analyseschritte werden an entsprechenden Stellen bei der Darstellung der Ergebnisse näher beschrieben. Durch dieses explorative Vorgehen wird das Ziel verfolgt, ein effizientes und umfassendes Modell zu entwickeln, in dem möglichst alle Prädiktorgruppen repräsentiert sind.

Bei der Analyse der möglichen Mediationseffekte wurde das Überprüfungskonzept nach Baron und Kenny (1986) vorgenommen. Dabei muss gemäß dieser Autoren eine bestimmte Voraussetzung erfüllt sein, nämlich dass alle Variablen (Mediator, Prädiktor und Kriterium) miteinander signifikant korreliert sind. Ist diese Voraussetzung erfüllt, wird der Mediator simultan mit der Prädiktorvariable in die Regressionsberechnung aufgenommen. Dies erfordert ein schrittweises Vorgehen. Abbildung 4 präsentiert die schematische Darstellung der konzeptuellen Mediationsanalyse in vorliegender Studie.

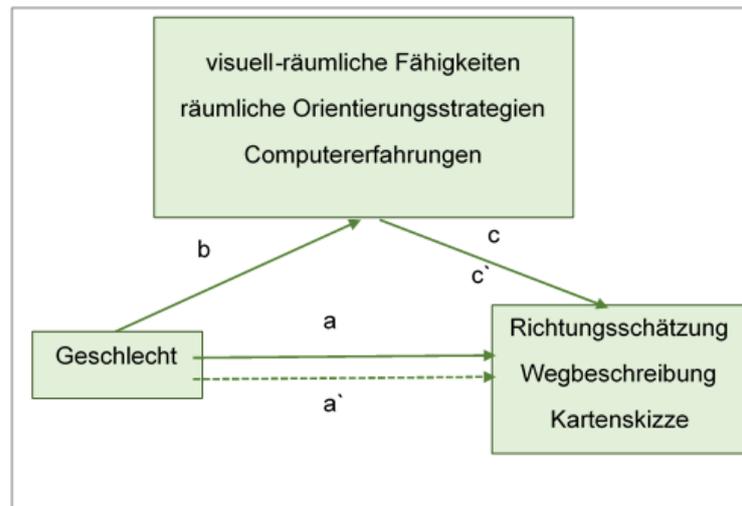


Abbildung 4. Graphische Darstellung der in der Studie I zu prüfenden Mediationsanalyse

Damit wurde geprüft, ob die Personenvariablen (als potenzielle Mediatoren) den Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den räumlichen Lernkriterien mediiieren. Dabei verdeutlicht ein einfacher Pfeil mit Kleinbuchstaben (auch als Pfad bezeichnet) einen statistisch signifikanten Effekt zwischen den jeweiligen Prädiktor-, Mediator- und Kriterium-Variablen. Die mit den Buchstaben bezeichneten Pfade stehen inhaltlich für standardisierte  $\beta$ -Gewichte. Der Buchstabe „a“ bezeichnet den signifikanten Effekt des Geschlechts beziehungsweise der Explorationsstrategien auf die Kriterien des räumlichen Lernens. Die Personenvariablen kommen nur dann als Mediatoren in Frage, wenn sie durch das Geschlecht vorhergesagt werden können. Dieser Effekt wird mit dem Buchstaben „b“ gekennzeichnet. Die weitere notwendige Voraussetzung, dass der potenzielle Mediator (Personenfähigkeiten) das Kriterium des räumlichen Wissenserwerbs statistisch signifikant vorhersagt, wird mit dem Buchstaben „c“ bezeichnet. Der durchgestrichene Pfeil zeigt den Zusammenhang zwischen Prädiktor und Kriterium nach Einbezug des Mediators in das Modell. Im Falle einer vollständigen Mediation wird der Zusammenhang zwischen dem Prädiktor (Geschlecht) und dem Kriterium (räumliches Lernen) durch den Mediator (Personenfähigkeiten) vermittelt. Dies bedeutet, dass der Prädiktor dann keine spezifische Wirkung (in Abbildung 4 mit „a“ gekennzeichnet) auf das Kriterium hat, wohingegen der Mediator weiterhin einen signifikanten Effekt (in Abbildung 4 mit „c“ bezeichnet) auf das Kriterium ausübt. Nimmt der Einfluss des Prädiktors

zwar ab („a“ kleiner als „a“), bleibt aber signifikant, so liegt eine partielle Mediation vor.

Um überprüfen zu können, ob der indirekte Pfad vom Prädiktor über den Mediator zum Kriterium signifikant ausfällt, wird geläufiger *Sobel-Test* berechnet. Dieser Test prüft indirekt, ob sich das  $\beta$ -Gewicht des Prädiktors durch die Hinzunahme des Mediators signifikant reduziert. Bei diesem Test handelt es sich um eine t-verteilte Prüfgröße, die aus dem Gewicht selbst und dem dazugehörigen Standardfehler ermittelt wird. Fällt der Sobel-Test signifikant aus, kann demnach indirekt angenommen werden, dass der im Regressionsgewicht fehlende Anteil über den Mediator vermittelt wird (s. Bühner & Ziegler, 2009, S. 698). Es gibt eine weitere Alternative, das sog. *Bootstrapping-Verfahren* (Hayes & Scharkow, 2013 vgl. Wentura & Pospeschill, 2015; Preacher & Hayes, 2008). Dieses Verfahren basiert auf computerbasierten Berechnungen, wobei „... eine Zufallsstichprobe n aus den n Datenpunkten der vorhandenen Stichprobe“ (Wentura & Pospeschill, 2015, S. 67) entsprechend der vordefinierten Wiederholungsmöglichkeiten (Empfehlungen liegen zwischen 1.000 und 5.000 Wiederholungen) gezogen wird. Dabei wird jedes Mal das Produkt des indirekten Pfades ( $b \cdot c$ , Abbildung 4) bestimmt. Zur Prüfung der Signifikanz seines Effekts wird ein Intervall zwischen 2,5. und 97,5. Perzentil als 95%-Vertrauensintervall (Wentura & Pospeschill, 2015, S. 67) verwendet, wobei geprüft wird, ob der Wert „0“ in diesem Vertrauensintervall liegt. Ist das der Fall, erweist sich der indirekte Pfad als nicht-signifikant. Bei den folgenden Analysen der vorliegenden Studie wurde die Anzahl der Bootstrap-Stichprobe auf 1.000 festgelegt.

Zur Aufnahme der kategorialen Geschlechtervariablen in die Analyse wird diese Variable mit „0“ für Frauen und „1“ für Männer kodiert. Zur Prüfung der Effekte wird stets ein Signifikanzniveau von  $\alpha = .05$  angewendet, wobei kleinere Irrtumswahrscheinlichkeiten den Konventionen entsprechend gekennzeichnet werden.

### 4.3 Ergebnisse

#### *Selbstgesteuerte Explorationsstrategien*

Zur Identifikation der Explorationsstrategien der Lernenden wurde eine Analyse der quantitativen Daten, welche durch die Logfiles protokolliert wurden, sowie der Videos, welche durch das Screenrecording aufgezeichnet wurden, vorgenommen. Daraus ergaben sich bei der Exploration des interaktiven virtuellen Gebäudemodells zwei unterschiedliche Gruppen von Indizes für das Strategieverhalten, nämlich die quantitativen und die qualitativen Indizes. Bei den weiteren Analysen bezüglich des Einflusses der selbstgesteuerten Explorationsstrategien auf das räumliche Lernen wurden diese zwei Strategiegruppen als separate Prädiktorgruppen in die Analyse einbezogen.

#### *Quantitative Indizes*

Die Protokolldaten wurden in Bezug auf vordefinierte Elemente hinsichtlich der Nutzung der interaktiven Steuerungsmöglichkeiten zusammengefasst. Diese sollten als quantitative Indizes für das strategische Explorationsverhalten fungieren und lassen sich wie folgt beschreiben: Bei der Nutzung der allozentrischen Perspektive wurden (1) die Entfernung, wie weit die Karte des Gebäudes mit der Maus gezogen wurde, (2) die Nutzungshäufigkeit der Zoomfunktion (3), die Summe der Winkel, um die Karte entweder horizontal oder (4) vertikal gedreht wurde und (5) die Häufigkeit des Etagenwechsels protokolliert. In der egozentrischen Ansicht wurden (6) die Strecke, die der Avatar insgesamt zurückgelegt hat und (7) die Winkel, um die sich der Avatar gedreht hat, gemessen. Über beide Ansichten hinaus wurden zudem (8) die Anzahl der Perspektivenwechsel insgesamt, (9) die Zeiten, die die Lernenden in der allozentrischen Ansicht und (10) in der egozentrischen Ansicht verbracht haben, sowie (12) der prozentuale Anteil der Avatarperspektive am gesamten Experiment berechnet.

### *Qualitative Indizes*

Vor dem Hintergrund der korrelativen Ergebnisse der quantitativen Indizes, welche bis auf wenige Ausnahmen keine bedeutsamen Zusammenhänge mit dem Lernerfolg zeigen (s. Tabelle 6), wurde eine qualitative Analyse des Strategieverhaltens anhand von Screenrecording-Aufzeichnungen und Befragungen der Probanden vorgenommen. Dies erfolgte mit dem Ziel, möglicherweise eine Systematik in der Exploration der Lernenden erkennen und in effizienter Weise deren strategisches Vorgehen beschreiben zu können. Daher wurden insbesondere die strategischen Vorgehensweisen der erfolgreichen vs. weniger erfolgreichen Lernenden betrachtet ( $n = 22$ ). Diese Lernergruppen wurden post-hoc anhand ihrer Leistung in drei Nachtests bestimmt, indem die Lerner durch einen Median-Split der Leistungsmaße in zwei Gruppen eingeteilt werden. Dadurch bilden die Lernenden, die in mindestens zwei Nachtests gut abgeschnitten haben, die Gruppe der „erfolgreichen Lerner“ ( $n = 13$ ). Zur Gruppe der „wenig erfolgreichen Lerner“ gehören die Lernenden mit schlechten Leistungen in mindestens zwei Tests ( $n = 9$ ). Die Mittelwertvergleiche bestätigen die signifikanten Unterschiede zwischen diesen zwei Gruppen hinsichtlich ihres räumlichen Lernerfolgs (RE:  $F(1,20) = 39.38$ ,  $p < .01$ ; WB:  $F(1,20) = 53.50$ ;  $p < .01$ ; KS:  $F(1,20) = 12.85$ ;  $p < .01$ ). Die zugrunde liegenden deskriptiven Daten sind aus Tabelle 3 zu entnehmen. Es werden Mittelwerte, Standardabweichungen sowie minimal und maximal erreichte Werte angegeben ( $M$ ;  $SD$ ;  $Min.$ -  $Max.$ ).

Tabelle 3  
 Deskriptive Statistik für Prädiktor- und Kriteriumsvariablen von erfolgreichen vs. weniger erfolgreichen Lernern (N = 22)

Variable	erfolgreich (n = 13)			weniger erfolgreich (n = 9)		
	M	SD	Min-Max	M	SD	Min-Max
visuell-räumliche Fähigkeiten						
HP	112.23	27.10	45-148	81.33	13.57	57-103
PT	24.33	13.44	8-51	52.76	39.70	17-106
MR (Zeit)	1861.56	442.28	1305.68-2701.00	3655.74	1125.83	2555.33-5142.33
MR (Fehler)	1.37	.78	0-3	2.11	1.23	1-4
räumliche Orientierungskompetenz						
FRS1	4.91	1.09	3-7	4.56	1.24	3-6
FRS2	4.33	1.38	2-7	3.06	1.34	1-5
FRS3	3.12	1.53	1-6	2.39	1.59	1-6
Vorerfahrungen						
PC1	19.31	9.27	5-35	16.89	6.33	10-30
PC2	3.85	5.84	0-21	.56	1.33	0-4
Räumliches Lernen						
RE	56.60	25.25	21-96	118.68	18.56	89-153
WB	72.54	18.36	36-100	17.83	15.44	0-36
KS	5.85	2.68	2.50-12.00	2.50	.90	1-4

Anmerkungen. \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ;

HP = Mustererkennung (Anzahl der korrekten minus falschen), PT = Perspektivenübernahme (Winkelfehler in Grad), MR (Zeit) = Zeitfaktor der Mentalen Rotation (durchschnittliche Reaktionszeit in Millisekunden), Mentale Rotation (Fehler) = Fehleranzahl;

Räumliche Orientierungsstrategien: FRS1 = Fähigkeit der globalen Einschätzung (Skalenwert 1-7), FRS2 = Fähigkeit der Überblicksstrategie (Skalenwert 1-7), FRS3 = Fähigkeit der Orientierung an Himmelsrichtung (Skalenwert 1-7);

Vorerfahrungen mit Computern: PC1 = Computernutzung in der Woche (in Stunden), PC2 = Computerspielen in der Woche (in Stunden);

räumliches Lernen: WB = Wegbeschreibung (relative Bewertungspunkte in Prozent), RE = Richtungseinschätzung (durchschnittliche Winkelfehler in Grad), KS = Kartenskizze (nach einem Punkteschema).

Während der initialen Analysen der Videos der beiden Gruppen ließ sich feststellen, dass die Strategien, die die erfolgreichen Lerner zur Exploration des Gebäudes und zum Erwerb der konfiguralen Informationen über das Gebäude anwenden, sich in manchen Punkten von denen der weniger erfolgreichen Lerner unterscheiden. Die Unterschiede zeigen sich vor allem im systematischen Vorgehen der erfolgreichen Lerner bei der Nutzung der interaktiven Steuerungsmöglichkeiten. Gute Lerner gehen zielgerichteter und strategisch besser vor. Sie setzen beispielsweise die verschiedenen räumlichen Perspektiven bewusst ein und platzieren den Avatar nicht in zufälliger Art und Weise, sondern ganz gezielt während der Erkundung der Umgebung einer Säule oder eines bestimmten Pfades. In der Summe zeigen sich die Unterschiede insbesondere in Bezug auf die Intention zur Nutzung bestimmter Funktionen. Wichtig ist hier anzumerken, dass nicht alle guten Lerner auch alle Strategieelemente verwenden.

Zur qualitativen Analyse der strategischen Vorgehensweise der erfolgreichen und weniger erfolgreichen Lernenden wurden die Videoaufnahmen von zwei unabhängigen Ratern bewertet. Ihnen wurden die Videos zur Verfügung gestellt und sie hatten keine Informationen darüber, welche Werte die jeweiligen Probanden in den Leistungsmaßen erreicht hatten. Die Rater wurden für die qualitative Analyse geschult, indem sie eine Einführung in die Bewertungsmethode und in die Bewertungskategorien, die auf einem Kodierbogen (s. Anhang C1, S. 233 & 234) ausgehändigt wurden, erhielten. Die Kategorien waren auf Grundlage der Videoanalysen im Vorfeld entwickelt worden. In diesem Kodierbogen ist eine Klassifikation der identifizierten Strategiekomponenten der Lernenden bei der Interaktion mit den Steuerungsmöglichkeiten vorzufinden. Die Rater dokumentierten zunächst, ob und welche der auf dem Raster vorgegebenen Strategien während der Exploration vom Lerner im Modell benutzt wurden und wann diese aufgetreten. Dabei wird als Klassifikation zwischen fünf Strategien unterschieden: Überblicksstrategie, Säulenstrategie, Strukturstrategie, Egozentrische Strategie und Sonstiges.

Die Überblicksstrategie wird stets zu Beginn verwendet. Durch sie schaffen sich die Lerner einen Überblick. Konzentriert sich der Lerner darauf, die Säulen zu finden und benutzt dabei gezielt die beiden Ansichten, dann wird von der Anwendung der Säulenstrategie gesprochen. Im Unterschied dazu ist der Lerner bei der Strukturstrategie bemüht, sich die Struktur des Gebäudes einzuprägen und er nimmt dazu eine eingehende Untersuchung aus allozentrischer Sicht vor. Die egozentrische Strategie bezieht sich auf diejenigen Aktivitäten des Probanden, die darauf abzielen, sich durch den Avatar bestimmte Wege oder Strukturen anzueignen. Dabei werden mit dem Avatar hauptsächlich längere Wege gegangen und der Lernende bleibt auch erkennbar länger in dieser Ansicht. Zur Gruppe der sonstigen Strategien werden alle anderen Vorgehensweisen gezählt, bei denen keine klare Anwendung der obengenannten Strategien zu erkennen ist. Es ist wichtig zu wissen, dass nicht alle Strategien auftreten müssen – und sie treten auch nicht in einer bestimmten Reihenfolge auf. Nur die Überblicksphase findet immer am Anfang statt. Wurde jeweils eine Strategie des Lerners erkannt, dann wurde sie anhand einer 7-stufigen Skala (1= sehr schlecht; 7= sehr gut) qualitativ bewertet.

Die Strategiequalität des Lerners ist abhängig davon, wie systematisch er vorgeht und wie sehr er beim Auftreten eines Problems dazu in der Lage ist, dieses fokussiert und systematisch zu lösen. Die Rater hatten zudem die Möglichkeit, zu jeder beim Lerner zu beobachtenden Strategie einen Kommentar zu verfassen. Abschließend wurde dem Lerner ein Gesamtwert (eine Bewertung von 1-7) zugeteilt, der ihn als strategisch erfolgreich vs. weniger erfolgreich beurteilt (Globalbewertung). Es ist zudem zu erwähnen, dass nicht alle Lernenden während der Lernphase und in Interaktion mit dem virtuellen Modell alle oben benannten Strategien anwenden. Daraus resultieren Ungleichheiten hinsichtlich der Anzahl der Werte (n) bei den jeweiligen Strategiegruppen. Außerdem wenden die Lernenden, die unterschiedliche Strategien einsetzen, diese qualitativ nicht gleich gut an. Die Interrater-Reliabilität zwischen den beiden Beurteilern wird in Tabelle 4 präsentiert.

Tabelle 4

*Übereinstimmung zwischen zwei Ratern hinsichtlich der qualitativen Auswertung der Strategien*

	Cohen's Kappa K	ICC (3,2)
Überblicksstrategie	.35*	.83*
Säulenstrategie	.36*	.65*
Strukturstrategie	.45*	.60*
egoz. Strategie	.46*	.83*
Sonstige Strategie	.58*	-

*Anmerkung. \*p < .05*

Die Werte von Cohen's Kappa K geben die Übereinstimmung zwischen den beiden Ratern in Bezug auf die nominalskalierte Strategievariable (ob eine Strategie vorhanden ist oder nicht) an. Diese sprechen für eine akzeptable Übereinstimmung zwischen den Ratern. Die Interpretation dieser Werte beruht auf Rost (2007, S. 77) ( $K < .40$ : nicht akzeptabel,  $.40 < K \leq .60$ : ggf. noch akzeptabel,  $K > .75$ : gut). Die ICC-Werte (Intra Class Correlation) geben die quantifizierte Übereinstimmung zwischen den beiden Ratern hinsichtlich der intervallskalierten Strategievariablen an. Diese entspricht in der vorliegenden Analyse der Übereinstimmung der Qualitätsbewertung der Strategien. Die hier für die Auswertung einbezogenen Rater sind keine zufällig gewählten Beurteiler und ihre zu beurteilenden Fälle sind identisch. Um die Stabilität der Analyse zu erhöhen, wurden die Mittelwerte der Einschätzungen der beiden Rater herangezogen. Aufgrund dieser Entscheidungen ergab sich ein ICC-Typ von 3,2. Darüber hinaus wurde in SPSS eine strenge Überprüfung (unjustiertes Modell) gewählt. Durch diese Methode bleiben die Mittelwertunterschiede zwischen den Ratern als Teil der Fehlervarianz erhalten. Die Begründung für die Wahl dieser Art der Analyse basiert auf Erkenntnissen aus der Grundlagenliteratur (vgl. Shrout & Fleiss, 1979; Wirtz & Caspar, 2002). Die hochsignifikanten ICC-Werte ( $60 < ICC(3,2) > 83$ ) weisen auf eine hohe Urteilskonkordanz hin. Es zeigt sich also eine nur geringe Varianz zwischen den Ratern hinsichtlich ihrer Auswertung der Qualität der Lernerstrategien.

Es wurde außerdem ein Vergleich zwischen den Lerner-Angaben aus der Befragung und deren qualitativer Auswertung der Strategieranwendung vorgenommen. Zum Teil erscheinen die Aussagen aus dem Fragebogen plausibel. In manchen Fällen stimmen jedoch die Angaben im Fragebogen und die Vorgehensweise bei der Exploration nicht überein. Die Übereinstimmung zwischen den Fällen spiegelt die gezielte und selbstgeleitete Strategienutzung während der Exploration des virtuellen Gebäudemodells retrospektiv wider. Dahingegen können die abweichenden Fälle dadurch begründet werden, dass möglicherweise erst während der Befragung eine Reflexion über die mögliche Strategienutzung beim Lernen der räumlichen Konfigurationen stattfand. Es wird vermutet, dass die Lernenden hierbei die Möglichkeit erhalten, zu reflektieren, was sie während der Exploration besser machen könnten. Eine weitere Erklärung hierfür ist vermutlich das Problem der mangelnden Validität von retrospektiven Methoden wie zum Beispiel im Rahmen des Reflexionsfragebogens. Die durch die Befragung gewonnenen Informationen nach dem Lernprozess sind eventuell von einem Datenverlust betroffen. Außerdem ist das Problem einer Reaktivität durch ungünstige Reflexionszeitpunkte in Betracht zu ziehen.

Um die Validität der qualitativen Indizes der Strategien zu prüfen, wurde trotz geringer Anzahl an Probanden ( $n = 22$ ) mittels Varianzanalyse die Überprüfung der Auswirkung der Strategien auf das räumliche Lernen vorgenommen. Die hochsignifikanten Korrelationskoeffizienten (s. Tabelle 5) zeigen bedeutsame Zusammenhänge zwischen den qualitativen Aspekten der Nutzung von selbstgesteuerten Explorationsstrategien und den Kriterien des räumlichen Lernens auf. Es kann also angenommen werden, dass das räumliche Lernen der Konfigurationen des Gebäudes durch die Explorationsaktivitäten der Lernenden beeinflusst wird.

Tabelle 5

*Bivariate Korrelationen zwischen den qualitativen Indizes der Explorationsstrategien und den unterschiedlichen Lernkriterien des räumlichen Lernens (N = 22)*

Variablen		1	2	3	4	5	6
qualitative Indizes der Explorationsstrategien	1. Überblicksstrategie	-					
	2. Säulenstrategie	.38	-				
	3. Strukturstrategie	.03	-.32	-			
	4. Ego-Strategie	.42	-.60	.35	-		
Räumliches Lernen	5. RE	-.08	.39	-.33	-.68**	-	
	6. WB	.30	.02	-.05	.80**	-.66**	-
	7. KS	.11	-.36	.53*	.59*	-.57**	.51*

Anmerkung. \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$

Die Ergebnisse der Varianzanalysen zeigen, dass sich nicht alle Strategien aus der Gruppe der qualitativen Indizes auf das räumliche Lernen auswirken. Entgegen der Erwartung wird die Fähigkeit der Lernenden, die Richtung zu den unsichtbaren Objekten korrekt zu schätzen (Richtungsschätzung), nicht durch die qualitativen Indizes der Strategien beeinflusst. Im Gegensatz dazu und wie erwartet, wird ein signifikanter Effekt der Nutzung der egozentrischen Strategie auf die erfolgreiche Leistung der Lernenden in der Wegbeschreibung gefunden ( $F(1,12) = 5.52, p < .05, \eta^2 = .32$ ). Zudem zeigt sich ein signifikanter Effekt der Nutzung der Strukturstrategie auf die Leistung in der Kartenskizze ( $F(1,19) = 5.80, p < .05, \eta^2 = .23$ ). Dieses Ergebnis bestätigt die vorab formulierten Annahmen. Nach Cohen (1988) wird eine Effektstärke über .14 als großer Effekt interpretiert. Diese ersten Ergebnisse lassen vorläufig auf das Vorliegen von Validität der klassifizierten Strategieelemente schließen. Dies bedeutet wiederum, dass die identifizierten Strategiekomponenten bedeutsame Einflussvariablen zur Erklärung der Unterschiede im räumlichen Lernen sind und im Zuge eines Interventionsprogramms auch trainiert werden können (Vorhaben der nächsten Untersuchung, Studie II).

---

*Einfluss der inter-individuellen Unterschiede in den Personenfähigkeiten auf die Kriterien des räumlichen Lernens*

Um zu überprüfen, inwieweit die visuell-räumlichen Fähigkeiten, die selbstberichtete Orientierungskompetenz, die Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen und die Explorationsstrategien die unterschiedlichen Kriterien des räumlichen Lernens prädizieren, wurde eine Reihe multipler Regressionen berechnet, deren Ergebnisse im Folgenden separat für das jeweilige Lernkriterium präsentiert werden. Die den nachstehenden Zusammenhangsanalysen zugrundeliegenden Korrelationen (zwischen den Prädiktor- und Kriteriumsvariablen) werden in Tabelle 6 dargestellt.

Erwartungsgemäß korrelieren die Prädiktoren der visuell-räumlichen Fähigkeiten der Mustererkennung, der Perspektivenübernahme und der mentalen Rotationsfähigkeit (zwischen  $r = .41$  und  $r = .47$ ,  $p < .01$ ) einerseits, andererseits die Subskalen der Selbsteinschätzung der räumlichen Orientierungskompetenz (zwischen  $r = .33$  und  $r = .72$ ,  $p < .05$ ), sowie die Vorerfahrungen mit Computerinterfaces und -spielen ( $r = .70$ ,  $p < .01$ ) intern sehr hoch miteinander. Die Korrelationen zwischen den visuell-räumlichen Fähigkeiten und der Selbsteinschätzung der eigenen Orientierungsfähigkeit liegen auch im mittleren Bereich (zwischen  $r = .33$  und  $r = .38$ ,  $p < .05$ ). Dahingegen sind die Korrelationen zwischen diesen Variablen und den Vorerfahrungen mit Computern nicht bedeutsam. Eine negative, signifikante Korrelation ist zwischen der Fehleranzahl des mentalen Rotationstests und den Erfahrungen mit Computerspielen ( $r = -.29$ ,  $p < .05$ ) festzustellen. Zwischen den Personenvariablen und den quantitativen Indizes der Nutzung interaktiver Kontrollmöglichkeiten sind keine bedeutsamen Korrelationen nachweisbar. Als Ausnahmen hängen zum einen die visuell-räumliche Rotationsfähigkeit mit der Häufigkeit der Nutzung der Rotationsoption ( $r = .34$ ,  $p < .05$ ) und zum anderen die visuell-räumliche Fähigkeit zur Mustererkennung mit der Häufigkeit der Nutzung der egozentrischen Perspektive ( $r = .34$ ,  $p < .05$ ) zusammen.

Tabelle 6  
Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten Prädiktorvariablen, quantitativen Indizes der Nutzung von Interaktionen und den unterschiedlichen Kriterien des räumlichen Lernens (N = 51)

Variablen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. HP	-																	
2. PT	-.41**	-																
3. MR (Zeit)	-.46**	.27	-															
4. MR (Fehler)	-.21	.47**	.11	-														
5. FRS1	-.06	-.29*	-.01	-.38**	-													
6. FRS2	-.05	-.35*	.01	-.33*	.72**	-												
7. FRS3	-.01	.03	.12	-.20	.30*	.35*	-											
8. PC-Nutzung	-.11	-.16	-.06	-.25	.15	.20	-.10	-										
9. PC-Spiel	.08	-.22	-.05	-.29*	.08	.17	-.15	.70**	-									
10. Kartenschieben	.24	-.14	-.10	-.12	.25	.25	.08	.05	.23	-								
11. Zoomen	.01	.16	.06	-.02	.02	-.18	.13	-.18	-.04	.04	-							
12. horiz. Rotation	.24	-.02	.18	-.03	.18	.27	.22	-.10	-.06	.22	-.11	-						
13. vertik. Rotation	.10	.0	.34*	.12	-.09	.10	.08	-.21	-.16	.10	.02	.74**	-					
14. Etagenwechsel	.25	-.12	-.10	-.13	.01	-.06	.06	.05	-.11	.04	.19	.10	-.03	-				
15. Perspektivenwechsel	-.06	.02	.09	.08	.07	.04	.17	-.03	-.01	.03	-.04	-.03	-.10	-.51**	-			
16. Egoperspektive (%)	-.33*	.09	.11	.03	.07	.06	-.15	-.06	-.08	-.11	-.27	-.33*	-.18	-.62**	.41**	-		
17. RE	-.43**	.51**	.39**	.42**	-.33*	-.41*	-.13	-.27	-.36**	-.18	.14	-.20	-.09	-.09	.19	.19	-	
18. WB	.09	-.14	-.44**	-.12	.04	.10	.03	.07	.15	-.06	-.13	-.05	-.13	-.01	-.02	.33*	-.41**	-
19. KS	.25	-.31*	-.27	-.26	.14	.24	.15	.09	.06	.41**	-.04	-.01	-.03	-.17	-.23	-.16	-.37**	.24

Anmerkung. \*p < .05; \*\*p < .01;

Quantitative Indizes: allozentrisch-Kartenschieben (Pixel), allozentrisch-Zoomen (Anzahl), allozentrisch-horizontale Rotation des Modells (Winkelgrad), allozentrisch-vertikale Rotation des Modells (Winkelgrad), allozentrisch-Etagenwechsel (Anzahl), Perspektivenwechsel (Anzahl), Anteil der egozentrischen Perspektive (in Prozent).

Bivariate Korrelationen zwischen den Personenvariablen und dem Kriterium des räumlichen Lernens zeigen wie erwartet hochsignifikante Zusammenhänge bei der Fähigkeit zur Richtungsschätzung (zwischen  $r = .39$  und  $r = .51$ ,  $p < .01$ ). Die Richtungsschätzung ist ein valides und allgemein akzeptiertes Kriterium räumlichen Lernens. Hingegen sind die Korrelationen zwischen den quantitativen Indizes der Nutzung interaktiver Kontrollmöglichkeiten und den Prädiktorvariablen sowie dem Lernkriterium bis auf wenige Ausnahmen nicht bedeutsam. Nur wenige signifikante Zusammenhänge mit den Prädiktoren sind nachweisbar, ihre Korrelationen sind nicht hoch, jedoch signifikant und nur wenige der Indizes präzisieren ein Kriterium. Zu diesen zählen die Leistungen in der Wegbeschreibung und im Kartenzeichen (für Korrelationskoeffizienten, s. Tabelle 6).

Um die Zusammenhangshypothesen hinsichtlich des Einflusses von Personenvariablen auf das räumliche Lernen zu prüfen, wird zunächst untersucht, ob sich die Leistungsunterschiede in der räumlichen Richtungsschätzung durch die visuell-räumlichen Fähigkeiten, die Selbsteinschätzung der räumlichen Orientierungsfähigkeit oder die Vorerfahrungen mit Computerinterfaces beziehungsweise Computerspielen vorhersagen lassen. Daher werden diese Variablen in die Regressionsrechnung als Prädiktorvariablen eingeschlossen. Aufgrund der mittelhohen, signifikanten Korrelationen zwischen den Personenvariablen und dem Kriterium des räumlichen Lernens in der Richtungsschätzung (s. Tabelle 6) wird vermutet, dass diese Prädiktoren zusammen einen hohen Varianzanteil des überblickbasierten räumlichen Lernerfolgs aufklären können. Dahingegen werden die quantitativen Indizes der Nutzung interaktiver Möglichkeiten als potenzielle Prädiktorvariablen aus der Analyse ausgeschlossen, da diese keine bedeutsamen Zusammenhänge mit der Fähigkeit der Richtungsschätzung zeigen. Tabelle 7 veranschaulicht die acht relevanten multiplen Regressionsmodelle (M1-M8) zur Vorhersage der Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung durch die Personenvariablen. Wie bereits angedeutet, stellen diese Modelle eine explorative Vorgehensweise bei der Regressionsanalyse dar.

Tabelle 7

Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage des räumlichen Lernens zur Richtungsschätzung; standardisierte Koeffizienten (N = 51)

Prädiktorvariable	M 1 $\beta$	M 2 $\beta$	M 3 $\beta$	M 4 $\beta$	M 5 $\beta$	M 6 $\beta$	M 7 $\beta$	M 8 $\beta$
Step 1								
HP	-.18			-.22	-.20	-.18	-.22	-.28*
PT	.25			.20	.17	.23	.15	
MR (Zeit)	.23			.23	.25*	.23	.24 <sup>+</sup>	.26*
MR (Fehler)	.28*			.22	.22	.22	.15	
Step 2								
FRS1		-.07		-.20			-.08	
FRS2		-.37			-.27*		-.21	-.35**
FRS3		.02						
PC-Nutzung			-.04					
PC-Spiele			-.33			-.21	-.26	-.26*
$R^2$	.42**	.17*	.13*	.45**	.47**	.46**	.51**	.46**
$\Delta R^2$				.03	.05*	.04	.09*	

Anmerkung. <sup>+</sup> $p < .06$ ; \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ;  $R^2$ : Anteil aufgeklärter Varianz;  $\Delta R^2$ : Änderungen in  $R^2$  zu M1.

Die Modelle M1 bis M3 analysieren die Vorhersagebeiträge der Prädiktoren in ihren einzelnen Prädiktorgruppen. Daher werden zunächst die Prädiktoren der visuell-räumlichen Fähigkeiten, der räumlichen Orientierungskompetenz und der Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen jeweils getrennt in die Analyse aufgenommen (s. Modelle M1-M3). Dabei zeigen die Variablen der visuell-räumlichen Fähigkeiten allein eine Varianzaufklärung des Lernerfolgs in der Richtungsschätzung von 42% ( $F(4,50) = 8.20, p < .01$ ). Unter diesen Prädiktoren leistet allein die mentale Rotation einen signifikanten Einzelbeitrag zur Varianzaufklärung ( $\beta = .28, p < .05$ ). Aufgrund dieses Ergebnisses wird eine Kollinearität vermutet. Dies bedeutet, dass die Variablen dieser Prädiktorgruppe sich gegenseitig Varianz wegnehmen, da sie stark miteinander korrelieren (Bühner & Ziegler, 2009, S. 708). Im vorliegenden Fall wird von einer mäßigen Kollinearität ausgegangen (Konditionsindex = 18.0; zur Interpretation siehe Bühner & Ziegler, 2009, S. 716). Die Varianzerklärung des Kriteriums durch zwei andere Prädiktorgruppen, der Selbsteinschätzung eigener Orientierungskompetenz ( $R^2 = .17, p < .05$ ) und der Vorerfahrungen mit Computern ( $R^2 = .13, p < .05$ ) ist zwar nicht hoch, jedoch signifikant.

In weiteren Schritten wird die inkrementelle Aufklärung der bedeutsamen Prädiktoren, die auch eine substantielle Korrelation mit dem Kriterium zeigen, über die visuell-räumlichen Fähigkeiten hinaus überprüft. Diese werden in den Modellen M4 bis M7 dargeboten. Die Variablen werden in den Modellen M4-M6 in Einzelnen und im Modell M7 in Kombination miteinander zu der visuell-räumlichen Fähigkeiten in die Analyse aufgenommen. Durch die Hinzunahme der Prädiktoren Orientierungsfähigkeit und Erfahrungen mit Computerspielen zu den Prädiktoren der visuell-räumlichen Fähigkeiten wird eine Varianzaufklärung von insgesamt 51% ( $F(7,50) = 6.42, p < .01$ ) erreicht (s. M7, Tabelle 7). Unter diesen Prädiktoren leistet jedoch die mentale Rotation einen knapp signifikanten Einzelbeitrag zur Varianzaufklärung ( $\beta = .24, p < .06$ ). Die Änderungen in  $R^2$  werden stets im Vergleich zum Modell M1 berechnet.

Diesen Ergebnissen folgend wurde in einer weiteren Analyse eine Reduzierung der Anzahl der Prädiktoren vorgenommen. Hierzu wurden diejenigen Variablen ausgeschlossen, die aus dem zuletzt berechneten Regressionsmodell (M7) am wenigsten Vorhersagekorrelation zeigen. Dadurch sollten zunächst die Schätzprobleme, die durch den Effekt von miteinander hoch korrelierenden Prädiktoren zustande kommen, möglichst ausgeräumt werden. Außerdem soll die Effektstärke der Prädiktoren untersucht werden, die die meiste Varianz des Kriteriums aufklären und deren jeweiliger Beitrag zur Vorhersage des Kriteriums auch signifikant bleibt. Daraus ergibt sich das Modell M8 (Tabelle 7). Die Ergebnisse zeigen eine Varianzaufklärung des Lernerfolgs von 46% ( $F(4,50) = 9.78, p < .01$ ) durch insgesamt vier Variablen aus allen Prädiktorgruppen. Zusammenfassend lassen sich die Hypothesen bezüglich der Effekte der Personenvariablen der visuell-räumlichen Fähigkeiten, der Orientierungskompetenz und der Vorerfahrungen mit den Computerspielen auf das räumliche Lernen des Überblickswissens bestätigen, jedoch nicht die Hypothese hinsichtlich der quantitativen Indizes der Nutzung von Interaktionsmöglichkeiten als Explorationsstrategien.

Zur Vorhersage der Varianz in der Wegbeschreibungslleistung wurde ähnlich wie in der letzten Analyse explorativ vorgegangen, um schließlich ein Modell zu finden, welches möglichst viele Prädiktoren beinhaltet, deren Vorhersagebeiträge auch auf der Einzelebene signifikant ausfallen. In den Modellen M1-M4 (s. Tabelle 8) wird durch die einfachen Regressionen die Vorhersagekraft der Prädiktoren aus den jeweiligen Prädiktorgruppen im Einzelnen geschätzt. Die Variablen aus der Gruppe der visuell-räumlichen Fähigkeiten leisten zusammen einen signifikanten Beitrag von 23% zur Vorhersage der Leistung in der Wegbeschreibung ( $R^2 = .23$ ,  $F(4,46) = 3.35$ ,  $p < .05$ ); deren  $\beta$ -Gewichte fallen jedoch nicht signifikant aus (M1, Tabelle 8). Die Variable der quantitativen Nutzung hinsichtlich des prozentualen Anteils der Egoperspektive zeigt allein eine Varianzaufklärung des Lernerfolgs in der Wegbeschreibung von 11% ( $F(1,50) = 5.99$ ,  $p < .01$ ) (s. M4, Tabelle 8). Ihr Einzeleffekt erweist zudem ein signifikantes  $\beta$ -Gewicht auf ( $\beta = .11$  ( $p < .05$ )).

Tabelle 8

*Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage des räumlichen Lernens der Wegbeschreibung; standardisierte Koeffizienten (N = 51)*

Prädiktorvariable	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$
Step 1						
HP	-.17				-.02	
PT	-.02					
MR (Zeit)	-.51				-.45**	-.45**
MR (Fehler)	-.11					
FRS1		-.07				
FRS2		.15			.06	
FRS3		-.01				
PC-Nutzung			-.07			
PC-Spiele			.20		.15	
Egoperspektive %				.33*	.35**	.34**
$R^2$	.23*	.01	.03	.11*	.34**	.31**
$\Delta R^2$						

Anmerkung. \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ;  $R^2$ : Anteil aufgeklärter Varianz

Das nächste Modell summiert den kombinierten Vorhersagebeitrag der Prädiktoren. Daher wurden im Modell M5 (Tabelle 8) die bedeutsamen Variablen aus vier Prädiktorgruppen gemeinsam in die Analyse eingeschlossen, welche in den letzten Modellen hohe Vorhersagebeiträge aufwiesen. Die fünf Prädiktoren

können zusammen in signifikanter Weise Varianz in Höhe von 34% aufklären ( $F(5,50) = 4.69, p < .01$ ). Dabei leisten jedoch die Schnelligkeit bei der mentalen Rotationsfähigkeit und die Nutzung der Egoperspektive bei der Interaktion mit dem virtuellen Modell hoch signifikante Beiträge (Schnelligkeit der mentalen Rotationsfähigkeit:  $\beta = -.45, p < .01$ ; Nutzung der egozentrischen Perspektive:  $\beta = .35, p < .01$ ). Wie zudem ausgehend von der Korrelationsanalyse erwartet wurde ( $r = -.44, p < .01$ ;  $r = .33, p < .05$ , s. Tabelle 6), sind die Differenzen in den Leistungen der Wegbeschreibung zum größten Teil auf die individuellen Unterschiede in der mentalen Rotationsfähigkeit und auf die quantitativen Indizes der Nutzung der egozentrischen Perspektive zurückzuführen. Darauf basierend wird im Modell M6 der gemeinsame Varianzanteil der Wegbeschreibung durch die zwei Prädiktoren der mentalen Rotationsfähigkeit und der Nutzung der egozentrischen Perspektive untersucht. Die beiden Prädiktoren tragen 31% zur Vorhersage bei ( $F(2,50) = 10.95, p < .01$ ) (M6, Tabelle 8). Damit lassen sich die generierten Hypothesen bezüglich der Effekte der inter-individuellen Unterschiede in den Personeneigenschaften sowie in der strategischen Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten zum Teil bestätigen. Die inter-individuellen Differenzen in den Leistungen der Wegbeschreibung sind auf die Schnelligkeit in der mentalen Rotation sowie durch die strategische Nutzung der Egoperspektive zurückzuführen.

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Vorhersage der Varianz in der Leistung der Kartenskizze stehen teilweise im Einklang mit den Erwartungen. Nach der Betrachtung der Korrelationen scheinen die Fähigkeit der Perspektivenübernahme ( $r = -.44, p < .01$ , s. Tabelle 6) sowie die strategische Nutzung des Kartenschiebens während der Exploration ( $r = .33, p < .05$ , s. Tabelle 6) einen signifikanten Beitrag zur Vorhersage der Leistungsunterschiede in der Kartenskizze zu leisten. Daher wurde untersucht, welchen Varianzanteil der Leistung in der Kartenskizze diese Prädiktoren zusammen erklären können. Der Vorhersagebeitrag der beiden Prädiktoren zusammen beträgt 24% ( $F(2,50) = 7.43, p < .01$ ). Dabei leisten sie im Einzelnen ebenfalls hoch signifikante Beiträge (Perspektivenübernahme:  $\beta = -.26, p < .05$ ; Kartenschieben:  $\beta = .38, p < .01$ ).

---

*Analyse des mediierenden Effekts der Personenfähigkeiten beim Einfluss des Geschlechts auf die Kriterien des räumlichen Lernens*

Bei der Überprüfung der Mediationshypothese hinsichtlich des Einflusses vom Geschlecht auf die räumlichen Lernkriterien wurde nach den im Kapitel 4.3.4 erläuterten Schritten vorgegangen. Die jeweiligen Ergebnisse (Regressionsmodelle) werden überwiegend in tabellarischer Form präsentiert. Eine graphische Darstellung erfolgt lediglich zum Schluss und zum Zwecke einer übersichtlichen Präsentation der Mediationseffekte. Zunächst wurde überprüft, ob das Geschlecht der Lernenden ihre Leistung beim Wissenserwerb der Gebäudestrukturen vorhersagen kann. Es zeigen sich minimale, jedoch (marginal) signifikante Geschlechtereffekte zugunsten der Männer in ihrer räumlichen Leistung der Richtungsschätzung ( $F(1,49) = 3.84, p = .06$ ) sowie in der Kartenskizze ( $F(1,49) = 4.74, p < .05$ ). Es scheinen weniger Fehler bei der Schätzung der Richtungen zu unsichtbaren Orten in virtueller Umgebung von Männern ( $M = 75.46, SD = 39.74$ ) gemacht zu werden, als von Frauen ( $M = 94.31, SD = 25.72$ ). Männer zeichnen bessere Karte von der Umgebung ( $M = 4.64, SD = 2.61$ ), als Frauen ( $M = 3.33, SD = 1.40$ ). In der räumlichen Leistung hinsichtlich der Beschreibung der Route zeigt das Geschlecht hingegen keinen signifikanten Effekt ( $F(1,49) = .52, n.s.$ ) (s. Modelle 1-3, Tabelle 9). Diese Ergebnisse sind durchaus konsistent mit den Befunden aus der Literatur. Die Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen könnten allerdings durch die Unterschiede in ihren Personenfähigkeiten erklärt werden.

Tabelle 9

*Prüfung des Geschlechtereffekts auf die Kriterien des räumlichen Lernens*

Modell 1: $F(1,49) = 3.84; p = .06; R^2 = .07$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Richtungsschätzung	Geschlecht	-18.84	9.62	-.27	1.96	.06
Modell 2: $F(1,49) = .52; p > .05; R^2 = .01$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Wegbeschreibung	Geschlecht	5.20	7.19	.10	.72	.47
Modell 3: $F(1,49) = 4.74; p < .05; R^2 = .09$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Kartenskizze	Geschlecht	1.32	.61	.30	2.18	.03

In einem weiteren Schritt wurde daher der erwartete Geschlechtereffekt in den Personenvariablen überprüft. Es zeigen sich in der Tat signifikante Geschlechterunterschiede in einigen der Personenfähigkeiten. Die jeweiligen Ergebnisse aus den Regressionen werden in Tabelle 10 präsentiert. Signifikante Geschlechtereffekte zeigen sich bei der visuell-räumlichen Fähigkeit des Perspektivenwechsels ( $F(1,49) = 7.05, p = .01$ ) und hinsichtlich der selbstberichteten räumlichen Orientierungskompetenz (FRS1:  $F(1,49) = 7.65, p < .01$ ; FRS2:  $F(1,49) = 13.54, p < .01$ ; FRS3:  $F(1,49) = 3.65, p = .06$ ). Diese Effekte fallen zugunsten der Männer aus. Männer machen weniger Schätzfehler beim Test des räumlichen Perspektivenwechsels ( $M = 24.67, SD = 16.84$ ) als Frauen ( $M = 44.14, SD = 34.14$ ). Die Regressionsanalysen über die Geschlechtereffekte bezüglich der visuell-räumlichen Fähigkeit der Mustererkennung ( $F(1,49) = 2.77, n.s.$ ), der mentalen Rotationsfähigkeit ( $F(1,49) = .34, n.s.$ ) sowie der Vorerfahrungen mit Computerspielen ( $F(1,49) = 1.95, n.s.$ ) stellen sich hingegen als statistisch nicht signifikant heraus.

Tabelle 10  
*Prüfung der Personenvariablen auf ihre Mediatorfunktion*

Modell 4: $F(1,49) = 2.77; p > .05; R^2 = .05$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
HP	Geschlecht	11.00	6.61	.23	1.66	.10
Modell 5: $F(1,49) = 7.05; p < .05; R^2 = .13$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
PT	Geschlecht	-19.47	7.34	-.36	-2.66	.01
Modell 6: $F(1,49) = .34; p > .05; R^2 = .01$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
MR (Zeit)	Geschlecht	-211.19	364.67	-.08	-.58	.57
Modell 7: $F(1,49) = 7.65; p < .05; R^2 = .14$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
FRS1	Geschlecht	.92	.33	.37	2.77	.01
Modell 8: $F(1,49) = 13.54; p < .05; R^2 = .22$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
FRS2	Geschlecht	1.32	.36	.47	3.68	.01
Modell 9: $F(1,49) = 1.95; p > .05; R^2 = .04$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
PC-Spiel	Geschlecht	.50	1.79	.20	1.40	.17

In einem nächsten Schritt wurden die statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den potenziellen Mediator-Variablen (Personenfähigkeiten) und den Kriterien des räumlichen Lernens geprüft. Hierfür wurden ebenfalls Regressionen gerechnet, deren Ergebnisse in den Tabellen 11 und 12 zu finden sind. In diesen Analysen wurden jedoch nicht alle Personenbeziehungsweise Kriteriumsvariablen eingeschlossen, sondern lediglich diejenigen Variablen, welche signifikante Zusammenhänge mit dem Geschlecht zeigen. Auf Grundlage der bereits dargestellten Regressionsergebnisse (s. Modelle 1-3, Tabelle 9 und Modelle 4-9, Tabelle 10) werden daher die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels, sowie die selbstberichtete global-egozentrische und überblickbasierte Orientierungsfähigkeit als Personenvariablen eingeschlossen; als Kriteriumsvariablen wurden lediglich die Richtungsschätzung und die Kartenskizze in die Analyse aufgenommen. Dahingegen wurden alle

anderen Variablen aus der Analyse ausgeschlossen. Die Analysen weisen durchgehend keine statistisch signifikanten Ergebnisse auf. Die Leistung der Lernenden bei der Aufgabe der Richtungsschätzung wird durch ihre visuell-räumliche Fähigkeit hinsichtlich des Perspektivenwechsels sowie durch ihre selbstberichtete globale und überblickbasierte Orientierungsfähigkeit (s. Modelle 10-12, Tabelle 11) vorhergesagt, dahingegen wird die Leistung bei der Kartenskizze lediglich durch ihre Fähigkeit zum Perspektivenwechsel (s. Modelle 13-15, Tabelle 12) prädiziert.

Tabelle 11

*Prüfung des Zusammenhangs zwischen den Personenvariablen und Kriterien des räumlichen Lernens*

Modell 10: $F(1,49) = 16.76; p < .05; R^2 = .26$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
RE	PT	.64	.16	.51	4.09	.00
Modell 11: $F(1,49) = 5.97; p < .05; R^2 = .11$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
RE	FRS1	-9.19	3.76	-.33	-2.44	.02
Modell 12: $F(1,49) = 9.90; p < .05; R^2 = .17$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
RE	FRS2	-10.07	3.20	-.41	-3.15	.00

Tabelle 12

*Prüfung des Zusammenhangs zwischen den Personenvariablen und Kriterien des räumlichen Lernens*

Modell 13: $F(1,49) = 5.33; p < .05; R^2 = .10$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
KS	PT	-.03	.01	-.31	-2.40	.03
Modell 14: $F(1,49) = 1.03; p > .05; R^2 = .02$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
KS	FRS1	.25	.25	.14	1.01	.32
Modell 15: $F(1,49) = 2.90; p > .05; R^2 = .06$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
KS	FRS2	.37	.22	.24	1.70	.10

Nach der Prüfung der zentralen Voraussetzungen zur Berechnung einer Mediationsanalyse wurde in einem weiteren Schritt überprüft, ob der Zusammenhang zwischen dem Prädiktor und dem Kriterium durch den Mediator herbeigeführt wird. Aufgrund der bereits dargestellten Ergebnisse des direkten Effekts zwischen Prädiktor und Kriterium werden lediglich die Richtungsschätzung und Kartenskizze als Kriterien des räumlichen Lernens in die Analyse aufgenommen. Dementsprechend wird das räumliche Kriterium der Leistung in der Wegbeschreibung aus der Analyse ausgeschlossen. Allerdings wurden auch nicht sämtliche Personenvariablen als potenzielle Mediatoren einbezogen. Es wurden lediglich diejenigen Variablen in die Analyse eingeschlossen, die hinsichtlich der Prüfung ihrer Mediatorfunktion signifikante Zusammenhänge mit dem Geschlecht und den Kriterien des räumlichen Lernens aufweisen. Daher wurde für das jeweilige Kriterium des räumlichen Lernens, d.h. die Leistung in der Richtungsschätzung beziehungsweise in der Kartenskizze, ein multiples Regressionsmodell berechnet, dessen Ergebnisse in Tabelle 13 dargestellt werden.

Tabelle 13

*Mediationsanalyse zur Vorhersage des räumlichen Lernens hinsichtlich der Richtungsschätzung und Kartenskizze durch Geschlecht (Prädiktor) und Personenfähigkeiten (Mediatoren); standardisierte Koeffizienten*

Modell 1: $F(4,46) = 5.34; p < .01; R^2 = .32$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
RE	Sex	.06	9.90	.0	.01	.99
	PT	.52	.17	.41	3.06	.00
	FRS1	-1.24	4.92	-.04	-.25	.80
	FRS2	-5.74	4.60	-.23	-1.25	.22
Modell 2: $F(2,48) = 3.83; p < .05; R^2 = .14$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
KS	Sex	.94	.64	.21	1.48	.14
	PT	-.02	.01	-.24	-1.66	.10

Modell 1 repräsentiert den Zusammenhang des Geschlechts, der Fähigkeit des Perspektivenwechsels, der globalen und der allozentrischen Orientierungsstrategie mit dem Lernerfolg in der Richtungsschätzung. Hierfür wurden der Prädiktor und die drei Mediatoren gleichzeitig in die Regressionsberechnung aufgenommen (multiple Mediation). Modell 2

veranschaulicht die mediierende Funktion der Fähigkeit des Perspektivenwechsels auf den Geschlechtereffekt in der Leistung der Kartenskizze. Hierbei wird von einfacher Mediation gesprochen.

Beide herangezogenen Regressionsmodelle zur Untersuchung der Frage, ob die Personenvariablen den Geschlechtereinfluss auf die Kriterien des räumlichen Lernens medieren, erweisen sich als statistisch signifikant (vgl. Modelle 1 & 2, Tabelle 13). Die Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung können durch das Geschlecht gemeinsam mit den Personenvariablen des Perspektivenwechsels sowie der global-egozentrischen und überblickbasierten Orientierungsfähigkeiten ( $F(4,46) = 5.34, p < .01; R^2 = .32$ ) erklärt werden. Das Geschlecht und die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels können zudem gemeinsam die Leistungsunterschiede in der Kartenskizze vorhersagen ( $F(2,48) = 3.83, p < .05; R^2 = .14$ ).

Von entscheidender Bedeutung ist jedoch die Überprüfung, ob tatsächlich ein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf die Kriterien des räumlichen Lernens besteht, der durch Personenfähigkeiten vermittelt wird; d.h. ob eine Mediation vorliegt. In weiterführenden Analysen wird daher untersucht, ob bei der simultanen Eingabe der Personenvariablen (Mediatoren) und dem Geschlecht (Prädiktor) in die Regressionsanalyse das  $\beta$ -Gewicht des Mediators signifikant bleibt, während das  $\beta$ -Gewicht des Prädiktors keine Signifikanz mehr aufweist. Bei einer vollständigen Mediation wird der Zusammenhang zwischen Geschlecht und Kriterium des räumlichen Lernens ausschließlich durch Personenvariablen vermittelt, das  $\beta$ -Gewicht des Geschlechts nimmt sozusagen einen Wert von Null an. Jedoch weist das Geschlecht bei einer partiellen Mediation noch eine bedeutsame (Rest-) Wirkung auf das räumliche Lernen auf. Dies bedeutet, dass nach der Kontrolle des Mediators das  $\beta$ -Gewicht des Geschlechts zwar abnimmt, aber (trotz der signifikanten  $\beta$ -Gewichte der Personenvariablen) dennoch signifikant bleibt.

Die graphische Abbildung 5 verdeutlicht zusammenfassend die durchgeführten Mediationsanalysen. Dabei erfolgt die Darstellung im Einklang mit der Struktur von Abbildung 4. Die angegebenen Werte vor dem Querstrich repräsentieren die  $\beta$ -Gewichte aus den Regressionen vor der Kontrolle des Mediators. Die Werte nach dem Querstrich stellen hingegen die Ergebnisse der Regressionen dar, in denen Prädiktor und Mediatoren simultan in die Analyse aufgenommen wurden. Die

letzteren sind für die Prüfung des indirekten Pfads (d.h. der indirekten Wirkung) vom Geschlecht auf die Personenfähigkeiten und von diesen auf das räumliche Lernen ausschlaggebend.

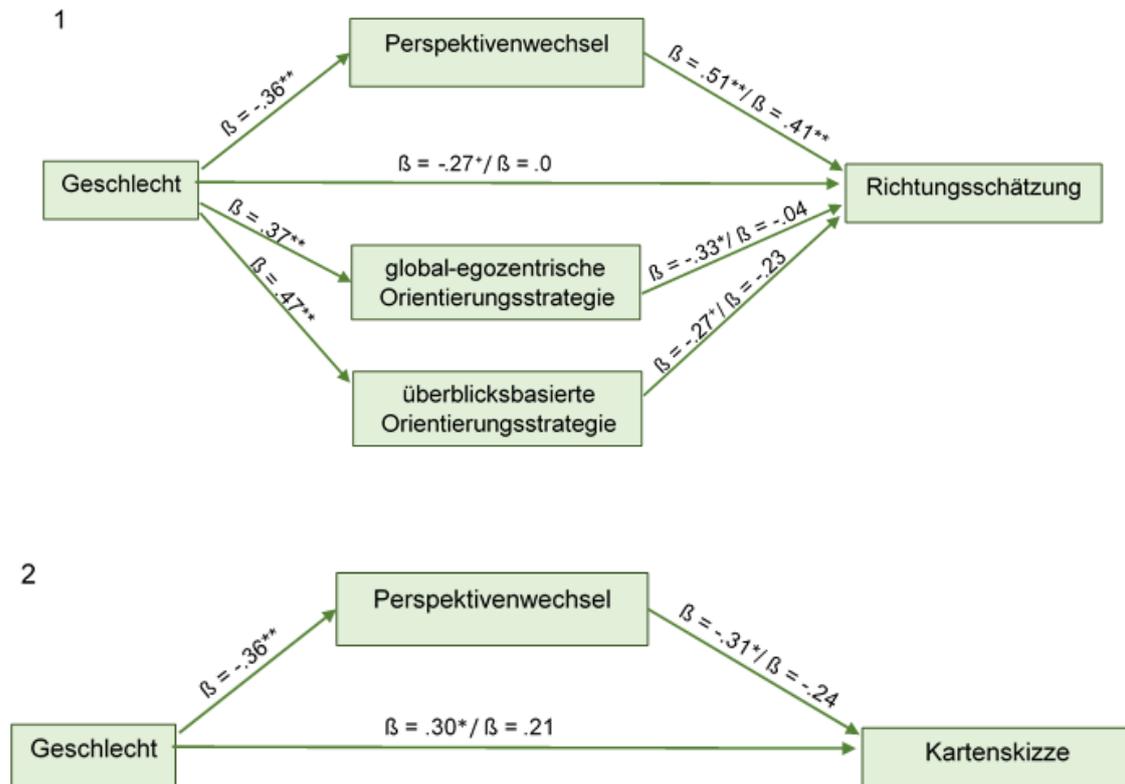


Abbildung 5. Graphische Darstellung der Regressionsmodelle in der Mediationsanalyse (\* $p \leq .06$ ; \*\* $p \leq .05$ ; \*\*\* $p \leq .01$ ; \*\*\*\* $p \leq .001$ )

Nach der Kontrolle der Personenvariablen hinsichtlich des Perspektivenwechsels, der global-egozentrischen und überblicksbasierten Orientierungsfähigkeiten zur Vorhersage der Leistung in der Richtungsschätzung erzielt das  $\beta$ -Gewicht des Geschlechts (Prädiktor) keine Signifikanz mehr und nimmt den Wert Null an (vgl. Modell 1, Tabelle 13). Dies besagt, dass der Geschlechtereffekt auf die räumliche Leistung der Richtungsschätzung ausschließlich durch Mediatoren vermittelt wird (vollständige Mediation). Die Überprüfung des indirekten Effekts des Prädiktors durch Mediatoren auf das Kriterium der Richtungsschätzung erfolgt mittels Bootstrap-Tests. Die Ergebnisse zeigen, dass nur der indirekte Effekt der visuell-räumlichen Fähigkeit des Perspektivenwechsels (BootLLCI= -20.6439/BootULCI= -.0289; mit geschätzter

Stärke von 4.3393) signifikant ausfällt. Die zwei weiteren Mediatoren der global-egozentrischen (BootLLCI= -9.6649/BootULCI= 7.0908) beziehungsweise überblickbasierten Orientierungsstrategien (BootLLCI= -21.4615/BootULCI= .8318) weisen hingegen Konfidenzintervalle auf, die die Null einschließen, daher unterscheiden sie sich nicht signifikant von Null. Dies bedeutet, dass das Geschlecht der Personen zwar ihre Leistungsunterschiede beim räumlichen Wissenserwerb in der Richtungsschätzung erklären kann, jedoch indirekt und nur durch die visuell.-räumliche Fähigkeit hinsichtlich des Perspektivenwechsels.

Zur Überprüfung der durch Personenfähigkeiten medierte Geschlechterunterschiede in der Leistung der Kartenskizze wurde lediglich die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels als Mediator geprüft (einfache Mediatoranalyse) (s. Modell 2, Abbildung 5). Mit der Hinzunahme des potenziellen Mediators des Perspektivenwechsels zum Prädiktor Geschlecht in das Regressionsmodell nahm das  $\beta$ -Gewicht des Prädiktors ab und wird nicht mehr signifikant. Unerwarteter Weise wies das  $\beta$ -Gewicht des Mediators zudem keine Signifikanz mehr auf. Das Bootstrap-Ergebnis zeigt jedoch einen signifikanten indirekten Pfad (signifikanter Produktterm von Prädiktor\*Mediator) zwischen dem Geschlecht und dem räumlichen Wissenserwerb der Kartenskizze durch die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels (BootLLCI= .1092/BootULCI= .8803). Nach MacKinnon (2008) wird in diesem Fall von einem Mediationseffekt ausgegangen, da der indirekte Pfad eine Signifikanz aufweist, obwohl das  $\beta$ -Gewicht des Mediators nach der Kontrolle nicht signifikant ausfällt. Aufgrund dieses Ergebnisses lässt sich daher ableiten, dass die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels den Geschlechtereffekt auf das räumliche Lernen in der Kartenskizze vermittelt.

#### 4.4 Diskussion

Das erste Ziel dieser Untersuchung war eine Klassifikation des strategischen Explorationsverhaltens der Lernenden während der Interaktion mit der virtuellen Lernumgebung, die so viele Elemente des strategischen Verhaltens der Lernenden wie möglich abbildet. Dabei wurden drei Methoden zur Erfassung eingesetzt: Logfiles, Screen-Aufnahmen und Reflexionsfragebogen. Dadurch ergaben sich zwei unterschiedliche Gruppen der Strategieelemente. Die erste Gruppe beinhaltet die Häufigkeitsindizes, welche die quantitativen Elemente der Nutzung interaktiver Steuerungsmöglichkeiten abbilden; die zweite Gruppe beinhaltet die qualitativen Indizes des strategischen Explorationsverhaltens. Die Ergebnisse zeigen, dass die Häufigkeitsindizes (quantitative Elemente des Strategieverhaltens) nicht direkt als Indikatoren für strategische Vorgehensweisen herangezogen werden können. Diese zeigen mit wenigen Ausnahmen keine bedeutenden Korrelationen mit den Komponenten des Lernerfolgs. Die Strategien sind zu komplex und zu unterschiedlich, um sie mit den bislang vorliegenden Protokollierungsmöglichkeiten der Software abbilden zu können.

Vor diesem Hintergrund und mit dem Ziel, eine Systematik im strategischen Explorationsverhalten der Lernenden zu finden, wurde dann eine qualitative Analyse der aufgezeichneten Videos vorgenommen. Um eine Klassifikation der unterschiedlichen Explorationsstrategien zu erzielen, wurden die Videos aller Probanden analysiert. Aus den daraus ermittelten Daten konnten vier Strategien, die Überblicksstrategie, die Säulenstrategie, die Strukturstrategie und die Egozentrische Strategie, identifiziert werden. Eine letzte Klasse schließt die sonstigen Vorgehensweisen der Lernenden ein. In einem weiteren Schritt wurden allerdings nur die Videos der erfolgreichen und weniger erfolgreichen Lerner herangezogen. Diese Methode lässt sich als ökonomische Herangehensweise rechtfertigen. Außerdem wird dadurch das Ziel verfolgt, gezielt weiterführende Blicke in das möglicherweise sehr systematische Strategieverhalten der erfolgreich Lernenden zu werfen. Diesem sollte dann das Strategieverhalten der weniger erfolgreich Lernenden gegenübergestellt werden. In den Resultaten zu diesem Vergleich wurden deutliche qualitative Differenzen erwartet.

Die Ergebnisse der qualitativen Analyse zeigen wie erwartet, dass sich die guten von den weniger guten Lernenden in mancher Hinsicht unterscheiden. Diese Unterschiede zeigen sich vor allem hinsichtlich der Strategien zur Exploration des Gebäudes und des Erwerbs konfigurativer Informationen über das Gebäude (z.B. bezüglich Zielsetzung und Planung, systematischer Vorgehensweise, intentionalem Perspektivenwechsel). Außerdem konnte festgestellt werden, dass nicht alle erfolgreichen Lerner alle der erwähnten Strategien anwenden. Aus den über Videoanalysen ermittelten und qualitativ beschriebenen Strategieelementen guter Lernender kann demzufolge eine gute Strategie zur Bewältigung des gestellten räumlichen Problems abgeleitet werden. Diese enthält kognitive Elemente (d.h. Aktivitäten, die direkt zum besseren Verständnis der räumlichen Struktur führen) und metakognitive Elemente (d.h. Aktivitäten, die der Planung und Überwachung des Lernens dienen). Ein Beispiel für ein kognitives Element ist das Suchen einer Säule aus der allozentrischen Perspektive und das darauffolgende Erkunden der näheren Umgebung der Säule in der egozentrischen Perspektive. Beispiele für metakognitive Elemente sind das planvolle Abarbeiten der Stockwerke in einer bestimmten Reihenfolge, das Prüfen, ob dabei alle Säulen entdeckt wurden, und das Abbrechen der näheren Erkundung aus der egozentrischen Perspektive, falls Orientierungslosigkeit bezüglich der Position des Avatars im Gebäude eintritt. Im Allgemeinen stellte sich heraus, dass es bei der strategischen Vorgehensweise große inter- und intra-individuelle Unterschiede gibt. In gleichen und/oder verschiedenen Situationen verwenden die Lerner unterschiedliche Strategien. Ein Lerner verwendet in denselben Situationen nicht ausschließlich eine einzige Strategie. Diese Variabilität erschwert eine valide Identifikation der Strategien und deren qualitative Bewertung.

Trotz der geringen Anzahl an Probanden, deren Daten über die qualitative Strategienutzung in die Auswertung einbezogen wurden, wurde eine Analyse der Varianz in der Strategiequalität auf die Unterschiede in der Leistung des räumlichen Lernens durchgeführt. Die Ergebnisse entsprechen zum Teil der Hypothese. In dieser wurde von signifikanten Effekten der Varianz in der Strategiequalität auf die Leistungsunterschiede beim Erwerb der räumlichen Strukturen ausgegangen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Personen, die zur Exploration des Gebäudes die relevanten Strecken mittels eines Avatars abliefen,

in der räumlichen Anforderungen der Routenbeschreibung besser abschnitten. Sie können durch die Nutzung des Avatars, die auf der egozentrischen Perspektive basiert, die räumlichen Informationen erwerben, die für die Bewältigung dieser Art von räumlichen Anforderungen notwendig sind. Dieses Ergebnis bestätigt zudem die getroffene Annahme, dass der qualitative Aspekt der Nutzung einer Strategie, welche auf der egozentrischen Perspektive basiert, den Erwerb der räumlichen Informationen unterstützt, die zur Erledigung von Routenbeschreibungsaufgaben erforderlich sind. Bei der Abarbeitung der Kartenskizzenaufgaben wurden zudem Hypothesen bestätigende Ergebnisse erzielt. Hierbei stellte sich der qualitative Aspekt der Nutzung der Strukturstrategie als ein bedeutsamer Faktor für die individuellen Leistungsunterschiede in der Kartenskizze heraus. Entgegen der Annahme scheinen allerdings die qualitativen Indizes der Explorationsstrategien kein bedeutsamer Prädiktor der Leistungsunterschiede der Lernenden in der Richtungsschätzung zu sein. Weder egozentrisch-basierte noch überblickbasierte Strategien aus der Gruppe der qualitativen Indizes zeigen einen signifikanten Effekt auf den räumlichen Wissenserwerb der Richtungsschätzung.

Das weitere Ziel der vorliegenden Studie war es herauszufinden, ob und inwiefern Personeneigenschaften (visuell-räumliche Fähigkeiten, Selbsteinschätzungen zu Orientierungskompetenz und Vorerfahrungen mit Computerspielen) sowie die Explorationsstrategien den Lernerfolg bei freier Exploration eines virtuellen Gebäudemodells vorhersagen. In Anlehnung an zahlreiche Studien (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty & Waller, 2004 & 2005; Hegarty et al., 2006; Kozhevnikov et al., 2001, Moffat et al., 1998; Waller 1999 & 2000), welche die visuell-räumlichen Fähigkeiten als notwendige Voraussetzung für das räumliche Lernen durch dynamische und interaktive Visualisierungen nachweisen, wurden diese Variablen in die Regressionsanalyse eingeschlossen.

Die Ergebnisse der multiplen Regression zeigen, dass die jeweiligen Variablen aus den Prädiktorgruppen Einfluss auf die Leistungsmaße haben, insbesondere auf die Leistung in der Richtungsschätzung. Ein bedeutender Anteil der Varianz des Kriteriums Richtungseinschätzung (46%) wird durch die inter-individuellen Unterschiede in den Personenvariablen aufgeklärt. Dies bedeutet, dass die Lernleistung der Probanden in der Richtungsschätzung sowohl durch ihre visuell-räumliche Fähigkeit zur Mustererkennung als auch durch ihre Schnelligkeit bei der

mentalen Rotation durch die eingeschätzten überblickbasierten Orientierungsstrategien und durch ihre Erfahrungen mit Computerspielen vorhergesagt werden kann. Trotz hoher Interkorrelationen zwischen diesen Bereichen der Personenfähigkeiten leisten diese Variablen eigene Vorhersagebeiträge zur Erklärung des Kriteriums der Richtungsschätzung. Die Hypothese bezüglich der Effekte der individuellen Personeneigenschaften auf das räumliche Lernen wird somit bestätigt. Bei der Hypothesenprüfung erwiesen sich die quantitativen Indizes der Strategien jedoch nicht als valide Prädiktoren des Lernerfolgs. Der räumliche Lernerfolg der Probanden geht nicht mit den (durch Protokollierung messbaren) Strategien bezüglich der quantitativen Nutzung interaktiver Möglichkeiten in einer virtuellen Umgebung einher. Die diesbezüglich formulierte Hypothese lässt sich daher nicht bestätigen.

Die Resultate hinsichtlich der Varianzerklärung der Leistung in der Wegbeschreibung und der Kartenskizze zeigen ein anderes Bild, welches den Erwartungen nicht vollständig entspricht. Es wurde angenommen, dass die visuell-räumlichen Fähigkeiten, die Einschätzung der global-egozentrischen Orientierungsstrategie und die Vorerfahrungen mit Computerspielen einen großen Varianzanteil der räumlichen Leistung der Probanden, ein vorgegebene Route zu beschreiben, erklären. Die erfolgreiche Wegbeschreibung der Lernenden wird zum großen Teil (31%) durch ihre Schnelligkeit bei der mentalen Rotation und das Ausmaß der quantitativen Nutzung der Egoperspektive bei der Exploration vorhergesagt. Die Selbsteinschätzung der eigenen Orientierungsstrategien sowie die Vorerfahrungen mit Computerspielen scheinen hingegen keinen Einfluss auf die erfolgreiche Wegbeschreibung der Lernenden zu haben. Diese Variablen können auch die Leistung in der Kartenskizze nicht präzisieren. Die Leistung der Lernenden in der Kartenskizze kann nur durch ihre visuell-räumliche Fähigkeit zur Perspektivenübernahme und durch das Ausmaß der Nutzung des Kartenschiebens im virtuellen Gebäude erklärt werden. Die Ergebnisse bestätigen daher nur zum Teil die Hypothesen. Nicht alle Personeneigenschaften sind starke Prädiktoren der Leistungsdifferenzen in den räumlichen Anforderungen der Wegbeschreibung und der Kartenskizze.

---

Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse wäre der Schwierigkeitsgrad dieser beiden Aufgaben. Diese sind vermutlich derart schwierig, dass sie von vielen (zumindest von manchen) Lernenden nicht angemessen bewältigt werden konnten. Eine Überprüfung des Schwierigkeitsgrads dieser Aufgaben ist daher überlegenswert. Signifikante Effektstärken werden möglicherweise durch die Aufgaben mit mittlerer Schwierigkeit abgesichert. Auch eine Prüfung der Reliabilität der Tests kann in Betracht gezogen werden. Es könnte untersucht werden, ob und ggf. wie zuverlässig die abhängigen Variablen die Merkmale des räumlichen Lernens erfassen, die zum Erwerb der topologischen und metrischen Informationen der Konfiguration erforderlich sind.

Schließlich war es Ziel der Studie, herauszufinden, ob sich die Geschlechter hinsichtlich ihrer Leistung beim Lernen der räumlichen Struktureigenschaften des Gebäudes signifikant unterscheiden und ob diese Geschlechterunterschiede durch die Personenfähigkeiten vermittelt werden. Auf Grundlage empirischer Arbeiten wurde hierbei angenommen, dass nicht das Geschlecht direkt, sondern die Unterschiede zwischen den Geschlechtern hinsichtlich ihrer visuell-räumlichen Fähigkeiten, ihrer Orientierungsstrategien sowie ihrer Vorerfahrungen mit Computerinterfaces die räumliche Leistung der Lernenden beeinflussen. Wie erwartet zeigen sich in dieser Studie signifikante Geschlechterunterschiede, allerdings nicht in allen Kriterien des räumlichen Lernens. Die Differenzen erweisen sich in den Leistungen der Richtungsschätzung und Kartenskizze als bedeutsam. Die Leistungen bei diesen räumlichen Aufgaben bilden die überblickbasierte mentale Repräsentation der räumlichen Strukturen des virtuellen Gebäudes ab. Es scheint dagegen bei der egozentrischen mentalen Repräsentation der Umgebung hinsichtlich der Wegbeschreibung keinen Geschlechterunterschied zu geben.

Auch die diesbezüglich abgeleitete Mediationshypothese lässt sich teilweise bestätigen. Die Ergebnisse aus der Analyse von vermittelnden Effekten der Personenvariablen auf die geschlechtsspezifischen Effekte in den räumlichen Leistungen bestätigen die Hypothesen nicht ganz. Es zeigen sich nicht für alle der untersuchten Personenvariablen mediierende Effekte bei der Erklärung der Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen in den räumlichen Aufgaben der Richtungsschätzung und in der Kartenskizze. Als bedeutender Mediator des Vorhersageeffekts vom Geschlecht auf die räumliche Leistung kann

lediglich die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels bezeichnet werden, und zwar für beide Arten des überblickbasierten räumlichen Wissens. Die weiteren analysierten Mediatorvariablen weisen hingegen keine Signifikanz auf. Daher lässt sich die Annahme, dass die Differenzen zwischen den Männern und Frauen hinsichtlich ihrer selbstberichteten Orientierungsfähigkeiten (basierend auf global-egozentrischen und überblickbasierten Strategien) ihre räumliche Leistung beeinflussen, nicht bestätigen. Zudem finden sich keine Belege für die Annahme, dass die Geschlechterunterschiede in der Erfahrung mit Computerinterfaces die geschlechterbedingten Leistungsunterschiede im räumlichen Wissenserwerb erklären können.

Da das Design dieser Erhebung es nicht zulässt, die Gründe für die Unterschiede zwischen effizientem und weniger effizientem Explorationsverhalten weiter auszudifferenzieren beziehungsweise kausale Aussagen zu treffen, wurde eine weitere Studie geplant (die im Folgenden beschriebene Studie II), welche das Ziel verfolgt, verschiedene Trainingsinterventionen miteinander zu vergleichen. Hierbei sollte das Explorationsverhalten der Versuchspersonen durch eine Trainingsintervention verbessert werden. Die Trainingsinterventionen zielen darauf ab, verschiedene Faktoren, die zu einem effizienten Explorationsverhalten beitragen, zunächst isoliert zu verbessern, um anschließend ihren Einfluss besser abschätzen zu können.

## 5 Studie II

Bei dieser Studie handelt es sich um eine experimentelle Untersuchung, in der kognitive und metakognitive Strategieelemente in drei unterschiedlichen Bedingungen instruiert und trainiert wurden. Das eingesetzte Training richtet sich vor allem an Probanden mit eher gering ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten. Es wird angenommen, dass diese Personengruppe in besonderer Weise von der Intervention profitieren kann. Die Intervention wird durch den Einsatz von instruktionalen Prompts realisiert. Wie in den vorangegangenen theoretischen Grundlagen erläutert, erweisen sich Prompts als eine effektive Methode, besonders zur Unterstützung der Selbstbeteiligung am eigenen Lernprozess und zu seiner Kontrolle. In dieser Untersuchung stellen die Prompts eine instruktionale Hilfeleistung für die Lernenden dar. Diese besteht darin, dass die Lernenden auf indirekte Weise eine Anleitung über die Nutzung der effektiven Strategiekomponenten während des Umgangs mit den interaktiven Steuerungsmöglichkeiten erhalten. Den Lernenden bietet sich dadurch die Gelegenheit zu lernen, die Strategien einzuüben und sie zu regulieren.

Der Inhalt der instruktionalen Anweisungen in diesem zeitbeschränkten Trainingsprogramm stützt sich auf die Resultate der vorherigen Untersuchung. Ihre initialen Grundlagen bilden jene Strategiekomponenten, die sich in der vorangegangenen Studie als besonders wirksam erwiesen haben. Aus der Analyse der Videos von guten Lernenden wurden Strategien qualitativer Art ermittelt, welche sowohl kognitiven als auch metakognitiven Komponenten beinhalten. Diese Komponenten bilden die Ausgangspunkte für die Konzeption von instruktionalen Anweisungen, welche zudem als Lernhilfen in das Training integriert wurden. Die kognitiven Komponenten beziehen sich auf die Aktivitäten, welche direkt zum besseren Verständnis der räumlichen Struktur führen, wie zum Beispiel das Suchen einer Säule aus der allozentrischen Perspektive und das darauffolgende Erkunden der näheren Umgebung der Säule aus der egozentrischen Perspektive. Die metakognitiven Komponenten der Strategien sprechen diejenigen Aktivitäten an, die der Planung und Überwachung des Lernens dienen. Ein Beispiel dafür ist das planvolle Abarbeiten der Stockwerke in einer bestimmten Reihenfolge sowie die Überprüfung, ob dabei alle Säulen

entdeckt wurden. Abbildung 6 präsentiert die in der vorherigen Studie identifizierten Strategien erneut als Übersicht. Hierbei erfolgt keine explizite Darstellung ihrer kognitiven und metakognitiven Komponenten. Diese werden zusammen als Sub-Teile der qualitativen Aspekte der klassifizierten Strategiegruppen dargestellt.

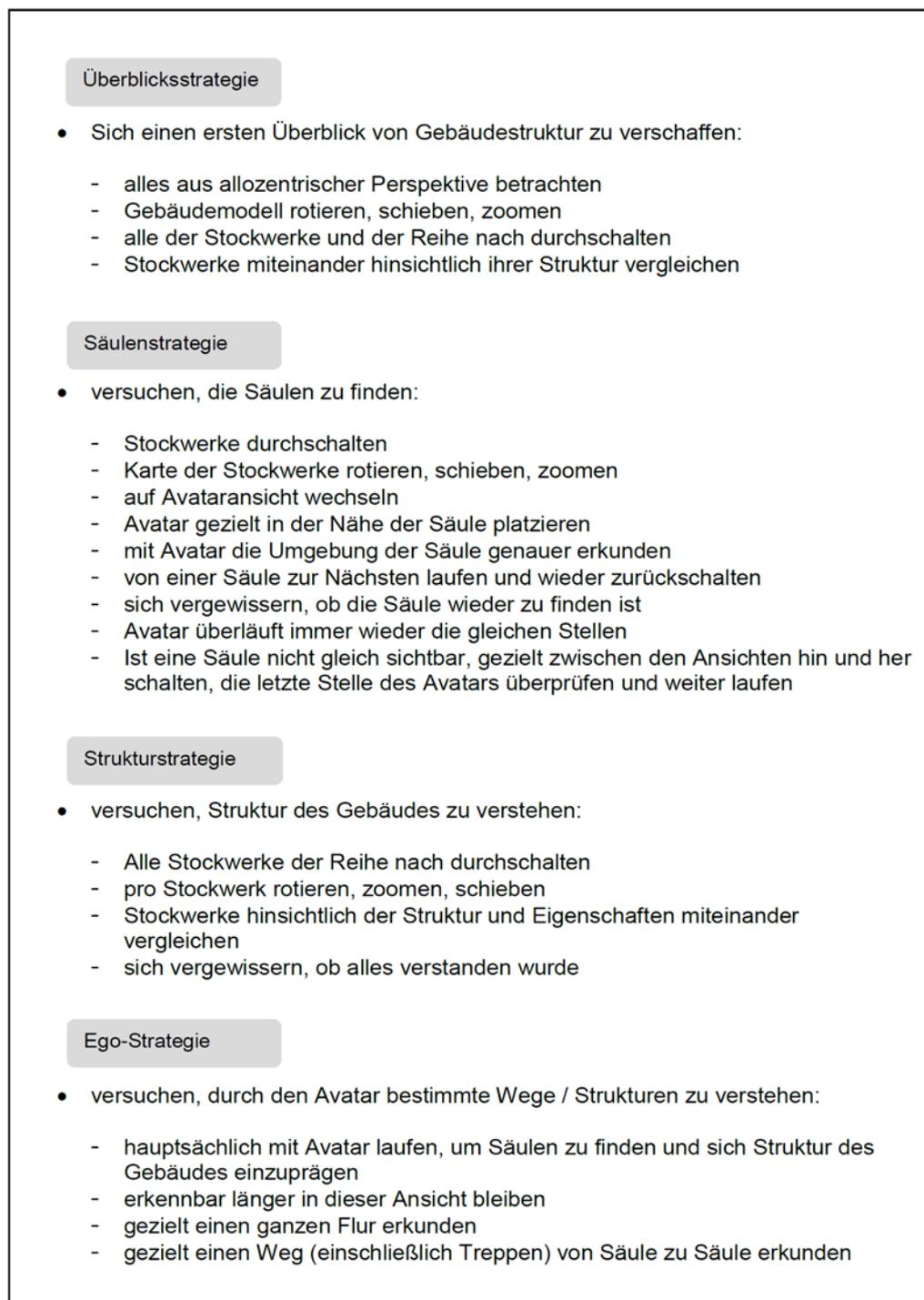


Abbildung 6. Überblick über die in Studie I identifizierten Strategiekomponenten (qualitative Indizes der Strategien)

Dieses Training wird schließlich durch Gruppenvergleiche – eine Trainingsgruppe ohne Prompts als Kontrollgruppe und zwei Trainingsgruppen mit Prompts – bezüglich seiner Wirksamkeit auf das Kriterium des räumlichen Lernens geprüft. Die erste Versuchsgruppe (T) erhält keine instruktionalen Anweisungen, kann aber genauso lange mit dem zur Verfügung gestellten virtuellen Trainingsmodell üben wie die anderen beiden Gruppen. Die zweite Versuchsgruppe (TK) erhält ein Training, das kognitive Elemente beinhaltet. Die letzte Versuchsgruppe (TKM) wird hinsichtlich kognitiver und metakognitiver Elemente trainiert. Für einen anschaulichen Überblick über die Gruppen wurde jeweils ein Abkürzungsname gewählt.

## **5.1 Ziel und Hypothesen**

Der Lernerfolg beim Erkunden eines virtuellen Gebäudemodells hängt wesentlich von den visuell-räumlichen kognitiven Fähigkeiten ab (vgl. Ergebnisse Studie I). Gute Lernende verfügen über ausgeprägte räumliche Fähigkeiten, Personen mit schlechteren räumlichen Fähigkeiten sind daher beim Lernen im Nachteil. Zudem ist die Effizienz der Explorationsstrategien für ein erfolgreiches Lernen in dynamisch-interaktiven Lernumgebungen bedeutsam. Es ist zu erwarten, dass die interaktive Kontrolle über die dynamischen Ansichten in einer räumlichen Struktur mit hohen Anforderungen an die Selbststeuerung und Selbstüberwachung einhergeht. Gute Lernende gehen hierbei zielgerichteter und strategisch besser vor. Im Gegensatz dazu scheinen die weniger guten Lerner durch dynamische Interaktionsmöglichkeiten überfordert zu sein und benutzen diese daher nicht zielführend. Jedoch sind die Strategien zu komplex und zu unterschiedlich, um sie mit den bislang vorliegenden Möglichkeiten zur Protokollierung im Programm abbilden zu können. Darüber hinaus verwenden nicht alle guten Lernenden auch alle Strategieelemente.

Die Strategieelemente bilden die Grundlage für das Kurzzeit-Interventionsprogramm der vorliegenden Untersuchung, in welchem die Probanden in ihrer Anwendung der Selbststeuerung und Selbstüberwachung durch kognitive und metakognitive Prompts instruiert beziehungsweise trainiert werden. Das Kurzzeit-Training dient durch die Anwendung von gezielt instruierten Strategiekomponenten der Beeinflussung des strategischen Explorations-

verhaltens der Lernenden. Es wird angenommen, dass der prompt-basierte Einsatz von kognitiven beziehungsweise metakognitiven Lernhilfen das strategisch-explorative Lernverhalten der Lernenden (quantitativer und qualitativer Art) während der Interaktion mit der Umgebung verbessert und dadurch eine Steigerung der Lernleistungen bewirkt. Aus diesem Grund untersucht diese Studie als erstes Ziel den Einfluss der Trainingsbedingungen auf die Kriterien des räumlichen Lernens. Hierbei wird erwartet, dass sich die Personen in den unterschiedlichen Bedingungen bezüglich ihrer Leistung im räumlichen Lernen unterscheiden. Demnach sollen die Lernenden, die durch kognitive und metakognitive Prompts unterstützt wurden, erfolgreicher lernen; d.h. sie sollten im Nachtest unmittelbar nach der Lernphase besser abschneiden als diejenigen, die nur mit kognitiven Prompts oder ganz ohne Prompts gelernt haben.

Ein weiteres Ziel der Studie ist es zu untersuchen, ob die Explorationsstrategien der Lernenden (qualitative und quantitative Indizes der Strategien) das effektive Erfassen und Verstehen der räumlichen Zusammenhänge (Lernerfolg) prädictieren und inwieweit diese durch das Training und seine Komponenten beeinflusst werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Analyse, ob die Leistungsunterschiede in den unterschiedlichen Kriterien des räumlichen Lernens auf die häufige Nutzung bestimmter Interaktionsmöglichkeiten beziehungsweise auf den qualitativen Einsatz bestimmter Strategien (Strukturstrategie, Säulenstrategie ...) zurückgehen. Hierbei wird von einem indirekten Effekt des Trainings, erzeugt über die quantitativen und qualitativen Komponenten des Explorationsverhaltens, auf die Leistungsunterschiede im räumlichen Lernen ausgegangen.

Weiterhin solle geprüft werden, ob die Prompts und/oder die Art der Lernhilfen über die kognitiven beziehungsweise metakognitiven Strategiekomponenten, die Personen mit gering ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten in die Lage versetzen, das virtuelle Gebäude zielgerichteter zu erkunden und seine räumliche Konfiguration besser zu verstehen. Trifft diese Hypothese zu, dann können die vermittelten Strategiekennnisse die gering ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten zum Teil kompensieren. Daher soll abschließend untersucht werden, inwieweit die förderliche Auswirkung der visuell-räumlichen Fähigkeiten, der Selbsteinschätzung hinsichtlich der Orientierungskompetenz und der Vorerfahrungen mit

---

Computerspielen auf das räumliche Lernen durch unterschiedliche Trainingsbedingungen moderiert wird.

Die zu untersuchenden Hypothesen dieser Studie lassen sich wie folgt ableiten:

- Lernende in den Trainingsbedingungen mit Prompts erreichen einen höheren Lernerfolg als Lernende, die nicht durch Lernhilfen unterstützt werden.
- Lernende, die sowohl durch kognitive als auch durch metakognitive Prompts unterstützt werden, erreichen einen höheren Lernerfolg als Lernende, die ausschließlich kognitive oder keine Prompts erhalten.
- Das Training mit kognitiven und metakognitiven Komponenten fördert den effektiven Einsatz von Explorationsstrategien und wirkt sich dadurch auf die Kriterien des räumlichen Lernens aus. Hierbei wird angenommen, dass die Probanden, die durch kognitive und metakognitive Prompts unterstützt wurden, quantitativ beziehungsweise qualitativ höher ausgeprägtes strategisches Lernverhalten zeigen.
- Die Personenvariablen (visuell-räumliche Fähigkeiten, Orientierungsstrategien und Vorerfahrungen mit Computerinterfaces) vermitteln den Zusammenhang zwischen dem effektiven Einsatz der Explorationsstrategien und der erfolgreichen Leistung beim räumlichen Wissenserwerb.
- Es wird eine Wechselwirkung zwischen der Trainingsbedingung und den Personenfähigkeiten auf die Kriterien des räumlichen Lernens erwartet. Bei den Lernenden in der Trainingseinheit ohne Lernhilfen fällt die Prädiktion des räumlichen Lernerfolgs durch die Personenvariablen bedeutsam beziehungsweise hoch aus. Die Vorhersagebeiträge der individuellen Prädiktoren werden jedoch geringer, wenn die Lernenden ein Training mit Lernhilfen erhalten.

## **5.2 Methoden**

### **5.2.1 Stichprobe**

An den drei Untersuchungsbedingungen der Studie nahmen insgesamt 64 Studierende der Universität des Saarlandes aus unterschiedlichen Fachrichtungen auf freiwilliger Basis teil. Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte durch Aushänge in den Seminaren und Vorlesungen, über Flugblätter auf dem Campus und durch Email-Verteiler, die für die Studierenden der Fachrichtung Lehramt an der Universität des Saarlandes existieren. Die Probanden wurden jeweils mit 20 € oder drei Versuchspersonen-Stunden (Psychologiestudierende) als Entschädigung für die Teilnahme entlohnt. Die Honorierung erfolgte in der letzten Sitzung. Die Versuchspersonengruppe setzte sich aus 28 Männern und 36 Frauen zusammen, die im Durchschnitt 24 Jahre alt waren ( $SD = 4.65$ ;  $Max = 44$ ;  $Min = 19$ ). Die Probanden wurden den verschiedenen Trainingsbedingungen randomisiert zugewiesen.

### **5.2.2 Instrumente und Materialien**

Die meisten Lern- und Testmaterialien aus der vorherigen Untersuchung (Studie I) wurden in der aktuellen Untersuchung weitgehend beibehalten. Diese beinhalteten die Instrumente zur Erfassung der Prädiktorvariablen, die virtuellen Gebäudemodelle der Übungs- beziehungsweise Lernphasen, die Instrumente und Methoden zur Erfassung der Strategiekomponenten sowie die Tests zur Überprüfung des räumlichen Lernens. Eine detaillierte Darstellung findet sich unter Punkt 4.2.2. An dieser Stelle werden nachfolgend nur die Materialien der Trainingsphase beschrieben, welche spezifisch für die aktuelle Untersuchung entworfen wurden und sich von den vorherigen Experimenten unterscheiden. Diese beinhalten die virtuelle Lernumgebung des Gebäudemodells für das Training und die Prompts zusammen mit deren jeweiligen Anleitungen und Instruktionen.

---

### *Virtuelle Lernumgebung der Trainingsphase*

Bei dem nur für die Trainingsphase genutzten virtuellen Gebäudemodell handelt es sich um die Rekonstruktion eines real existierenden Gebäudes, dem Informatikgebäude an der Lancaster University. Dieses wurde durch die Modellierungssoftware YAMAMOTO virtuell entworfen. Darin wurden den Versuchspersonen identische Optionen zur Interaktion mit dem virtuellen Gebäudemodell bereitgestellt, wie es auch in den Übungs- und Lernphasen. Ein dreidimensionaler Ausschnitt des virtuellen Gebäudes in Yamamoto und die Ansicht aus einer Perspektive von außen sind in Abbildung 7 zu sehen. Das zugrundeliegende reale Gebäude ist ein komplexes mehrstöckiges Gebäude, mit insgesamt fünf Etagen. Es weist ähnlich komplexe Strukturen und auch unterschiedliche Funktionsbereiche auf, wie das reale Informatikgebäude, welches für die Lernphase in der vorherigen Studie (Studie I) modelliert wurde. Ab dem ersten Stockwerk teilt sich das Gebäude ungefähr in der Mitte in einen West- und einen Ostflügel, welche durch einen breiten Gang miteinander verbunden sind. In diesem Gang befinden sich auch der Eingang zum Gebäude sowie ein zentrales Treppenhaus, welches über alle Etagen geht. Zusätzlich zu diesem gibt es vier weitere Treppenhäuser rund um das Innengebäude, welche ebenfalls über alle Etagen gehen. Außerdem gibt es zahlreiche kleine und größere Räume sowie offene Bereiche. Im virtuellen Gebäudemodell wurden zudem sechs farbige, nummerierte Säulen platziert. Während des Trainings wurden die Lerner aufgefordert, sich die Struktur des Gebäudes so gut wie möglich einzuprägen und eine mentale Vorstellung davon zu entwickeln. Sie sollten dabei alle sechs Säulen finden und sich merken, wo diese im Gebäude stehen.

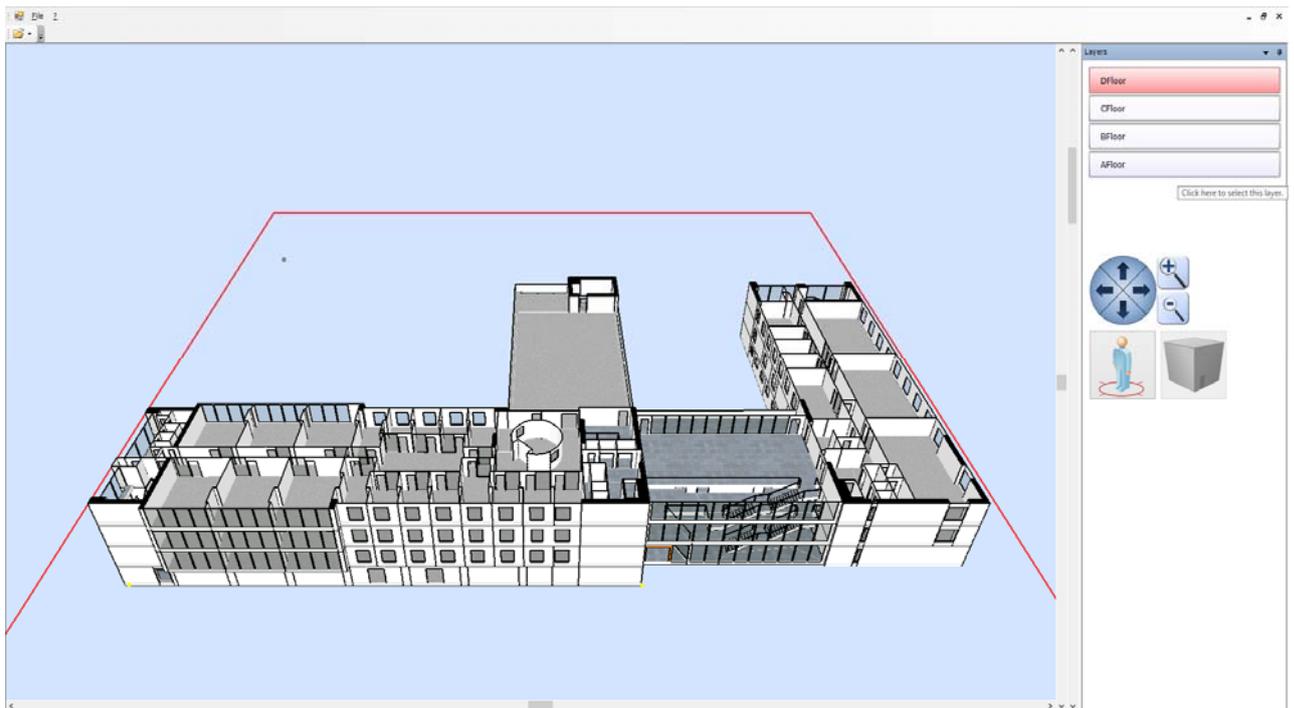


Abbildung 7. Ausschnitt des virtuellen Modells in der Trainingsphase aus Studie II

### Prompts

Prompts werden als instruktionale Methode zur Unterstützung der Strategieranwendung eingesetzt. Sie sollen als Hinweise oder Fragen die Anwendung von Strategien anregen, die wiederum zu einem besseren Verständnis der konfiguralen Struktur des Gebäudes beitragen soll. In der vorliegenden Untersuchung wurden für das virtuelle Lernen zwei Gruppen prompt-basierter Lernhilfen, kognitive und metakognitive Prompts, konzipiert. Mit Hilfe dieser indirekten strategischen Unterstützungsmaßnahmen sollten kognitive Verarbeitungsstrategien (Organisation, Informationssuche, Elaboration und Vertiefung) und metakognitiven Strategien (Zielbildung, Planung, Überwachung, Regulation der Strategienutzung) zu Beginn, während und gegen Ende des Lernens angeregt beziehungsweise trainiert werden. Die Gruppe der kognitiven Lernhilfen schließt Aktivitäten ein, welche direkt auf die Verarbeitung und auf ein tieferes Verständnis der Strukturen des Gebäudemodells ausgerichtet sind. Diese beinhalten wiederum Substrategien der Organisation und Elaboration. Die Organisationsstrategien motivieren den Lernenden, das neue Material (das virtuelle Gebäudemodell) zunächst zu strukturieren beziehungsweise

umzustrukturieren, um den Kontext sowie die räumlichen Zusammenhänge klarer zu verstehen. Beispielsweise wird der Lerner aufgefordert, sich einen ersten Überblick über das Gebäude zu verschaffen und sein gelerntes Wissen über die Struktur des Gebäudes und dessen Elemente zusammenfassen. Mit Hilfe der Elaborationsstrategien werden Analogien zu bereits vorhandenem Wissen gebildet, indem das neu aufgenommene Wissen in bereits bestehende Wissensstrukturen integriert wird. Zum Beispiel wird der Lerner aufgefordert, sich mögliche Assoziationen zu den Säulen zu überlegen. Der Lerner soll versuchen, die Säulen untereinander in Verbindung zu setzen.

Bei den metakognitiven Lernhilfen handelt es sich um Unterstützung bezüglich Planung, Überwachung und Regulierung der Strategieaktivitäten. Die in der vorliegenden Arbeit eingesetzte Förderungsmaßnahme verfolgt das Ziel, die Substrategien beziehungsweise deren Komponenten während der Exploration des Gebäudemodells, zusätzlich zu den kognitiven Strategien zu trainieren. Die Planung beinhaltet Überlegungen zum strategischen Vorgehen des Lerners. Beispielsweise wurde den Lernenden relativ am Anfang des Lernprozesses instruiert, sich eine generelle Vorgehensweise, wie er sich die Struktur des Gebäudes einprägen will, zurechtzulegen. Er sollte sich außerdem Gedanken darüber machen, mit welchem Zweck er welche Funktionen betätigen will. Die Überwachungsstrategie initiiert während des Lernens die Überprüfung, ob durch geplante, strategische Vorgehensweisen das Ziel erreicht wurde oder annähernd zu erreichen ist. Dies wird im vorliegenden Trainingsprogramm realisiert, indem der Lerner dazu angeregt wird, zu prüfen, was er verstanden hat und was nicht. Stellt der Lerner hierbei fest, dass er sein Lernziel noch nicht erreicht hat, so kann er eingreifen und seine Vorgehensweise ändern. Dies entspricht der Kontrolle beziehungsweise Regulierung seines Vorgehens. Nachdem der Lerner erkennt, ob er von seinem ursprünglichen Plan abweicht und ob er bei der Planung etwas ändern will, überlegt er, was er korrigieren sollte. Abbildungen 8 und 9 präsentieren einen Überblick über die jeweiligen kognitiven und metakognitiven Lernhilfen, welche den Lernenden der Trainingsgruppen auf den Booklets zur Verfügung gestellt wurden. Die Booklets der jeweiligen Gruppen sind in Anhängen F1-TK und F1-TKM auf Seiten 255 bis 259 zu finden.

### Kognitive Lernhilfen

#### Organisation

- Verschaffe dir einen ersten Überblick über das Gebäude. Klicke die Etagen der Reihe nach an und betrachte die Strukturen der Etagen aus der Außenperspektive. Dabei hast du ca. 3 Minuten Zeit.
- Gegen Ende des Lernens hast du nun die Möglichkeit, dein Gelerntes zusammenzufassen. Hierzu bearbeite bitte folgende Fragen!
  - Überlege dir, in welche größeren Einheiten du das Gebäude zerlegen könntest. Versuche, diese Einheiten sehr knapp zu charakterisieren.
  - Vergleiche, ob die Etagen aus der Außenperspektive ähnlich oder verschieden gebaut sind. Worin bestehen die Unterschiede?

#### Elaboration

- Du lernst schon eine Weile mit dem Gebäudemodell. Versuche jetzt deine Informationen mit deinen Vorerfahrungen zu verknüpfen. Dabei sollen dir die nachstehenden Fragen helfen. Bitte beschreibe kurz ...
  - Welchem Zweck könnte das Gebäude dienen/ was könnte sich in dem Gebäude befinden?
  - Welche Merkmale hast du für deine erste Einschätzung herangezogen und wie lassen sich diese Merkmale näher beschreiben?
- Bis jetzt hast du dir einen Überblick verschafft und dein Wissen über das Gebäude mit deinen Vorerfahrungen verknüpft. Nun versuch dein Gelerntes zu vertiefen! Hierzu werden dir folgende Aufgaben gegeben. Lies diese sorgfältig und der Reihe nach durch. Dafür hast du ca. 12 Minuten Zeit.

Was ist jetzt zu tun?

- Finde die Säulen. Wenn du möchtest, überlege dir einen Namen oder eine Assoziation für jede Säule!
- Überlege, wie die Säulen räumlich zueinander stehen. Denke dir dazu eine gerade Linie zwischen je zwei Säulen – auch wenn die Säulen in verschiedenen Stockwerken stehen.
- Überlege, wie die Säulen im Gebäude stehen. In welcher Umgebung sind die Säulen zu finden – was ist jeweils in der Nähe, und in welchen Teilen des Gebäudes stehen sie?
- Denke dir im Gebäude zwei verschiedene Orte in zwei verschiedenen Etagen. Versuche, von einem Ort zum anderen mit dem Avatar zu gehen.

*Abbildungen 8.* Überblick über die für das Trainingsprogramm konzipierten kognitiven Lernhilfen und ihre Subkomponenten

### Metakognitive Lernhilfen

#### Planung

- Halte einen Moment inne und bearbeite kurz die folgenden Punkte.
  - Plane, Wie du generell vorgehen wirst, um das Gebäudemodell kennenzulernen und dir die räumliche Struktur einzuprägen:
  - Überlege dir, zu welchem Zweck du die Außenperspektive anwenden wirst:
  - Überlege dir, zu welchem Zweck du die Innenperspektive (Avatar) anwenden wirst:
  - Hast du dir vorgenommen, den Säulen einen Namen oder eine Assoziation zu geben?  Ja  Nein  
Wenn ja, welche?

#### Überwachung & Regulierung

- Du steckst nun mitten im Lernen. Nimm dir einige Minuten Zeit, deinen Lernfortschritt zu überprüfen! Danach kannst du im Modell weitermachen.  
Überprüfe Bitte ...
  - Was hast du gut verstanden und was hast du noch nicht gut verstanden?
  - Bist du deinem ursprünglichen Plan gefolgt?  Ja  Nein
  - hast du die Interaktionsmöglichkeiten und Ansichten so genutzt, wie du dir es vorgenommen hast?  Ja  Nein
  - Möchtest du Deine Vorgehensweise ändern?  Ja  Nein
  - Was willst du dabei ändern?
  - Was hast du noch nicht gemacht?
  - Was möchtest du als nächstes machen?

*Abbildungen 9.* Überblick über die für das Trainingsprogramm konzipierten metakognitiven Lernhilfen und ihre Subkomponenten

### 5.2.3 Ablauf

Die Untersuchung wurde in drei Phasen, Pretest, Training und Posttest, durchgeführt. Hierfür fanden drei aufeinanderfolgende Sitzungen statt, zwischen denen jeweils eine Woche lag. Jede Sitzung nahm ca. 50-60 Minuten in Anspruch. Für die gesamte Testung wurde eine Testleiterin eingesetzt, die im Vorfeld hinsichtlich des Ablaufs und der Durchführung des Experiments geschult wurde. Die Testung fand im Computerlabor des Lehrstuhls für empirische Bildungsforschung statt, wodurch eine Gruppentestung möglich war. Die technische Ausrüstung der Geräte im Labor blieb zudem identisch mit der aus der Studie I. Abbildung 10 präsentiert eine grafische Darstellung des Ablaufs der drei Phasen.

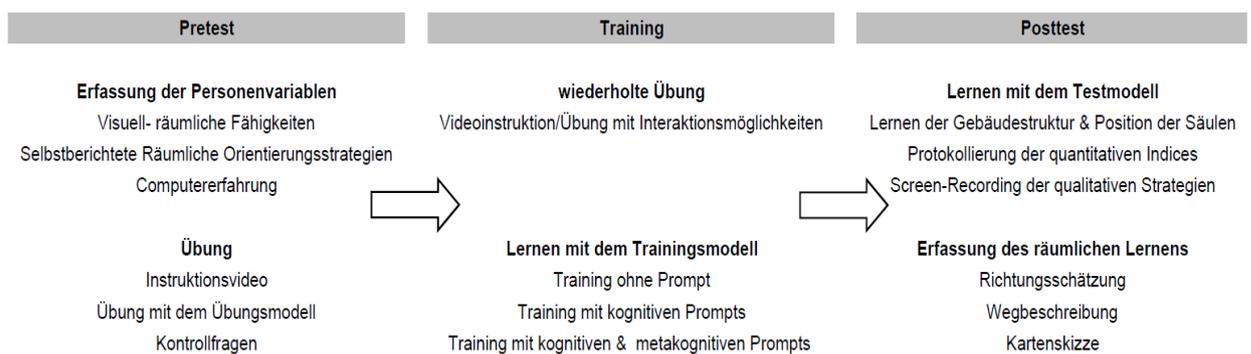


Abbildung 10. Darstellung des Ablaufs der Studie II

#### Pretest

In der ersten Sitzung, nach der Begrüßung und einer kurzen Erläuterung zum Ablauf, wurden die Personenvariablen als Prädiktoren des räumlichen Lernens erhoben. Hierzu wurden die identischen Tests und Instrumente wie in der vorausgegangenen Studie I verwendet. Zu deren detaillierten Beschreibung kann auf den Punkt 4.2.2 der vorliegenden Arbeit verwiesen werden. Im Anschluss an die Erhebung der Prädiktorvariablen erhielten die Versuchspersonen eine erste Gelegenheit, mit dem Übungsmodell vertraut zu werden. Wie in Studie I wurden dabei auch die Interaktionsmöglichkeiten der Software eingeführt und geübt (Instruktionsvideo).

## Training

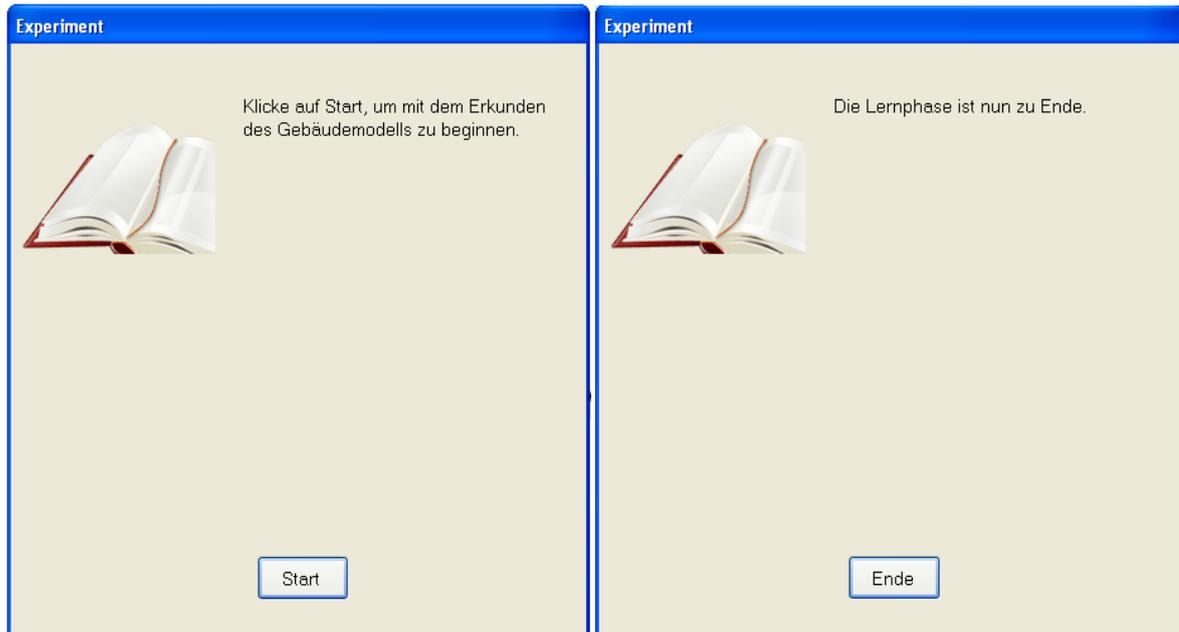
In der zweiten Sitzung (Trainingsphase), welche ca. eine Woche später stattfand, wurden die Teilnehmer zufällig zu einer der drei Trainingsbedingungen (T, TK, TKM) zugeteilt (für die Teilnehmeranzahl der jeweiligen Trainingsgruppen, s. Tabelle 14).

Tabelle 14

Überblick über die experimentellen Bedingungen und dazugehörige Anzahl der Versuchspersonen ( $N = 64$ )

Untersuchungsbedingungen	Art des Trainings	Anzahl der Versuchspersonen
T	Training ohne Prompts	21
TK	Training mit kognitiven Prompts	23
TKM	Training mit kognitiven u. metakognitiven Prompts	20

Zuerst fand eine wiederholte Übung der Interaktionsmöglichkeiten statt. Um sicherzustellen, dass hierbei keine Schwierigkeiten beim Umgang mit diesen interaktiven Funktionen vorlagen, wurde ein Kontrolltest mit den gleichen Aufgaben wie in der Sitzung zuvor durchgeführt. Danach startete das eigentliche Training, indem die Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen TK ( $n = 23$ ) und TKM ( $n = 20$ ) anhand von Lernhilfen zur Anwendung der Strategiekomponenten trainiert wurden. Beim Lernen wurden sie instruiert, sich die Struktur des Gebäudes einzuprägen und die sechs farbigen Säulen zu finden (s. Anhang B3-III, S. 231 & 232). Die Teilnehmer der Kontrollgruppe (T,  $n = 21$ ) erhielten keine Lernhilfen zu den Strategien, sie lernten jedoch mit dem gleichen Trainingsmodell und nach einer minimal geänderten Instruktion, wie die Lerner in den beiden anderen Gruppen (für den Instruktionstext s. Anhang B3-III, S. 231 & 232). Die Trainingszeit wurde zuvor für alle Gruppen auf 24 Minuten festgelegt. Das Ziel der einheitlichen Trainingszeit für alle Gruppen war, im Vorfeld den Zeiteffekt als Störvariable zu kontrollieren. Die Festlegung der Trainingsdauer auf 24 Minuten wurde außerdem darin begründet, einen eventuellen Abfall der Konzentrationsfähigkeit der Lernenden während des Trainings kontrollieren zu können. Beginn und Ende der Explorations- beziehungsweise Trainingszeit erfolgten durch eine automatische Meldung im Modell (s. Abbildung 11).



*Abbildung 11.* Die automatischen Meldungen für den Beginn und das Ende der Lernzeit in der Trainingsstudie

Beim Training der Strategien wurde in den beiden Experimentalgruppen besonders auf die Umsetzung der eingeführten strategischen Elemente geachtet. Es wurde angenommen, dass sich die Lernenden nun mehr auf die strategischen Elemente konzentrieren konnten, da sie das Gebäude im Wesentlichen kannten und die Software gut bedienen konnten. Die Lernhilfen wurden den Lernenden schriftlich auf einem Booklet, welches für jeden Teilnehmer auf seinem Arbeitstisch umgedreht bereitlag, präsentiert. Dadurch wurde gewährleistet, dass die notwendigen Informationen für die gesamte Lern- und Trainingsphase zur Verfügung standen, und dass von den Lernenden darauf auch Notizen gemacht werden konnten. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe erhielten hingegen kein Booklet. Die Probanden der Experimentalgruppen mit kognitiven beziehungsweise mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen bekamen unterschiedliche Booklets. Die Aufforderungen zur Nutzung der Lernhilfen erfolgten jedoch computergesteuert. Während der Exploration des virtuellen Trainingsmodells und immer nach bestimmten Zeitintervallen erschien den Teilnehmern automatisch ein Dialogfenster im Modell, in welchem sie aufgefordert wurden, eine bestimmte Seite des Booklets zu bearbeiten oder eine bestimmte Aktivität im Modell durchzuführen. Während dieser Zeit waren die Funktionen des Modells inaktiv und

erst nach erfolgreicher Ausführung der Aufgabe konnte der Lerner im Modell weiter lernen. Die gesamten Aktivitäten des Lerners wurden mittels Logfiles protokolliert (Zeitpunkt 1).

Für die Prompt-Gruppe mit den kognitiven Strategiekomponenten wurden insgesamt drei computerunterstützte Prompts mit Aufforderungen in Form eines Dialogfensters gestellt. In Abbildung 12 wird hiervon ein Auszug präsentiert. Der erste Prompt wurde gleich zu Beginn des Lernens, direkt nach dem Anklicken der Startoption im Modell, auf dem Bildschirm eingeblendet. Dieser verwies auf die Lernhilfen zur Förderung der Organisationsstrategien. Der zweite Prompt wurde etwa nach einem Drittel der Lernzeit (siebte Minute) eingeblendet, welcher zur Bearbeitung des zweiten und dritten Arbeitsblattes aufforderte. Hier wurden die Lernhilfen zur Elaboration und Vertiefung des Gelernten bereitgestellt. Der Letzte erschien ca. fünf Minuten vor Ende der gesamten Lernzeit (19 Minuten), um das erworbene Wissen zusammenzufassen (Organisation).



Abbildung 12. Ein computerunterstützter Prompt der Trainingsgruppe TK

Den Probanden der Trainingsgruppe TKM, die kognitive und metakognitive Lernhilfen erhielten, wurden insgesamt fünf computergestützte Aufforderungen zu Beginn, während und kurz vor Ende der Lernzeit eingeblendet. Das Booklet mit den entsprechenden Lernhilfen ist im Anhang F1-TKM (S. 255 & 256) dargestellt. Das entsprechende Lernschema wird in Abbildung 13 gezeigt.

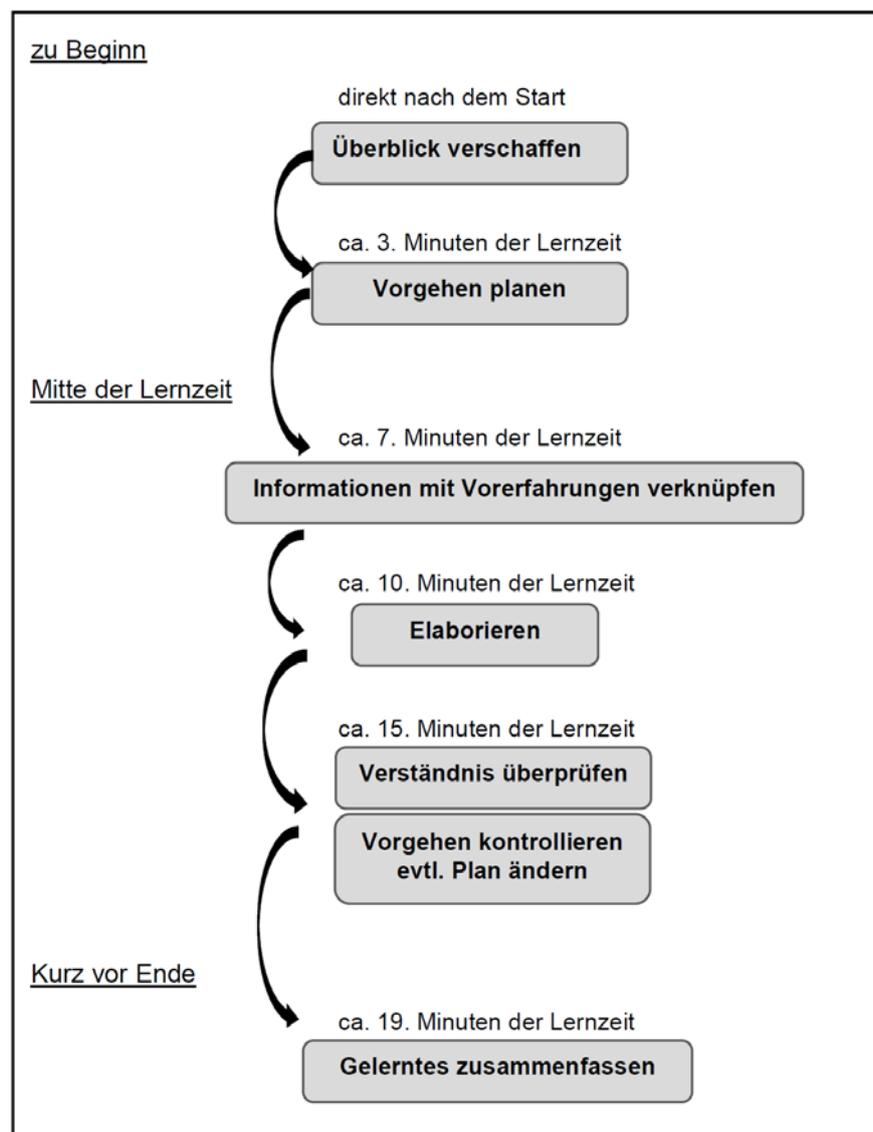


Abbildung 13. Lernschema mit den kognitiven und metakognitiven Lernhilfen der Trainingsgruppe TKM

## *Posttest*

Eine Woche später, in der abschließenden dritten Sitzung, wurde derselbe Test mit demselben Gebäudemodell durchgeführt, der bereits in der vorherigen Studie verwendet wurde (s. 4.2.2 der vorliegenden Arbeit). Daher können die gewonnenen Ergebnisse mit den Resultaten der Studie I verglichen werden. Ein möglicher Zugewinn in der Lernleistung durch Training beziehungsweise durch reine Übungszeit kann somit abgeschätzt werden. Die Daten über das strategische Verhalten der Lernenden im Umgang mit den Interaktionsmöglichkeiten wurden bei den Probanden in allen drei Bedingungen durch die Protokollfunktion im Programm mitgeschrieben (Zeitpunkt 2) und synchron dazu mittels Screenrecording aufgenommen.

### **5.2.4 Auswertung**

Die Datenanalyse zur Prüfung der Hypothesen basiert auf dem allgemeinen linearen Modell, das dem in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Verfahren der multiplen Regression zugrunde liegt. Dabei wurden verschiedene Regressionsmodelle auf ihre Vorhersagekraft bezüglich des Lernerfolgs überprüft. Dazu wurden die Kriterien des räumlichen Wissenserwerbs, der Richtungsschätzung, der Wegbeschreibung und der Kartenskizze (wie bei den vorherigen Analysen) jeweils als Einzelkriterium analysiert. Es wurde zunächst ausgewertet, inwieweit das Training mit seinen kognitiven und metakognitiven Komponenten die Unterschiede im räumlichen Lernen prädiziert. Hierfür wurden die möglicherweise differentiellen Effekte der Trainingsbedingungen auf den Lernerfolg untersucht. Eine Analyse von möglichen Effekten der Qualität der Bearbeitung von Instruktionaufgaben in unterschiedlichen Trainingsbedingungen auf das räumliche Lernen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Als zentralen Grund für diese Entscheidung ist der notwendige Zeit- beziehungsweise Ressourcenaufwand zu nennen, der als sehr hoch eingeschätzt wurde und daher den zeitlichen Rahmen der Analyse überstritten hätte. Diese Problematik wird allerdings im weiteren Verlauf als Ausblick für weitere Untersuchung thematisiert.

Zur Prüfung der Differenz zwischen den Trainingsbedingungen hinsichtlich ihrer Effekte auf den Lernerfolg gingen in den drei Bedingungen geplante orthogonale Kontraste (insgesamt zwei Kontraste K1 und K2) in die regressionsanalytischen Modelle ein. K1 erzeugt einen Vergleich zwischen der Trainingsgruppe ohne Prompts und den zwei weiteren Prompt-Gruppen. K2 spiegelt den Vergleich der zwei Prompt-Gruppen TK und TKM wieder. Zur Prüfung der Effekte wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha = .05$  gewählt.

Zudem wurde die Vorhersagekraft der Nutzung von Explorationsstrategien auf die Kriterien des räumlichen Lernens untersucht. Hierbei wurde die effektive Nutzung der, in der vorherigen Studie klassifizierten, Strategieelemente aus beiden Gruppen (quantitative und qualitative Indizes) als Prädiktor in die Analyse einbezogen. Basierend auf der Analyse von Logfiles wurde die effektive Nutzung von Explorationsstrategien aus der Häufigkeit der Nutzung von Interaktionsmöglichkeiten ermittelt (quantitative Indizes). Als qualitative Indizes wurde der effektive Einsatz von vier spezifischen Strategien (Überblicks-, Säulen-, Struktur- und Egostrategien) einbezogen, die auf Grundlage der Videoanalysen mittels einer siebenstufigen Skala bewertet wurden. Da nicht alle Lernenden, sondern nur eine Teilmenge von ihnen, alle Strategien einsetzten, konnten nicht für jeden Probanden vier Werte als qualitative Indizes des Strategieeinsatzes ermittelt werden. Für den Fall, dass die Strategie nicht benutzt wurde, wurde im Datensatz ein freier Wert eingegeben. Die leeren Werte wurden bei der Analyse mit SPSS als fehlender Wert behandelt. Bei den Mittelwerts- beziehungsweise Regressionsberechnungen wird die Anzahl der Werte (n) angepasst, indem nur vollständige Werte einbezogen und fehlende Werte ausgeschlossen werden.

Darüber hinaus wurde geprüft, ob der effektive Einsatz von Explorationsstrategien durch das Training beziehungsweise die prompt-basierten Anweisungen gefördert wird. In diesem Rahmen wurde auch untersucht, ob die Personenvariablen den Zusammenhang zwischen dem Strategieeinsatz und dem räumlichen Lernen indirekt beeinflussen.

Um zu untersuchen, ob der positive Zusammenhang zwischen den Personenfähigkeiten und der Leistung im räumlichen Wissenserwerb durch die Trainingsbedingungen variiert wird, wurden Moderationsanalysen gerechnet. Dies erfolgte jeweils über eine multiple Regression, die die Überprüfung des Kriteriums durch einen Prädiktor, einen Moderator und einen Produktterm der beiden Variablen gleichzeitig einschließt (Bühner & Ziegler, 2009). Der Produktterm drückt eine Interaktion zwischen den betreffenden Variablen aus. Zur Modellierung der Interaktionen werden die betreffenden Variablen zunächst miteinander multipliziert. Dieser Produktterm geht dann als zusätzliche Prädiktorvariable in das Modell ein. Hierbei muss ein eventuell eintretendes Kollinearitätsproblem, welches durch starke Korrelationen zwischen dem Produktterm und dessen darin enthaltenen Prädiktor- und Moderatorvariablen entsteht, möglichst vermieden werden. Zu diesem Zweck werden die kontinuierlichen Prädiktor- und Moderatorvariablen einer Zentrierung unterzogen, bevor der Produktterm aus ihnen gebildet wird. Dadurch korrelieren Prädiktor und Moderator mit ihrem Produktterm fast nicht mehr. Die Zentrierung einer kontinuierlichen Variablen erfolgt dadurch, dass von jedem individuellen Wert der Variable die Differenz zum Mittelwert berechnet wird (Bühner & Ziegler, 2009). Die zentrierten Variablen werden in den Modellen mit einem kleinen vorangestellten „z“ (z.B. zHP, zPT etc.) gekennzeichnet. Um eine eventuell dennoch vorliegende Kollinearität zu überprüfen, wird in allen Modellen eine Kollinearitätsdiagnose durchgeführt.

### **5.3 Ergebnisse**

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in der Reihenfolge der aufgeführten Hypothesen. Vor der Prüfung der Hypothesen wurden zunächst die Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erhobenen Variablen geprüft. Signifikante Korrelationen sind eine wesentliche Voraussetzung für nachfolgende Zusammenhangsanalysen (Bortz & Döring, 2005). Die Interkorrelationen der zentralen Variablen (visuell-räumliche Fähigkeiten, räumliche Orientierungsstrategien, Vorerfahrungen mit Computern beziehungsweise Computerspielen und quantitative beziehungsweise qualitative Aspekte der Nutzung der Strategien) als Prädiktoren, sowie die unterschiedlichen Kriterien des räumlichen Lernens als Kriterium werden in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15  
Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten Prädiktorvariablen und den unterschiedlichen Leistungskriterien des räumlichen Lernens (N = 64)

Variablen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. HP	-																			
2. PT	-.32*	-																		
3. MR (Zeit)	-.28*	.43**	-																	
4. FRS1	.14	-.26*	-.17	-																
5. FRS2	-.03	-.13	-.20	.54**	-															
6. FRS3	.0	-.35**	-.08	.56**	.50**	-														
7. PC-Nutzung	.04	-.24	-.03	.18	.21	.18	-													
8. PC-Spiel	-.01	-.20	-.13	.25*	.21	.11	.60**	-												
9. Kartenschieben	.02	-.02	-.15	-.01	-.03	-.13	-.14	-.02	-											
10. Zoomen	-.06	.07	.34**	.08	-.08	-.13	.26*	.15	-.03	-										
11. horiz. Rotation	-.19	.28*	.36**	.07	-.11	-.08	-.06	.01	.07	.05	-									
12. vertik. Rotation	-.09	-.02	.15	-.06	.01	-.02	.10	.09	.03	.21	.50**	-								
13. Etagenwechsel	.04	-.04	.21	-.14	-.01	-.11	.22	.18	-.19	.23	-.03	.03	-							
14. Egoerspektive (%)	.17	-.14	-.30*	.13	.01	.03	-.37**	-.19	.09	-.45**	-.33**	-.36**	-.63**	-						
15. Überblicksstrategie	.38*	-.24	-.34*	.17	.11	-.07	-.04	-.06	.12	-.03	-.19	-.15	.16	.17	-					
16. Strukturstrategie	.12	-.19	.07	.23	.11	.18	.16	.20	.25	.23	.11	.17	.18	-.33**	.11	-				
17. Säulenstrategie	.12	-.21	-.06	.33	.21	.40	.02	.20	.07	-.07	-.01	-.10	-.09	.19	.51*	-.40*	-			
18. Ego-Strategie	-.24	-.05	-.14	-.05	-.34*	-.12	-.02	-.03	.19	-.36*	-.06	-.25	-.21	.30	-.15	-.07	.31	-		
19. RE	-.31*	.27*	.07	-.24	-.19	-.17	-.21	-.27*	-.18	-.04	.02	.04	-.02	.03	-.04	-.22	-.25	-.10	-	
20. WB	.26*	.03	-.05	.18	.16	.15	.11	-.07	-.20	.07	-.08	-.20	.19	-.09	.10	-.13	.13	-.19	-.26*	-
21. KS	.24	-.11	-.04	.07	.02	-.05	.20	.21	-.07	-.01	.08	.22	.03	-.08	-.01	.18	.02	-.06	-.35**	-.08

Anmerkung. \*p < .05; \*\*p < .01;

Quantitative Indizes: Protokollaten von der Testphase (2. Zeitpunkt)

Die Interkorrelationen zwischen den Variablen der jeweiligen Prädiktorgruppen liegen im mittleren Bereich. Die visuell-räumlichen Fähigkeiten der Mustererkennung, der Perspektivenübernahme und des Zeitfaktors der mentalen Rotationsfähigkeit (zwischen  $r = -.32$ ,  $p < .05$  und  $r = .43$ ,  $p < .01$ ) korrelieren intern signifikant. Die Interkorrelationen zwischen den Subskalen der Selbsteinschätzung der Orientierungskompetenzen (zwischen  $r = .50$  und  $r = .56$ ,  $p < .01$ ) sind ebenfalls signifikant. Zwischen den Variablen der Vorerfahrung mit Computerinterfaces und der Vorerfahrung mit Computerspielen ( $r = .60$ ,  $p < .01$ ) ergibt sich eine signifikante Interkorrelation.

Die quantitativen Indizes des strategischen Explorationsverhaltens (Zeitpunkt 2) korrelieren intern ebenfalls signifikant, allerdings liegen die Koeffizienten nur im mittelhohen Bereich. Die häufige Nutzung der egozentrischen Perspektive zeigt mit beinahe allen Variablen ihrer Gruppe mittlere, negative Korrelationen (zwischen  $r = -.45$  und  $r = -.63$ ,  $p < .01$ ), die signifikant sind. Die negative Korrelation kann dadurch begründet werden, dass die anderen Indizes der Strategien im Unterschied zur Egoperspektive die Nutzung der allozentrischen Perspektive erfassen. Ein ähnliches Ergebnis findet sich bei den Interkorrelationen zwischen den qualitativen Aspekten der Nutzung der egozentrischen Strategie und den qualitativen Aspekten der Nutzung anderer Strategien aus dieser Gruppe (Überblicksstrategie:  $r = -.15$ , n.s.; Strukturstrategie:  $r = -.07$ , n.s.), für welche eher eine Exploration aus überblickbasierten Perspektiven notwendig ist. Der Unterschied liegt darin, dass die Korrelationen aus dieser Gruppe im niedrigen Bereich liegen und nicht signifikant sind.

Die Korrelationen zwischen den Variablen unterschiedlicher Variablengruppen stellen jedoch ein anderes, inkonsistentes Bild dar. Erwartungsgemäß fallen sie zwischen den Personenvariablen aus unterschiedlichen Prädiktorgruppen niedrig aus. Die geringen Korrelationskoeffizienten besagen ebenso wie die Ergebnisse der vorherigen Untersuchung (Studie I) wiederum, dass die in der Untersuchung verwendeten Instrumente zur Erfassung der visuell-räumlichen Fähigkeiten tatsächlich unterschiedliche Faktoren dieser Fähigkeiten messen. Die räumliche Fähigkeit der Perspektivenübernahme weist geringe, jedoch signifikante Zusammenhänge mit den Skalen der räumlichen Orientierungsstrategien der globalen Einschätzung ( $r = -.26$ ,  $p < .05$ ) und der Skala der Himmelsrichtung ( $r = -.35$ ,  $p < .01$ ) auf. Im Gegensatz dazu sind die Korrelationen zwischen diesen

Variablen und den Vorerfahrungen mit Computern nicht bedeutsam. Eine signifikante Korrelation ist zwischen der Fähigkeit der globalen Einschätzung und den Erfahrungen mit Computerspielen ( $r = .25, p < .05$ ) festzustellen.

Entgegen der Erwartungen fallen jedoch die Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren und den Instrumenten des räumlichen Lernens nicht signifikant aus. Die Richtungseinschätzung als valides Maß für räumliches Lernen zeigt bedeutsame Korrelationen mit den räumlichen Fähigkeiten zur Mustererkennung ( $r = -.31, p < .05$ ) und Perspektivenübernahme ( $r = .27, p < .05$ ) sowie mit den Vorerfahrungen mit Computerspielen ( $r = -.27, p < .05$ ). Die Fähigkeit der Wegbeschreibung korreliert signifikant mit der räumlichen Fähigkeit zur Mustererkennung, allerdings sind die Koeffizienten nicht hoch ( $r = .26, p < .05$ ). Zwischen den quantitativen und qualitativen Indizes der Explorationsstrategien und den Variablen des räumlichen Lernens ergeben sich keine bedeutsamen Zusammenhänge.

#### *Effekt des Trainings auf die Lernerfolgskriterien*

Die deskriptiven Daten bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Trainingsbedingungen auf die Kriterien des räumlichen Lernerfolgs werden in Tabelle 16 dargestellt. Dabei werden die Ergebnisse für die einzelnen Kriterien (Richtungsschätzung, Wegbeschreibung und Kartenskizze) in Abhängigkeit von den jeweiligen Trainingsbedingungen aufgeführt. Zusätzlich wird für jede abhängige Variable ein Boxplot-Diagramm (a, b, c), in welchem die drei Trainingsbedingungen miteinander verglichen werden, präsentiert (s. Abbildung 14).

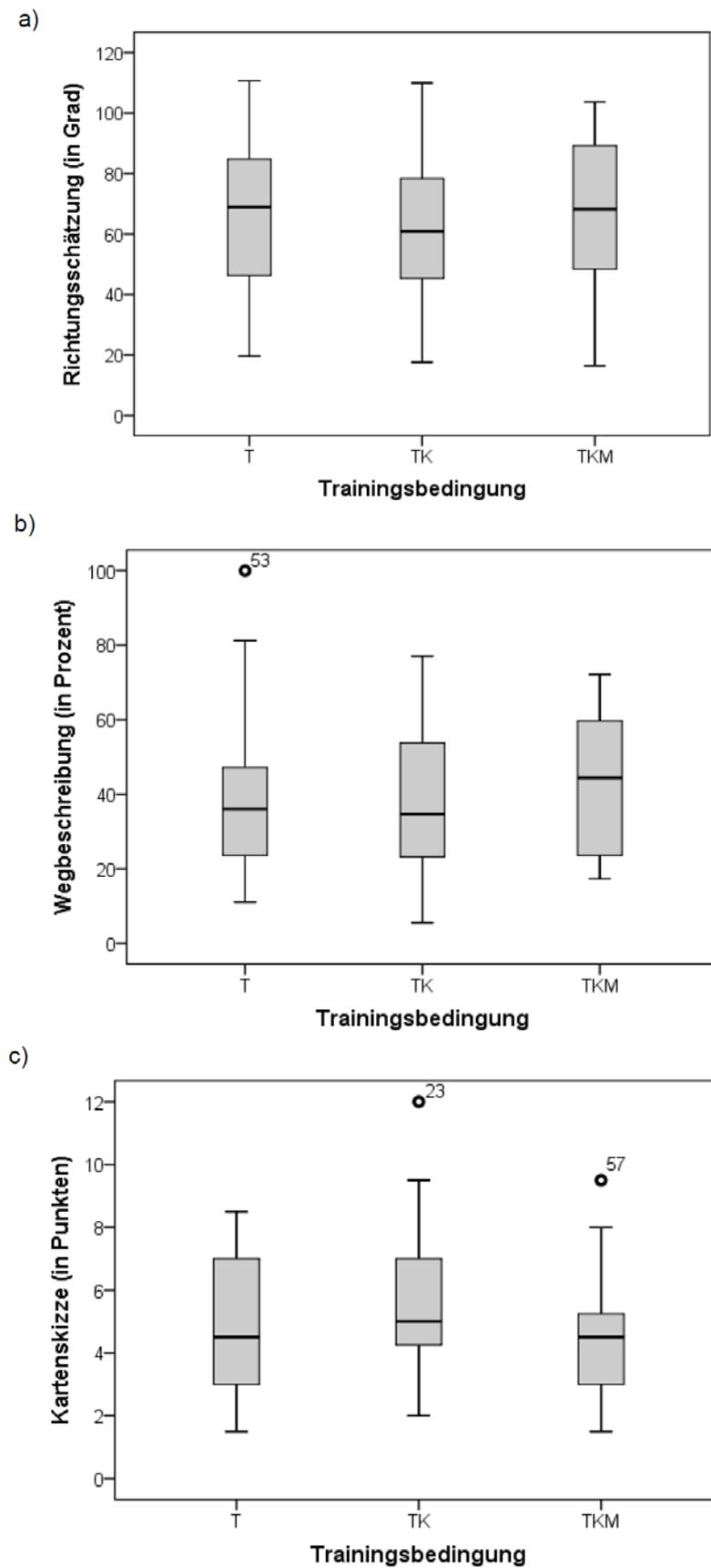


Abbildung 14. Boxplot-Diagramme der jeweiligen Kriterien des räumlichen Wissenserwerbs für alle Trainingsgruppen

Bei den Mittelwertvergleichen zeigen sich tendenzielle (minimale) Effekte hinsichtlich der Leistungsunterschiede im räumlichen Wissenserwerb unter den unterschiedlichen Trainingsbedingungen. Dabei schneiden die Lernenden der Trainingsbedingung mit kognitiven Lernhilfen bei den räumlichen Aufgaben, die auf einer überblickbasierten mentalen Repräsentation beruhen (Richtungsschätzung und Kartenskizze), besser ab, als die Teilnehmer der beiden anderen Bedingungen. Sie machen weniger Fehler bei der Schätzung der Richtung zu unsichtbaren Objekten in der Umgebung und sind präziser beim Zeichnen einer Karte der Umgebung (s. Tabelle 16). Die Teilnehmer der kombinierten Trainingsbedingung mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen zeigen hingegen bessere Ergebnisse bei der räumlichen Aufgabe zur Beschreibung der Route, welche eine routenbasierte mentale Repräsentation der Umgebung erfordert (s. Tabelle 16).

Tabelle 16

*Deskriptive Daten für unterschiedliche Komponenten des räumlichen Lernens separat in jeweiligen Trainingsbedingungen (N = 64)*

Variable	Bedingung		
	T	TK	TKM
	<i>M (SD)</i> <i>Min-Max</i>	<i>M (SD)</i> <i>Min-Max</i>	<i>M (SD)</i> <i>Min-Max</i>
Richtungsschätzung	65.60 (27.28) 20-111	60.97 (23.00) 18-110	65.83 (26.37) 16-104
Wegbeschreibung	40.55 (22.17) 11-100	37.84 (20.11) 6-77	43.62 (19.17) 17-72
Kartenskizze	4.81 (2.30) 1.50-8.50	5.46 (2.51) 2.00- 12.00	4.53 (2.06) 1.50-9.50

Anmerkungen. \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$

T = Training ohne Lernhilfen, TK = Training durch kognitive Lernhilfen, TKM = Training durch kognitive und metakognitive Lernhilfen;

Richtungsschätzung (durchschnittliche Winkelfehler in Grad), Wegbeschreibung (relative Bewertungspunkte in Prozent), Kartenskizze (nach einem Punkteschema)

Die ersten deskriptiven Ergebnisse lassen sich bei der Berechnung der Regressionen nicht bestätigen. Um die Zusammenhangshypothese hinsichtlich der vergleichenden Effekte des Trainings auf den Lernerfolg zu prüfen, wurden für die jeweiligen Kriterien der unabhängigen Variablen separate multiple Regressionsanalysen durchgeführt. In die entsprechenden Analysen wurden die Kontrastvariablen K1 und K2 als Prädiktoren eingeschlossen. Kontrast K1 vergleicht die Trainingsgruppe ohne Prompts mit den beiden Trainingsgruppen mit Prompts. Der Kontrast K2 vergleicht die Trainingsgruppe mit kognitiven Lernhilfen und die Trainingsgruppe mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen. Bei der Analyse wurde geprüft, wie viel Varianz im Lernerfolg durch die Bedingungen gemeinsam erklärt werden kann.

Die Regressionsanalyse zur Vorhersage der Leistung in der Richtungsschätzung durch die verschiedenen Trainingsbedingungen lieferte keinen signifikanten Ergebnisse ( $R^2 = .01$ ,  $F(2,63) = .26$ , n.s.). Hinsichtlich der Leistungen in der Wegbeschreibung und in der Kartenskizze zeigen sich ähnliche Resultate. Weder das Training noch die unterschiedliche Art der Lernhilfen können die Leistungsunterschiede in der Wegbeschreibung ( $R^2 = .01$ ,  $F(3,63) = .42$ , n.s.) oder im Kartenzeichnen ( $R^2 = .03$ ,  $F(2,63) = .93$ , n.s.) erklären. Zusammenfassend ergibt sich, dass die Differenzen zwischen den Teilnehmern hinsichtlich ihrer Leistung beim Verstehen der räumlichen Zusammenhänge (Richtungsschätzung, Wegbeschreibung, Kartenskizze) unabhängig davon, ob und welche Lernhilfen eingesetzt wurden, nicht vorhergesagt werden können. Dabei unterscheiden sich die Trainingsbedingungen nicht signifikant voneinander.

Bei der näheren Betrachtung der Werteteilungen der jeweiligen Gruppen konnte festgestellt werden, dass es sich bei allen Verteilungen um eine Normalverteilung handelte. Die Überprüfung erfolgte durch den Shapiro-Wilk-Test. Dieser wurde verwendet, da die Gruppengrößen kleiner als  $n = 30$  sind (für die Wahl des Tests, s. Bühner & Ziegler, 2009, S. 96). Möglicherweise gibt es Varianzeinschränkungen, die für die nicht-signifikanten Effekten verantwortlich sind (s. Boxplots, Abbildung 14). Hierbei sind große Varianzen innerhalb der jeweiligen Trainingsbedingungen zu beobachten. Bei der Leistung der Richtungsschätzung ist das Ausmaß der Unterschiede zwischen den Personen innerhalb der Trainingsbedingung mit lediglich kognitiven Lernhilfen am wenigsten ausgeprägt (geringste Varianz im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen),

während sich die höchste Streuung in der Gruppe des Trainings ohne Lernhilfen zeigt. Beim räumlichen Wissenserwerb der Wegbeschreibung und Kartenskizze sind die Lernenden in der kombinierten Trainingsbedingung (TKM) am homogensten. Die Streuungen in den beiden anderen Gruppen sind hingegen sehr hoch. Werden in einem weiteren Schritt die Werte der Versuchspersonen bei den räumlichen Aufgaben der Wegbeschreibung und der Kartenskizze, die in extremen Bereichen liegen (s. Abbildungen 14b & c), eliminiert, werden keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich der Varianzen bemerkbar. Den bereits dargestellten Resultaten zufolge können die hierzu gestellten Hypothesen nicht bestätigt werden.

Es kann jedoch ein Effekt des Trainings (im Vergleich zur Abwesenheit eines Trainings) auf das räumliche Lernen beobachtet werden, indem ein Rückblick auf die Ergebnisse der vorherigen Studie (4.3. Ergebnisse, S. 115-122) geworfen und ein Vergleich dieser mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie gezogen wird. Die Validität dieses Vorgehens lässt sich dadurch begründen, dass die eingesetzten Materialien und Instrumente sowie die Untersuchungsabläufe bei beiden Studien identisch sind, wodurch die Resultate vergleichbar und auf einer gemeinsamen Basis interpretierbar sind.

Die Leistungsunterschiede in den räumlichen Aufgaben der Richtungsschätzung zwischen den Lernenden der Studie I, welche kein Training erhielten, konnten ausschließlich durch ihre inter-individuellen Personenfähigkeiten (visuell-räumliche Fähigkeit zur Mustererkennung, mentale Rotationsfähigkeit, überblickbasierte Orientierungsstrategie und Erfahrungen mit Computerspielen) ( $R^2 = .46$ ,  $F(4,50) = 9.78$ ,  $p < .01$ ) erklärt werden. Wird der gemeinsame Vorhersageeffekt dieser Personenfähigkeiten auf die Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung bei den Lernenden der aktuellen Studie, welche ein Training der Strategiekomponenten erhielten, unter Kontrolle der Trainingsbedingungen berechnet, zeigt sich zudem eine signifikante Varianzerklärung von 21% ( $F(6,63) = 2.46$ ,  $p < .05$ ) (s. Tabelle 17). Bei der Analyse der Vorhersageeffekte der einzelnen Prädiktoren lässt sich jedoch feststellen, dass die Einflüsse der individuellen Prädiktoren im Vergleich zur vorherigen Studie deutlich schwächer ausfallen. Tabelle 17 fasst die Vergleichsergebnisse der beiden Studien zusammen. Dabei stellt Modell 1 die  $\beta$ -

Gewichte der individuellen Prädiktoren von der vorherigen Studie und Modell 2 diese von der vorliegenden Studie unter Kontrolle der Trainingsbedingungen dar.

Tabelle 17

Zusammenfassende Darstellung der Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage des räumlichen Lernens zur Richtungsschätzung von Studien I & II; standardisierte Koeffizienten

Modell 1:  $F(4,50) = 9.78$ ;  $p = .00$ ;  $R^2 = .46$

Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Richtungsschätzung	HP	-.41	.18	-.28	-2.28	.03
	MR (Zeit)	.01	.00	.26	2.10	.04
	FRS2	-8.67	2.71	-.35	-3.20	.00
	PC-Spiele	-1.44	.60	-.26	-2.39	.02

Modell 2:  $F(6,63) = 2.46$ ;  $p < .05$ ;  $R^2 = .21$

Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Richtungsschätzung	K1	-1.84	4.49	-.05	-.41	.68
	K2	2.70	7.42	.04	.36	.72
	HP	-.38	.13	-.36	-2.87	.01
	MR (Zeit)	-.00	.00	-.10	-.78	.44
	FRS2	-3.03	2.35	-.17	-1.29	.20
	PC-Spiele	-.81	.44	-.23	-1.85	.07

*Anmerkung.*

HP = Hidden pattern/ Mustererkennung (Anzahl der korrekten minus falschen Antworten), MR (Zeit) = Zeitfaktor der Mentalen Rotation (durchschnittliche Reaktionszeit in Millisekunden), FRS 2 = Fähigkeit der Überblicksstrategie (Skalenwert 1-7), PC-Spiele = Computerspielen in der Woche (in Stunden);

K1 = Training ohne Lernhilfen vs. Training mit Lernhilfen; K2 = Training mit kognitiven Lernhilfen vs. Training mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen

Bei der Erklärung der Leistung in der Wegbeschreibung und Kartenskizze zeigte sich ein ähnliches Ergebnis. Bei den Lernenden ohne Training wurden die Leistungsdifferenzen in der Wegbeschreibung durch ihre visuell-räumliche Fähigkeit der mentalen Rotation ( $\beta = -.44$ ,  $p < .01$ ) und in der Kartenskizze durch die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels ( $\beta = -.31$ ,  $p < .05$ ) aufgeklärt. Diese Effekte verschwanden unter Kontrolle der Trainingsbedingungen (Wegbeschreibung:  $\beta = -.05$ , n.s.; Kartenskizze:  $\beta = -.11$ , n.s.). Für eine bessere Übersicht über die Vergleichsanalysen werden die Ergebnisse im Folgenden in grafischen Darstellungen präsentiert (vgl. Abbildung 14). Die drei Paar-Diagramme (a,b,c) bilden die separaten Ergebnisse für die jeweilige LernerfolgsvARIABLE (Richtungsschätzung, Wegbeschreibung und Kartenskizze) ab. Hierbei wird stets der Zusammenhang zwischen dem standardisierten geschätzten Wert im

Kriterium des räumlichen Lernens und dessen empirisch gemessenem Wert dargestellt. Im jeweils linken Diagramm wird die Regressionsgerade dieses Zusammenhangs aus der vorherigen Studie (Studie I,  $N = 51$ ) gezeigt, während im jeweils rechten Diagramm der lineare Zusammenhang aus der vorliegenden Studie ( $N = 64$ ) visualisiert wird. Wie auch in den Grafiken zu erkennen ist, besteht nach der Kontrolle der Trainingsbedingung zwar ein positiver Zusammenhang zwischen beobachteten und vorhergesagten Werten in den Kriterien des räumlichen Lernens, dieser fällt jedoch im Vergleich zur Gruppe ohne Training eher geringer aus. Dies wird durch die weniger steilen Regressionsgeraden verdeutlicht.

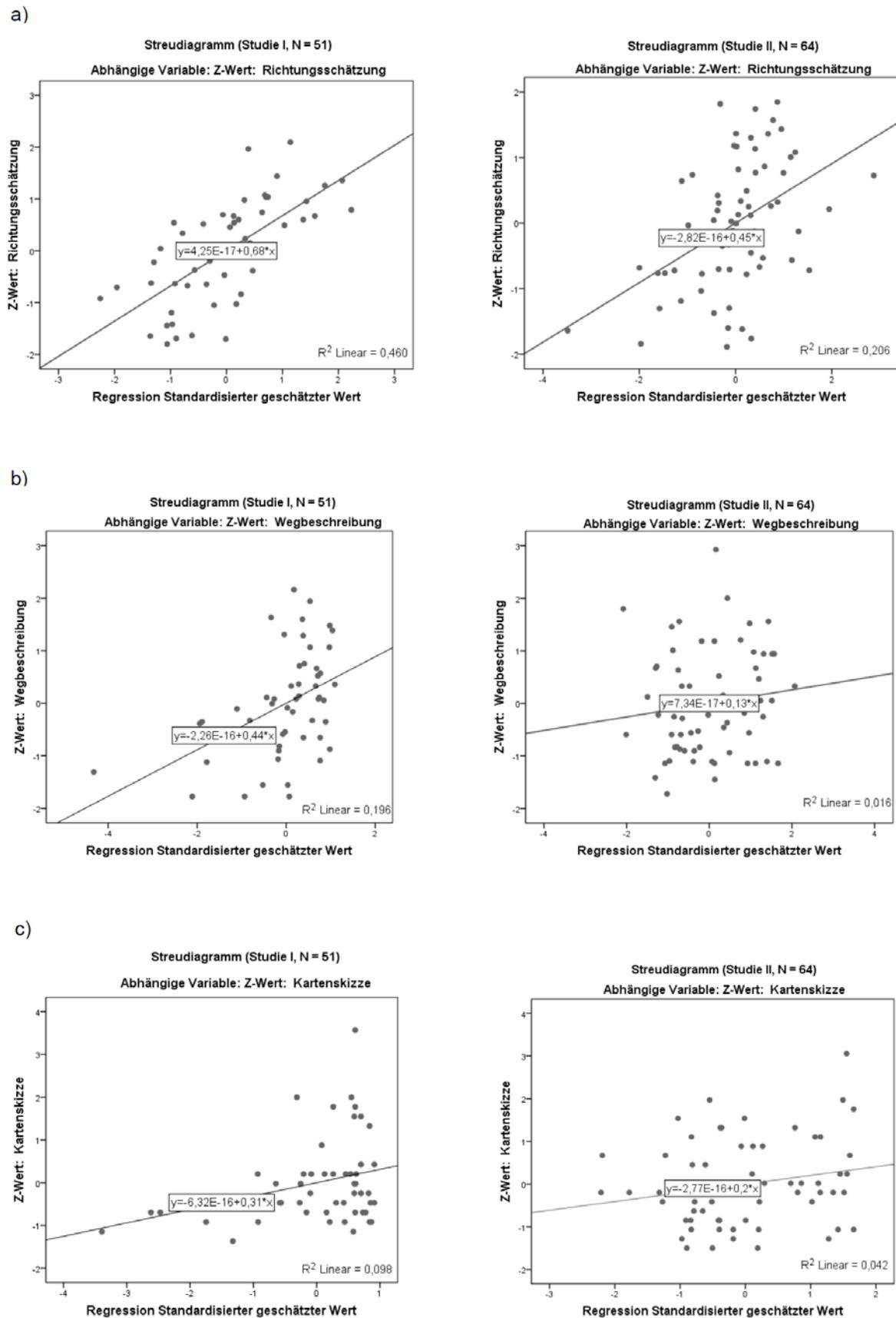


Abbildung 15. Grafische Darstellung des Zusammenhangs von standardisierten geschätzten Werten und empirisch gemessenen Werten in den Kriterien des räumlichen Lernens aus den Studien I und II

### *Effekte des Trainings auf den Einsatz der Explorationsstrategien*

Um die entsprechenden Forschungsfragen zu beantworten, wurde mittels Regressionsanalysen geprüft, ob der effektive Einsatz der Explorationsstrategien während des Lernens im virtuellen Gebäude durch das Training mit oder ohne Lernhilfen beziehungsweise durch die Art der Lernhilfen erklärt werden kann. Hierbei wurden die Variablen K1 und K2, welche die Kontraste zwischen den Trainingsbedingungen abbilden, als Prädiktoren in die Analysen eingeschlossen. Die unterschiedlichen Komponenten des Strategieeinsatzes (quantitative und qualitative Indizes) wurden separat untersucht. Die Ergebnisse werden in den Tabellen 18 und 19 präsentiert. Tabelle 18 stellt die Regressionsmodelle der Analyse von quantitativen Strategiekomponenten dar, während Tabelle 19 die Regressionsergebnisse hinsichtlich der qualitativen Strategiekomponenten zusammenfasst.

Tabelle 18

Regressionsanalyse zur Vorhersage des Einsatzes von Explorationsstrategien (quantitative Indizes) durch das Training; standardisierte Koeffizienten

Modell 1: $F(2,63) = 1.15; p > .05; R^2 = .04$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Kartenschieben	K1	3456.28	3372.60	.13	1.03	.31
	K2	6720.42	5805.22	.15	1.16	.25
Modell 2: $F(2,63) = 1.64; p > .05; R^2 = .05$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Zoomen	K1	-1.90	1.42	-.17	-1.34	.19
	K2	2.84	2.44	.15	1.17	.25
Modell 3: $F(2,63) = 3.15; p = .05; R^2 = .09$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
horiz. Rotation	K1	36.86	15.68	.29	2.35	.02
	K2	-21.23	26.99	-.10	-.79	.44
Modell 4: $F(2,63) = .31; p > .05; R^2 = .01$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
vertik. Rotation	K1	4.69	6.06	.10	.77	.44
	K2	1.55	10.44	.02	.15	.88
Modell 5: $F(2,63) = 1.56; p > .05; R^2 = .05$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Etagenwechsel	K1	.12	.40	.04	.29	.76
	K2	-1.20	.69	-.22	-1.73	.09
Modell 6: $F(2,63) = .61; p > .05; R^2 = .02$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Egoperspektive (%)	K1	-.11	.42	-.03	-.27	.79
	K2	.77	.73	.13	1.06	.30

*Anmerkung.*

K1 = Training ohne Lernhilfen vs. Training mit Lernhilfen; K2 = Training mit kognitiven Lernhilfen vs. Training mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen

Die Regressionsanalysen zeigen mit nur einer Ausnahme keine signifikanten Vorhersagebeiträge des Trainings auf die effektive Nutzung der Explorationsstrategien. Es zeigt sich lediglich bei häufiger Nutzung der horizontalen Rotationsmöglichkeit ein minimaler, jedoch signifikanter Effekt des Trainings ( $R^2 = .09; F(2,63) = 3.15; p = .05$ ). Hierbei scheint sich das Training mittels Lernhilfen vs. ohne Lernhilfen (K1:  $\beta = .29, p < .05$ ) auf die Häufigkeit der Nutzung der Rotationsfunktion auszuwirken. Hinsichtlich der qualitativen Aspekte

der Explorationsstrategien sind keine signifikanten Effekte des Trainings nachweisbar (s. Tabelle 19). Die effektive Nutzung der Explorationsstrategien wird durch das Training nicht gefördert. Dies gilt sowohl für die häufige Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten als auch für den qualitativen Einsatz von ego-beziehungsweise überblickbasierten Strategien. Unabhängig davon, ob mit Lernhilfen oder ohne diese trainiert wurde beziehungsweise welche Strategiekomponenten trainiert wurden, zeigten sich diesbezüglich keine Effekte. Die Lernenden zeigen nach dem Training keine Unterschiede hinsichtlich ihres strategischen Verhaltens. Die diesbezüglich formulierte Hypothese kann daher nicht bestätigt werden.

Tabelle 19

*Regressionsanalyse zur Vorhersage des Einsatzes von Explorationsstrategien (qualitative Indizes) durch das Training; standardisierte Koeffizienten*

Modell 1: $F(2,41) = 1.22; p > .05; R^2 = .06$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Überblicksstrategie	K1	-.35	.38	-.14	-.91	.37
	K2	-.92	.69	-.21	1.33	.19
Modell 2: $F(2,62) = .01; p > .05; R^2 = .00$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Strukturstrategie	K1	.02	.14	.01	.11	.92
	K2	-.01	.25	-.01	-.06	.96
Modell 3: $F(2,24) = 0.66; p > .05; R^2 = .06$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Säulenstrategie	K1	.24	.23	.22	1.06	.30
	K2	-.20	.52	-.08	-.39	.70
Modell 4: $F(2,36) = 1.64; p > .05; R^2 = .09$						
Kriterium	Prädiktor	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>
Ego-Strategie	K1	.58	.33	.29	1.75	.09
	K2	-.25	.50	-.08	-.50	.62

Auf Grundlage der geringen und nicht-signifikanten Zusammenhänge zwischen den Strategieindizes und den Kriterien des räumlichen Lernens (s. Tabelle 15) wurde die geplante Untersuchung, ob der Strategieeinsatz über den Einfluss der Trainingsbedingungen hinaus, die Leistungsunterschiede im räumlichen Wissenserwerb erklären kann, nicht mehr durchgeführt. Weder die Nutzungshäufigkeit von vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten, noch der effektive Einsatz der qualitativen Strategiekomponenten agieren hier als Prädiktoren des räumlichen Lernens über das virtuelle Gebäudemodell. Ob sich die Strategienutzung möglicherweise indirekt durch den Einfluss von Personenvariablen auf das räumliche Lernen auswirkt, wird im Folgenden dargestellt. Nach MacKinnon (2008) kann ein indirekter Zusammenhang von der unabhängigen Variable über eine weitere Variable mit der abhängigen Variable angenommen werden, wenn dieser Pfad statistisch bedeutsam ist, obwohl der direkte Pfad nicht signifikant ausfällt.

#### *Analyse des indirekten Einflusses vom Strategieeinsatz auf Lernerfolgskriterien über Personenfähigkeiten*

Es wurde geprüft, ob es trotz der nicht bedeutsamen Korrelationen zwischen dem Einsatz der Explorationsstrategien der Lernenden und ihrer Leistung im räumlichen Wissenserwerb einen indirekten Zusammenhang zwischen diesen über die Personenvariablen gibt.

Um einen signifikanten, indirekten Einfluss der effektiven Nutzung der Strategien auf die Lernerfolgskriterien des räumlichen Wissenserwerbs zu überprüfen, wurden multiple Regressionsmodelle berechnet. Dabei wurden die Nutzung der quantitativen und qualitativen Strategiekomponenten als unabhängige Variablen und die Lernleistung in der Richtungsschätzung und Wegbeschreibung als abhängige Variablen berücksichtigt. Die Leistung in der Kartenskizze wurde in die Analyse nicht aufgenommen, da hierbei kein signifikanter Zusammenhang mit Personenvariablen nachweisbar ist. Bei der Überprüfung der möglichen Effekte auf die Richtungsschätzung wurden die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung und Vorerfahrungen mit Computerspielen als mögliche vermittelnde Variablen in die Analyse aufgenommen, da diese zwar mittelmäßige, jedoch signifikante Zusammenhänge

mit der Richtungsschätzung (HP:  $\beta = -.31$ ,  $p = .01$ ; PC-Spiele:  $\beta = -.27$ ,  $p < .05$ ) aufweisen. Bei der Wegbeschreibung wird lediglich die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung als potenziell vermittelnde Personenvariable in die Analyse einbezogen, da ausschließlich zwischen diesen beiden Variablen ein signifikanter Zusammenhang ( $\beta = .30$ ,  $p = .03$ ) besteht.

Zur Erklärung des indirekten Effekts des Strategieeinsatzes auf die Leistung in der Richtungsschätzung scheinen die Personenvariablen lediglich einen Zusammenhang mit den qualitativen Strategiekomponenten zu vermitteln. Ihr vermittelnder Effekt auf die quantitativen Strategiekomponenten (Häufigkeit der Nutzung von Interaktionsmöglichkeiten) ist hingegen nicht nachweisbar. Die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung zeigt einen signifikanten Effekt auf den Zusammenhang zwischen der effektiven Nutzung der Überblicksstrategie und des Lernerfolgs (BootLLCI= -3.8129/BootULCI= -.4409; mit geschätzter Stärke von 1.0454). Die Vorerfahrung mit Computerspielen vermittelt den Zusammenhang zwischen dem effektiven Einsatz der Strukturstrategie und dem Lernerfolg (BootLLCI= -3.9634/BootULCI= -.1858; mit geschätzter Stärke von 1.1600). Bei der Lernleistung in der Wegbeschreibung zeigt sich ein ähnliches Resultat. Die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung scheint den indirekten Einfluss zwischen der effektiven Nutzung der Überblicksstrategie und dem Lernerfolg (BootLLCI= .1765/BootULCI= 3.5390; mit geschätzter Stärke von .9789) zu vermitteln. Hinsichtlich des indirekten Zusammenhangs mit der quantitativen Nutzung der Rotationsfunktion (horizontale Rotation) zeigt die Personenfähigkeit zur Mustererkennung zwar einen minimalen, jedoch signifikanten Effekt (BootLLCI= -.0374/BootULCI= -.0018; mit geschätzter Stärke von .0096).

---

*Analyse des moderierenden Effekts der Trainingsbedingungen hinsichtlich der Auswirkungen der Personenvariablen auf die Lernerfolgskriterien*

Um die Hypothesen hinsichtlich der moderierenden Effekte des Trainings auf die individuellen Personenvariablen für die Erklärung der Leistungsunterschiede im räumlichen Wissenserwerb zu prüfen, wurden eine Reihe multipler hierarchischer Regressionsmodelle berechnet. In die Moderationsanalyse wurden folgende Prädiktorvariablen als zentrierte Variablen einbezogen: Mustererkennung, Perspektivenübernahme, Zeitfaktor der mentalen Rotationsfähigkeit, selbsteingeschätzte global-egozentrische und überblickbasierte Orientierungsstrategien sowie Vorerfahrungen mit Computerspielen. Die weiteren Prädiktorvariablen (die Anzahl der Fehler in der mentalen Rotation, die Skala der Himmelsrichtung als Orientierungsstrategie und die Vorerfahrungen mit Computern im Allgemeinen) wurden in der Regressionsanalyse nicht berücksichtigt, da sie sich in der vorangegangenen Untersuchung (Studie I) nicht als besonders starke Prädiktoren des räumlichen Lernens erwiesen haben. Die Moderatorvariablen K1 und K2, welche die Kontraste zwischen den Trainingsbedingungen darstellen, wurden dabei als Einzelmoderatoren in die Analyse einbezogen. Zunächst wird K1 als Kontrast zwischen dem Training ohne vs. mit Lernhilfen und anschließend K2 als Kontrast zwischen den Trainingsbedingungen mit kognitiven vs. kognitiven und metakognitiven Lernhilfen berücksichtigt. Schließlich wird der Produktterm aus dem jeweiligem Prädiktor und Moderator gebildet, um diesen anschließend zusätzlich zu diesen Variablen in die multiple Regression eingehen zu lassen.

Tabelle 20 präsentiert die Regressionsmodelle hinsichtlich der Vorhersage der Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung. Dabei stellen die Modelle M1 bis M6 die Analyse der Effekte vom Vergleich zwischen Training ohne vs. mit Lernhilfen dar. Modelle M7 bis M12 geben die Ergebnisse zur Vergleichsanalyse zwischen den Trainingsbedingungen mit lediglich kognitiven gegenüber dem Training mit kombinierten (kognitiven und metakognitiven) Lernhilfen an.

Tabelle 20

*Multiple Regressionsmodelle zur Analyse des moderierenden Effekts von Trainingsbedingungen auf die Personenfähigkeiten zur Vorhersage des räumlichen Lernens in der Richtungsschätzung; standardisierte Koeffizienten (N = 64)*

Prädiktor	M 1 $\beta$	M 2 $\beta$	M 3 $\beta$	M 4 $\beta$	M 5 $\beta$	M 6 $\beta$	M 7 $\beta$	M 8 $\beta$	M 9 $\beta$	M 10 $\beta$	M 11 $\beta$	M 12 $\beta$
Step 1												
K1	-.09	-.04	-.03	-.04	-.09	.05						
K2							.09	.08	.08	.07	.06	.07
zHP	-.37**						-.40**					
zPT		.30**						.28**				
zMR (Zeit)			.08						.07			
zFRS1				-.23						-.21		
zFRS2					-.18						-.17	
zPC-Spiele						-1.85						-.26*
K1*zHP	.11											
K1*zPT		-.13										
K1*zMR (Zeit)			-.07									
K1*zFRS1				-.03								
K1*zFRS2					.22							
K1*zPC-Spiele						1.58						
K2*zHP							-.21					
K2*zPT								.03				
K2*zMR (Zeit)									.04			
K2*zFRS1										.06		
K2*zFRS2											.12	
K2*zPC-Spiele												-.03
R <sup>2</sup>	.11+	.09	.01	.06	.09	.09	.15**	.08	.01	.06	.05	.08

Anmerkung. + $p < .06$ ; \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ; R<sup>2</sup>: Anteil aufgeklärter Varianz

Die Resultate, die aus Tabelle 20 zu entnehmen sind, liefern keine signifikanten Interaktionsterme des Prädiktors und Moderators, weder in den Trainingsbedingungen mit vs. ohne Lernhilfen, noch in den Trainingsbedingungen mit kognitiven vs. kognitiven und metakognitiven Komponenten. Dies bedeutet, dass keine bedeutsamen Interaktionseffekte des Trainings beziehungsweise der Art des Trainings und der individuellen Prädiktoren bei der Erklärung der Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung nachweisbar sind. Die Differenzen zwischen den Lernenden der Trainingsbedingungen mit beziehungsweise ohne Lernhilfen werden hinsichtlich ihrer räumlichen Leistung in der Richtungsschätzung hauptsächlich durch ihre visuell-räumlichen Fähigkeiten

der Mustererkennung und des Perspektivenwechsels vorhergesagt. Der Vorhersagebeitrag der Personenvariablen auf die Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung wird nicht dadurch moderiert, ob lediglich kognitive oder kognitive und metakognitive Strategiekomponenten gemeinsam trainiert werden.

Ein ähnliches Ergebnis wie in der Richtungsschätzung ist bei der Vorhersage der Leistungsunterschiede in der Kartenskizze zu beobachten. Eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse der Moderationsanalyse wird an dieser Stelle nicht gegeben. Es ist kein interaktiver Einfluss des Trainings – weder hinsichtlich des Vorhandenseins von Lernhilfen, noch bezüglich der unterschiedlichen Art der Lernhilfen – auf die individuellen Prädiktoren nachweisbar. Diesen Resultaten zufolge werden die Hypothesen nicht bestätigt.

Hinsichtlich der Leistungsunterschiede in der Wegbeschreibung ist ein interaktiver Effekt des Trainings mit beziehungsweise ohne Lernhilfen und der visuell-räumlichen Fähigkeit der Mustererkennung beobachtbar. Dies zeigt sich durch den signifikanten Interaktionsterm ( $\beta = -.30, p < .05$ ). Hierbei stimmt das Vorzeichen des Regressionsgewichts der Interaktion mit der Hypothese überein. Das negative Vorzeichen des Interaktionsterms zeigt, dass der positive Zusammenhang zwischen Prädiktor und Kriterium (je geringer die Fähigkeit zur Mustererkennung ausgeprägt ist, desto schlechter fällt die Beschreibung der Route aus) durch das Training mit beziehungsweise ohne Lernhilfen vermindert wird, d.h. durch das Training wird der Zusammenhang zwischen niedriger Fähigkeit der Mustererkennung und schlechter Leistung bei der Wegbeschreibung geringer. Für eine bessere Visualisierung des Effekts und der Art der Wechselwirkung wird im Folgenden eine Grafik dargeboten (s. Abbildung 16). Hierbei werden für zwei Werte des Moderators (Training ohne vs. mit Lernhilfen) die Regressionsgeraden für die Kriterium-Prädiktor-Korrelation visualisiert. Für den Prädiktor werden diejenigen Werte genommen, die dem Mittelwert entsprechen oder eine Standardabweichung über beziehungsweise unter diesem Wert liegen.

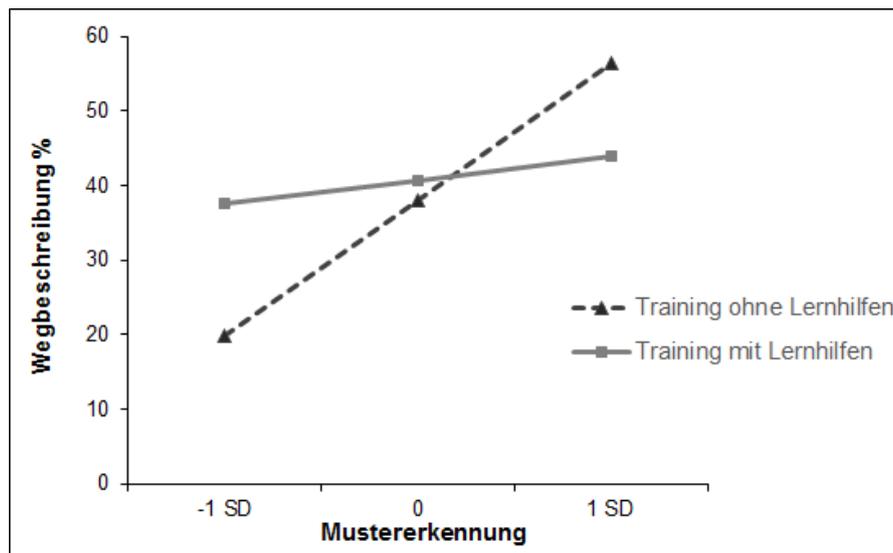


Abbildung 16. Grafische Darstellung des Moderationseffekts des Trainings mit vs. ohne Lernhilfen auf die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung für den Lernerfolg in der Wegbeschreibung

Wie aus der Grafik zu entnehmen ist, zeigt sich ein Haupteffekt der Personenfähigkeit hinsichtlich der Mustererkennung. Die Lernenden mit gut ausgeprägter Fähigkeit der Mustererkennung schneiden stets besser ab, als diejenigen mit weniger guten Fähigkeiten. Allerdings profitieren die Lernenden mit wenig ausgeprägten visuell-räumlichen Fähigkeiten zur Mustererkennung vom Training mittels Lernhilfen mehr als von demjenigen ohne Lernhilfen, um bessere Ergebnisse in der Beschreibung der Route zu erzielen. Dieser Effekt ist bei den Lernenden mit gut ausgeprägten Fähigkeiten nicht zu sehen, sie benötigen keine Lernhilfen, um erfolgreicher zu sein. Erhalten sie allerdings eine Trainingseinheit mit Lernhilfen, liefern sie schlechtere Leistungen in der räumlichen Aufgabe der Wegbeschreibung ab als wenn sie keine Lernhilfen erhalten. Die weniger steile Linie des Trainings mit Lernhilfen deutet auf diesen Effekt hin. Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen dem Training mit unterschiedlichen Arten von Lernhilfen und den Personenfähigkeiten auf die Leistungsunterschiede in der Wegbeschreibung zeigen sich allerdings keine signifikanten Unterschiede. Den Resultaten zufolge können die diesbezüglichen Moderationshypothesen daher nur bedingt bestätigt werden.

## 5.4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde zunächst untersucht, ob das Training der kognitiven und metakognitiven Komponenten beim interaktiven Umgang mit dem virtuellen Modell die Leistung hinsichtlich des Verstehens räumlicher Strukturen des Gebäudes beeinflusst. Hierzu wurden Trainingseffekte auf die Komponenten des räumlichen Lernens erwartet. Es wurde angenommen, dass die Lernenden in den Trainingsbedingungen mit Prompts (TK & TKM) einen höheren Lernerfolg als diejenigen ohne Prompts erzielen. Außerdem wurde die Hypothese formuliert, dass die Lernenden mit kombinierten Prompts – kognitive wie auch metakognitive Lernhilfen – einen höheren Lernerfolg erzielen als die Lernenden, die ausschließlich kognitive Lernhilfen erhalten. Die Ergebnisse der Zusammenhangsanalysen können diese Hypothesen jedoch nicht bestätigen. Das Training – mit oder ohne Prompts – und die Art des Trainings können offensichtlich die Unterschiede in den Leistungen der Probanden weder in der Richtungsschätzung, noch in der Wegbeschreibung, noch in der Kartenskizze vorhersagen. Die Trainingsbedingungen unterscheiden sich also in ihren Effekten nicht voneinander. Unabhängig davon, ob die Lernenden nur in kognitiven Strategien oder in kognitiven wie auch metakognitiven Strategien trainiert wurden, oder sogar überhaupt keine Lernhilfen erhalten, wird der gleiche Lernerfolg beim räumlichen Wissenserwerb erzielt. Ein erster möglicher Grund für dieses Ergebnis ist die geringe Anzahl der Versuchspersonen. Mit einer größeren Stichprobenzahl wären die Varianzen bedeutsamer. Eine weitere Erklärung ist die große Varianz zwischen den Lernenden innerhalb der Gruppen hinsichtlich ihres räumlichen Lernerfolgs.

Weiterhin kann vermutet werden, dass sich die Trainingseinheiten nicht wesentlich unterscheiden (Validität des Trainings) oder die Strategiekomponenten nicht ausreichend trainiert wurden. Auch die begrenzte Trainingszeit könnte als Ursache der nicht-signifikanten Unterschiede zwischen den Trainingsbedingungen benannt werden. Den Lernenden wird im Rahmen der drei Trainingsbedingungen eine Trainingszeit von 24 Minuten fest vorgegeben. Dies wurde in dieser Form implementiert, um bei der Analyse der Trainingseffekte die Zeit als mögliche Störvariable zu kontrollieren. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Lernenden der Trainingsgruppe mit kombinierten Lernhilfen (TKM) vermutlich deutlich mehr

Zeit zum Trainieren benötigen als die Gruppen mit kognitiven Lernhilfen (TK) oder ohne Prompts (T). Aufgrund der größeren Anzahl und aufgrund der Art der Lernhilfen in der Bedingung mit kombinierten Lernhilfen wurden an die Lernenden innerhalb derselben Zeit insgesamt höhere Anforderungen gestellt, als an die Lernenden der beiden anderen Gruppen. Dies könnte möglicherweise zu hoher kognitiver Belastung der Lernenden führen, so dass in der Summe schlechter gelernt wurde (vgl. Schnotz, Seufert & Bannert, 2001; Bannert, 2005). Eine weiterführende Analyse der kognitiven Belastung während der drei Trainingsbedingungen könnte für diese Annahme Belege liefern. Weiterhin könnten über eine qualitative Analyse der Instruktionsaufgaben, die während des Trainings bearbeitet wurden, detailliertere Aufschlüsse über die Effekte des Trainings und seiner Komponenten erzielt werden. Der Einbezug von qualitativen Aspekten bei der Bearbeitung von Instruktionsaufgaben und die Analyse von deren Einfluss auf den räumlichen Lernerfolg könnte ebenfalls Teil künftiger Studien sein.

Es kann dennoch ein Effekt des Trainings (gegenüber keinem Training) beobachtet werden. Auf Grundlage der regressionsanalytischen Ergebnisse der vorherigen Studie (Studie I) lässt sich in der vorliegenden Studie für einen tendenziellen Effekt des Kurzzeit-Trainings plädieren. Solch ein Vergleich ist an dieser Stelle unproblematisch, da die beiden Studien hinsichtlich der eingesetzten Instrumente und Materialien identisch sind. Bemerkenswert ist zunächst, dass die Effekte der individuellen Personenvariablen in den Trainingsbedingungen im Vergleich zur Bedingung ohne Training an Bedeutung verlieren. Während in der Bedingung ohne Training die Leistungsvariabilität in der Richtungsschätzung auf individuelle Personenvariablen (visuell-räumliche Fähigkeiten, selbsteingeschätzte Orientierungskompetenz und Erfahrungen mit Computerspielen) zurückzuführen ist (46% Varianzaufklärung, s. Ergebnisse Studie I), spielen diese Lernervoraussetzungen in den Trainingsbedingungen eine geringere Rolle (21% Varianzaufklärung). Offensichtlich kann das kurzzeitige Training somit die Wirkung von inter-individuellen Einflüssen reduzieren. Um dieses Ergebnis replizieren zu können, wäre eine weitere Studie notwendig, in der zusätzlich zu den Trainingsgruppen auch eine Kontrollgruppe einbezogen werden sollte. Dabei könnten die Effekte der inter-individuellen Personeneigenschaften auf den

räumlichen Wissenserwerb in Abhängigkeit von den jeweiligen Trainingsbedingungen genauer geprüft werden.

Es ist zudem erkennbar, dass unter dem Einfluss des Trainings nicht alle bereits bedeutenden Personenfähigkeiten die Unterschiede in den Leistungsmaßen erklären können. Dies bedeutet, dass mit dem Training die Personenvariablen bei der Vorhersage des räumlichen Lernens an Bedeutung verlieren. Entgegen den Erwartungen und den Ergebnissen der vorherigen Studie wird die Leistung der Lernenden in der Richtungsschätzung nur durch die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung und durch die Vorerfahrungen mit Computerspielen erklärt. Weder die visuell-räumliche Fähigkeit der Perspektivenübernahme, noch die mentale Rotationsfähigkeit, noch die selbstberichtete Orientierungskompetenz präzisieren diese Leistung. Es kann daher vermutet werden, dass das Training der Strategien bei der Exploration der interaktiven virtuellen Modelle den Effekt der Personenvariablen kompensieren kann.

Es wurde zudem untersucht, ob der effektive Einsatz der Explorationsstrategien während des Lernens im virtuellen Gebäude durch das Training mit oder ohne Lernhilfen beziehungsweise durch die Art der Lernhilfen gefördert werden kann. Bei der Betrachtung der Zusammenhangsanalysen wird jedoch deutlich, dass die Nutzung der Strategien bei der Exploration des virtuellen Modells, sei es die häufige Nutzung der Interaktionsfunktionen oder die effektive Nutzung der qualitativen Strategiekomponenten, weder durch das Training mittels Lernhilfen vs. ohne, noch durch die unterschiedliche Art der Lernhilfen erklärt werden kann. Eine nicht ausreichende Übung der Strategiekomponenten könnte als mögliche Erklärung hierfür herangezogen werden. Es gibt zudem geringe Zusammenhänge zwischen der Strategienutzung und den Leistungsunterschieden in den Kriterien des räumlichen Lernens. Hierbei könnte die bereits erwähnte weiterführende Analyse in Betracht gezogen werden, in welcher untersucht werden sollte, ob sich die Qualität der Bearbeitung der Lernhilfen auf die Nutzung der Explorationsstrategien auswirkt und damit den erfolgreichen Erwerb der räumlichen Informationen beeinflusst (Mediationseffekt der Bearbeitung der Lernhilfen).

Es wurde zudem vermutet, ob die Personenvariablen den Zusammenhang zwischen der Strategienutzung und dem räumlichen Lernen indirekt beeinflussen. Es wurde erwartet, dass die Ausprägungen der Personenvariablen den Vorhersagebeitrag der Strategienutzung auf das Kriterium des räumlichen Lernens vermitteln. Die Analysen bestätigen allerdings mit wenigen Ausnahmen diese Annahmen nicht. Bei der Analyse der indirekten Effekte können lediglich beim räumlichen Lernerfolg in der Richtungsschätzung beziehungsweise der Wegbeschreibung und ausschließlich hinsichtlich des Zusammenhangs mit qualitativen Aspekten der Strategienutzung minimale (signifikante) Effekte identifiziert werden. Bei der Erklärung der Leistungsunterschiede in der Kartenskizze werden jedoch keine Effekte nachweisbar. Bei der Berechnung der Regressionen verlieren die Personenvariablen an Bedeutung, ihre indirekten Pfade leisten keine signifikanten Beiträge. Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse stellt sich die Frage, ob valide Strategiekomponenten auf diese Weise überhaupt gefunden werden können. Die Beantwortung dieser Frage erfordert weitere Methoden und Analysen, die in zusätzlichen Studien zur Anwendung kommen könnten.

Schließlich wurden Wechselwirkungen zwischen den Trainingsbedingungen und den individuellen Prädiktoren auf die Erklärung der Leistungsunterschiede im räumlichen Lernen erwartet. Es wurde hierbei angenommen, dass unter verschiedenen Trainingsbedingungen der Zusammenhang zwischen den Personenvariablen und dem Lernerfolg variiert. Die Hypothese bezüglich der Leistung in der Richtungsschätzung konnte nicht bestätigt werden. Es zeigte sich hierbei kein signifikanter Effekt der Personenfähigkeit in Wechselwirkung mit den unterschiedlichen Trainingsbedingungen. Personen mit gut ausgeprägten visuell-räumlichen Fähigkeiten erzielten ein besseres Ergebnis in der Richtungsschätzung, unabhängig davon, ob sie mittels Lernhilfen oder ohne diese beziehungsweise ob sie mittels unterschiedlichen Lernhilfen trainiert wurden. Bei der Leistung in der Kartenskizze konnte ebenfalls keine Wechselwirkung des Trainings und der Personenfähigkeit bestätigt werden. Hierbei zeigten sich weder Haupt- noch Interaktionseffekte. Festzustellen ist allerdings eine signifikante Wechselwirkung des Trainings und des individuellen Prädiktors der Mustererkennung auf die Leistungsunterschiede in der Wegbeschreibung. Hierbei scheinen die Lernenden mit gering ausgeprägter Personenfähigkeit von der

Trainingseinheit mittels Lernhilfen zu profitieren. Diejenigen mit gut ausgeprägter Fähigkeit dagegen liefern bessere Ergebnisse, wenn sie keine Lernhilfen erhalten. Dass es bezüglich des moderierenden Effekts zwischen den Trainingseinheiten mit lediglich kognitiven beziehungsweise mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen Unterschiede gibt, konnte nicht bestätigt werden.

## **6 Gesamtdiskussion und Ausblick**

Basierend auf den beschriebenen theoretischen Grundlagen sowie auf den Zielsetzungen dieser Arbeit wurden drei aufeinander aufbauende empirische Untersuchungen zum Erwerb von räumlichen Zusammenhängen eines interaktiven, virtuellen Gebäudemodells durchgeführt. Dabei wurden anhand von unterschiedlichen Methoden die Auswirkungen verschiedener Faktoren auf den räumlichen Wissenserwerb geprüft. Mehrere Kriterien des räumlichen Lernens – insbesondere überblick- und routenbasierter Informationserwerb – wurden hierbei separat berücksichtigt. Das Ziel von allen drei Untersuchungen war es, vor allem Aussagen über kausale Zusammenhänge im räumlichen Lernen beziehungsweise über Einflussfaktoren auf die räumliche Lernleistung treffen zu können. Trotz der Variation in den Versuchsabläufen ähneln sich die Paradigmen überwiegend hinsichtlich der verwendeten Materialien und Instrumente sowie hinsichtlich des kombinierten Einsatzes von qualitativen und quantitativen Verfahren zur Erfassung von Prozessdaten. Anhand von drei Nachtests der Richtungsschätzung, der Wegbeschreibung und der Kartenskizze mit ihren Subaufgaben wurden zwei differenzielle Fähigkeiten der Lernenden, d.h. der überblicks- beziehungsweise routenbasierte Erwerb von räumlichen Informationen, getestet. Die Erfassung der strategischen Vorgehensweise der Lernenden und deren Analyse erfolgte sowohl durch qualitative als auch quantitative Methoden in Kombination mit einem retrospektiv eingesetzten Reflexionsfragebogen. Durch den Einsatz dieses multiplen Verfahrens wurde versucht, die in vorherigen Forschungsarbeiten berichteten methodischen Mängel in der Erfassung des Strategieverhaltens der Lernenden auszuräumen.

Hinsichtlich des Erwerbs von räumlichen Informationen im virtuellen Gebäude wurden die direkten Vorhersageeffekte der Personeneigenschaften, der Explorationsstrategien und des Trainings von kognitiven und metakognitiven Strategiekomponenten analysiert. Zudem wurde der Effekt des Geschlechts überwiegend im indirekten Zusammenhang mit Personenvariablen untersucht. Der mögliche Moderationseffekt des Trainings wurde in der Wechselwirkung mit individuellen Personeneigenschaften geprüft.

In diesem abschließenden Kapitel sollen die relevanten Befunde der drei empirischen Studien zusammengefasst und in integrativer Weise diskutiert werden. Zunächst erfolgt auf Grundlage der empirischen Ergebnisse eine zusammenfassende Beantwortung der Forschungsfragen, die vor der Durchführung der vorliegenden Studien formuliert worden waren. Damit wird gleichzeitig eine Übersicht über die gesamten Befunde ermöglicht. Im Anschluss daran werden aus der Dissertation resultierende methodische Implikationen erörtert. Es werden einige methodische Aspekte kritisch aufgenommen, damit sie in künftigen Forschungsarbeiten berücksichtigt werden können. Über die Identifizierung von methodischen Limitationen der vorliegenden Arbeit hinaus ergeben sich dadurch Perspektiven für weitere Studien zur Thematik dieser Dissertation.

## **6.1 Zusammenfassende Beantwortung der Fragestellungen**

*Inwieweit lassen sich die Explorationsstrategien der Lernenden während des Umgangs mit interaktiven Steuerungsmöglichkeiten in virtuellen Gebäudemodellen klassifizieren? Wie differenzieren sich diese Klassifikationen voneinander?*

Zur handlungsnahen Identifikation der vom Lerner benutzten Strategien sind reliable und valide Erhebungsmethoden erforderlich. Hierzu wurden vier gebräuchliche Methoden als Erhebungsverfahren eingesetzt: Methode des Lauten Denkens, Protokollierung der Logfile-Daten, Videoaufzeichnung und Reflexionsfragebogen. Wegen der bereits im Theorieteil erläuterten Kritik an den Fragebogen-Verfahren (es stelle keine valide handlungsnaher Methode dar) wurde dieses Verfahren in der vorliegenden Arbeit nur als Methode zur retrospektiven Reflexion der Strategien eingesetzt. Aus der Analyse der durch Protokolldaten und Videos erhobenen Daten wurden zwei verschiedene Arten von Strategien

klassifiziert. Diese bilden unterschiedliche Komponenten der selbstgesteuerten Explorationsstrategien beim Lernen des virtuellen Modells in dieser Arbeit ab. Die erste Strategieguppe, welche mit den quantitativen Strategieindizes bezeichnet wird, ergibt die quantitative Nutzung der zur Verfügung stehenden Interaktionsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Nutzung von räumlichen Perspektiven (z.B. Häufigkeit des Zoomens in der allozentrischen Ansicht, Anzahl der Etagenwechsel in der allozentrischen Ansicht, Nutzung des Avatars in der egozentrischen Perspektive ...). Die vier identifizierten Strategien der zweiten Gruppe (Überblicks-, Säulen-, Struktur- und Egozentrische Strategie) ergeben dahingegen eine Klassifikation der Strategiekomponenten, welche auf die kognitiven und metakognitiven Explorationsaktivitäten beim Umgang mit den interaktiven Kontrollmöglichkeiten abzielen. Ihr effektiver Einsatz wird außerdem anhand von qualitativen Indizes der Strategienutzung dargestellt, welche als möglicherweise bedeutsame Prädiktorvariablen für das räumliche Lernen näher untersucht wurden. Die Qualität der Nutzung dieser Strategien durch den Lerner wurde hinsichtlich des Aspektes bewertet, wie systematisch er die entsprechenden Aktivitäten durchführt. Die systematische Nutzung wird wiederum mit einer zielgerichteten und geplanten Vorgehensweise bei der Nutzung der interaktiven Steuerungsmöglichkeiten assoziiert.

*Was ist eine gute Strategie hinsichtlich des Lernens der räumlichen Strukturen des Gebäudemodells? Wenden erfolgreiche Lerner beim räumlichen Lernen effizientere Strategien an als weniger erfolgreiche Lerner?*

Auf Grundlage der hier bereits erläuterten Theorie wurde angenommen, dass die effektive Nutzung der zur Verfügung stehenden interaktiven Steuerungsmöglichkeiten während der Exploration beziehungsweise des Lernens von großer Bedeutung ist. Diese Steuerungsmöglichkeiten sind zum Verständnis von räumlichen Zusammenhängen (z.B. der Räume eines virtuellen Gebäudes) und zur erfolgreichen Bildung einer mentalen Raumrepräsentation erforderlich. Somit ist die Effektivität der Nutzung von interaktiven Repräsentationen davon abhängig, wie strategisch mit diesen interaktiven Möglichkeiten umgegangen wird. Da das Ziel im Paradigma der vorliegenden Arbeit jeweils das Erlernen von räumlichen Informationen war, wurde hierbei von selbstgesteuerten (Lern-) Strategien gesprochen. Deren Qualität hängt davon ab, wie systematisch die

kognitiven und auch die regulativen (metakognitiven) Aktivitäten beziehungsweise Strategien der Lernenden während der Exploration des Modells vorstattengehen. Beispielsweise wird die Nutzung der Strukturstrategie eines Probanden als gut bewertet, wenn er zum Zwecke des Verstehens der Gebäudestruktur alle oder zumindest einige Stockwerke durchschaltet, diese miteinander vergleicht und dabei insbesondere die Nutzung der allozentrischen Perspektive mit ihren Interaktionsmöglichkeiten bevorzugt nutzt. Die Bewertung von entsprechenden Kriterien anhand eines Rasters gibt die qualitativen Aspekte der Nutzung von Strategien wieder. Hinsichtlich der strategischen Vorgehensweise bei der Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten (Qualität der Strategien) unterscheiden sich die erfolgreichen und weniger erfolgreichen Lerner in einigen Aspekten. Zahlreiche Lernende, die bessere Leistungen beim Erwerb von räumlichen Informationen erreichen, scheinen diese Strategien in einem qualitativ höherwertigen Ausmaß anzuwenden als diejenigen mit geringerem Lernerfolg. Es ist jedoch zu erwähnen, dass nicht alle guten Lerner tatsächlich alle Strategien anwenden beziehungsweise diese Strategien nicht zwingend in einer qualitativ hochwertigen Weise einsetzen.

*Inwieweit haben diese Strategien Einfluss auf die unterschiedlichen Komponenten des räumlichen Wissenserwerbs (routen- und überblickbasiertes Wissen)?*

Die Notwendigkeit der Nutzung von effektiven Strategien beim Umgang mit interaktiven Explorationsmöglichkeiten (kognitive und/oder metakognitive Strategien) zum erfolgreichen Lernen von räumlichen Strukturen in virtuellen Lernmedien wird in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten dargelegt (z.B. Cohen und Hegarty, 2007; Keehner et al., 2008; Stark et al., 2008; Stark & Krause, 2009; Wichmann & Leutner, 2009; Wirth, 2009). Eine effektive Nutzung dieser Strategien, d.h. eine strategische und regulierende Vorgehensweise bei deren Anwendung, kann die Informationsaufnahme und -verarbeitung beim räumlichen Lernen in dynamischen Umgebungen beziehungsweise Repräsentationen unterstützen. In Anlehnung an frühere Forschungsergebnisse wurde in dieser Arbeit argumentiert, dass sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte der eingesetzten Strategien relevant sind, um die Leistungsdifferenzen in der Bearbeitung räumlicher Anforderungen zu erklären. Es wurde angenommen, dass

sowohl die Häufigkeit der Nutzung von interaktiven Steuerungsmöglichkeiten als auch qualitative Aspekte des Einsatzes von kognitiven und metakognitiven Explorationsstrategien den Erwerb von räumlichen Informationen und das Verstehen von strukturellen Zusammenhängen des virtuellen Gebäudemodells im hohen Maße präzisieren. Übereinstimmend stellt sich in den empirischen Befunden der vorliegenden Arbeit dar, dass der quantitative Aspekt der Nutzung von Interaktionsmöglichkeiten kein bedeutsamer Prädiktor der Varianz im Kriterium des räumlichen Lernens ist. Diesbezügliche Effekte können anhand der vorliegenden Studien nur vereinzelt berichtet werden. Die Leistungsdifferenzen der Lernenden in ihrer überblickbasierten Fähigkeit zur Richtungsschätzung korrespondieren nicht mit quantitativen Indizes der angewendeten Strategien. Unter Kontrolle des Einflusses von Personenvariablen kann jedoch zum einen die Häufigkeit der Nutzung der Egoperspektive die Varianz in der Wegbeschreibung erklären und zum anderen die Häufigkeit der Nutzung der Funktion des Kartenschiebens Leistungsdifferenzen in der Aufgabe der Kartenskizze präzisieren.

Hinsichtlich der Effekte von qualitativen Aspekten der Anwendung von Strategien bezüglich der Vorhersage von Leistungsdifferenzen in den räumlichen Leistungen können keine konsistenten Schlüsse gezogen werden. In der ersten Untersuchung (mit relativ geringer Anzahl an Probanden) zeigten sich diese Variablen tendenziell als bedeutsame Prädiktoren, vor allem für die Leistungen in der Wegbeschreibung und in der Kartenskizze. Die Probanden, die bei der Exploration des Modells die egozentrische Strategie (aus einer egozentrischen Ansicht) in qualitativ höherwertigerer Weise einsetzten, schnitten somit bei der räumlichen Aufgabe der Wegbeschreibung besser ab. Dieses Ergebnis bestätigt wiederum die Annahme, dass der räumliche Lernerfolg durch qualitative Aspekte der Nutzung von Strategien in Abhängigkeit von der räumlichen Perspektive beeinflusst wird. Zudem erreichten die Lernenden, die die Strukturstrategie (aus der allozentrischen Ansicht) effektiv nutzen, höhere Leistungen in der räumlichen Aufgabe der Kartenskizze.

---

*Inwieweit prädizieren inter-individuelle Unterschiede in den Personeneigenschaften (visuell-räumliche Fähigkeiten, Selbsteinschätzung der Orientierungskompetenzen und Vorerfahrungen mit Computerspielen) den Lernerfolg bei freier und selbstgesteuerter Exploration des virtuellen Gebäudemodells?*

Zusätzlich zu den Explorationsstrategien und den qualitativen Aspekten ihrer Nutzung wird zur Erklärung der individuellen Unterschiede im räumlichen Lernen den individuellen Eigenschaften seitens des Lerners eine bedeutende Rolle zugeschrieben. Hierbei werden die visuell-räumlichen Fähigkeiten (Cohen & Hegarty, 2007; Hegarty & Waller, 2004 & 2005; Hegarty et al., 2006; Kozhevnikov et al., 2001; Moffat et al., 1998; Waller, 1999 & 2000), die Selbsteinschätzung der Strategien zur Orientierung in realer Umwelt (Hegarty et al., 2002; Kozlowsky & Bryant, 1977; Münzer & Hölscher, 2011; Pazzaglia & De Beni, 2001) sowie die Vorerfahrungen mit Computerinterfaces (z.B. Erfahrungen mit Computerspielen) (Waller, 2000; Waller et al., 2001) als bedeutsame Prädiktoren angenommen. In der vorliegenden Arbeit können die genannten Personenvariablen vor allem zur Erklärung der Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung einen maßgeblichen Beitrag leisten. Hierbei stellen sich die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung, die Schnelligkeit der mentalen Rotation, die selbsteingeschätzte überblickbasierte Orientierungsstrategie und die Erfahrungen der Lernenden mit Computerspielen als starke Prädiktoren heraus. Die Leistungsunterschiede in der räumlichen Anforderung der Wegbeschreibung können ausschließlich durch die visuell-räumliche Fähigkeit der Schnelligkeit der mentalen Rotation vorhergesagt werden. In ähnlicher Weise werden die Leistungsdifferenzen in der Kartenskizze nur durch die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels prädiziert. Bei diesen Kriterien leisten weitere Prädiktorvariablen somit keinen bedeutsamen Beitrag.

Werden diese Resultate zusammengefasst, kann einerseits erneut die hohe Validität der räumlichen Aufgabe der Richtungsschätzung zur Erfassung der überblickbasierten mentalen Repräsentation des Raums bestätigt werden. Andererseits kann die Annahme über die Relevanz der unterschiedlichen Komponenten der visuell-räumlichen Fähigkeiten (räumliche Visualisierung beziehungsweise Orientierung) bei der Transformation des sowohl konfigurationsbasierten als auch routenbasierten Wissens über den Raum

repliziert werden. Bei der Bewältigung der überblickbasierten räumlichen Aufgabe der Richtungsschätzung werden folgende Personenfähigkeiten vorausgesetzt: zum einen die räumliche Visualisierung (Mustererkennung), die eine objektbasierte mentale Transformation auf der Basis eines allozentrischen Referenzrahmens erfordert und zum anderen die räumliche Orientierung (mentale Rotation), die eine Änderung des eigenen egozentrischen Referenzrahmens (Wechsel/Übernahme der Perspektive) ohne Änderungen im allozentrischen Referenzrahmen erfordert. Bei der Bearbeitung der räumlichen Anforderung der Kartenskizze, die eine mentale Transformation des überblickbasierten Wissens voraussetzt, sowie auch der Wegbeschreibung, die auf der mentalen Repräsentation des egozentrischen Wissens basiert, wirkt überwiegend die visuell-räumliche Fähigkeit der Orientierung (Perspektivenübernahme beziehungsweise mentale Rotation) prädiktiv.

Außerdem lässt sich feststellen, dass (wie angenommen) die Orientierungsfähigkeit der Lernenden in realer Umwelt, die auf einem überblickbasierten Strategievorgehen basiert, mit der Leistung in der räumlichen Anforderung der überblickbasierten Richtungsschätzung einhergeht. Die Vorerfahrung der Lernenden mit Computerspielen lässt sich im konfigurationsbasierten räumlichen Wissenserwerb als starker Prädiktor identifizieren.

Wie sich allerdings in weiteren Analysen herausstellte, wird die prädiktive Bedeutung der Personeneigenschaften für die Erklärung der Leistungsdifferenzen im räumlichen Lernen unter Einfluss des Trainings der kognitiven und metakognitiven Strategiekomponenten geringer. Unabhängig davon, welche Strategiekomponenten trainiert werden, zeigt sich übereinstimmend eine Reduzierung der Vorhersagekraft der untersuchten Prädiktorvariablen. Unter dem Einsatz eines Trainings verlieren initial bedeutsame Variablen somit an prädiktiver Bedeutung.

*Inwiefern können Unterschiede im räumlichen Lernerfolg durch Geschlechterunterschiede in den Personeneigenschaften aufgeklärt werden?*

Männer und Frauen unterscheiden sich in mancher Hinsicht bezüglich ihrer räumlichen Leistungen. Die Unterschiede machen sich vor allem bei den überblickbasierten räumlichen Anforderungen bemerkbar. Frauen neigen dazu, mehr Fehler bei den Richtungsangaben zu unsichtbaren Objekten zu machen als Männer. Männer scheinen dagegen bessere Karten des Gebäudemodells zu zeichnen als Frauen. Die Geschlechter zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede bei der Beschreibung einer Route. Diese Ergebnisse stehen zum Teil im Einklang mit den Resultaten aus der Literatur. Der erwartete Geschlechtereffekt im Zusammenhang mit den individuellen Prädiktoren, wie zum Beispiel mit den visuell-räumlichen Fähigkeiten (Münzer & Stahl, 2011; Waller, 2000), mit der Anwendung von Orientierungsstrategien (Münzer & Stahl, 2011; Lawton, 1994 & 1996; Lawton & Kallai, 2002; Sandstrom et al., 1998) oder mit den Vorerfahrungen mit Computerinterfaces (Waller, 2000; Waller et al., 2001), konnte teilweise nachgewiesen werden.

Wie sich herausstellte, kann das Geschlecht der Personen zwar die Differenzen in den überblickbasierten räumlichen Leistungen erklären, jedoch nur indirekt über die Personenfähigkeiten. Es zeigen sich zudem nicht für alle der untersuchten Personenvariablen mediierende Effekte bei der Erklärung der Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen in den räumlichen Aufgaben der Richtungsschätzung und Kartenskizze. Als bedeutender Mediator des Vorhersageeffekts des Geschlechts auf die räumliche Leistung stellt sich lediglich die visuell-räumliche Fähigkeit des Perspektivenwechsels dar, und zwar für beide Arten des überblickbasierten räumlichen Wissens. Die weiteren analysierten Mediatorvariablen bezüglich der selbstberichteten Orientierungsfähigkeiten (basierend auf global-egozentrischen und überblickbasierten Strategien) und der Erfahrung mit Computerinterfaces können hingegen nicht als Vermittler der geschlechtsspezifischen Leistungsunterschiede im räumlichen Wissenserwerb identifiziert werden.

*Hat ein Kurzzeit-Training von kognitiven und metakognitiven Komponenten einen Einfluss auf den Lernerfolg? Unterscheidet sich ein Training mit kombinierten Lernhilfen im Vergleich zu einem mit einfachen Lernhilfen oder im Vergleich zu einem Training mit Verzicht auf Lernhilfen hinsichtlich seines Effekts auf den Lernerfolg?*

Beim Lernen mit dynamisch-interaktiven Lernmedien wird der Bedarf an Förderung der kognitiven und metakognitiven Komponenten der Strategienutzung zur Unterstützung des erfolgreichen Lernens vermehrt hervorgehoben (Artelt & Moschner, 2005; Artelt, 2006; Bannert & Schnotz, 2006). Diesem Sachverhalt liegen vor allem diejenigen Befunde zugrunde, welche zeigen, dass viele Lernende entweder nur über unzureichendes strategisches Wissen verfügen oder nicht in der Lage sind, ihr eigentlich angemessenes Strategiewissen gerade im Umgang mit den interaktiven Funktionen effektiv und spontan anzuwenden. Eine Fördermaßnahme sollte daher darauf abzielen, mittels indirekter Vermittlung der Strategien den Lernenden zu ermöglichen, diese Strategien in qualitativer Hinsicht korrekt und auch zielführend einzusetzen (Leutner & Leopold, 2006; Thillmann et al., 2009).

Dieser Ansatz bildet die Grundlage des Trainingsprogramms der letzten Untersuchung der vorliegenden Arbeit. Dabei wurde ein prompt-basiertes Training entwickelt, das bereichsspezifisch gestaltet und in den Lernprozess integriert ist (vgl. Bannert, 2003, 2007; Glogger, Holzäpfel, Schwonke, Nückles & Renkl, 2009). Die drei Bedingungen der Trainingsstudie verfolgten das Ziel, die Lerner bei der effektiven Nutzung der visuell-dynamischen Repräsentationen und bei ihrem Explorationsverhalten zu fördern und dadurch das räumliche Lernen der Konfigurationen des virtuellen Gebäudemodells zu unterstützen. Anhand von prompt-basierten Lernhilfen sollte die strategische Kompetenz der Lernenden abgerufen und ihre effektive Anwendung angeregt werden. In drei Trainingsbedingungen wurde daher die Art der Prompts variiert. Es wurde außerdem erwartet, dass die Lernenden der Gruppe mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen beim Erwerb der räumlichen Informationen besser abschneiden als die Gruppe mit rein kognitiven Lernhilfen, und auch besser als die Gruppe ohne Lernhilfen. Von diesem Ergebnismuster wurde auf Grundlage der Arbeit von Wichmann und Leutner (2009) ausgegangen. Jedoch scheint die Art des Trainings keine bedeutsame Auswirkung auf den Lernerfolg zu haben. Das

Training mit unterschiedlichen Arten von Lernhilfen konnte die Unterschiede zwischen den Lernenden hinsichtlich ihrer Leistung in den unterschiedlichen Maßen des räumlichen Lernens nicht erklären. Das Training mit kombinierten Lernhilfen (kognitive und metakognitive) war nicht effektiver als das mit kognitiven beziehungsweise gar keinen Lernhilfen. Jedoch konnten lernförderliche Effekte hinsichtlich des Einflusses des Trainings (gegenüber keinem Training) ermittelt werden.

*Hat der Einsatz von Explorationsstrategien (quantitative und qualitative Art) während des Lernens im virtuellen Gebäudemodell Auswirkungen auf den Erfolg beim räumlichen Lernen von den Gebäudestrukturen? Inwieweit wird deren Einfluss durch das Training gefördert?*

Prompts können die Anwendung von Strategien unmittelbar förderlich beeinflussen. Dieser Ansatz wurde als Grundlage herangezogen, um Effekte des Trainings beziehungsweise Effekte der Art von Lernhilfen in unterschiedlichen Trainingsbedingungen auf qualitative Aspekte der Strategienutzung zu untersuchen. Es ist von großem Interesse, zu analysieren, ob die Probanden durch das Training qualitativ bessere Strategien entwickeln, so dass die Qualität der eingesetzten Strategien die Leistung im räumlichen Lernen vorhersagen kann. Der Einsatz von Explorationsstrategien, unabhängig davon, ob es sich um die quantitative Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten oder um den Einsatz der qualitativen Aspekte des Strategieverhaltens handelt, prädiziert nicht die Leistungsunterschiede im räumlichen Wissenserwerb. Es gibt nur geringe Zusammenhänge zwischen der Strategienutzung und den Leistungsunterschieden in den Kriterien des räumlichen Lernens.

Es wurde zudem angenommen, dass der effektive Einsatz der Explorationsstrategien während des Lernens im virtuellen Gebäude durch das Training mit oder ohne Lernhilfen beziehungsweise durch die Art der Lernhilfen gefördert werden kann. Der Einfluss der von den Lernenden eingesetzten Strategien kann jedoch nicht durch das Training mit Lernhilfen oder durch die Art der Lernhilfen gefördert werden. Es wurde deutlich, dass die Nutzung der Strategien bei der Exploration des virtuellen Modells, sei es die häufige Nutzung der Interaktionsfunktionen oder die effektive Nutzung der qualitativen Strategiekomponenten, weder durch das Training mittels Lernhilfen vs. ohne, noch

durch die unterschiedliche Art der Lernhilfen, erklärt werden kann. Eine nicht ausreichende Einübung der Strategiekomponenten kann als mögliche Erklärung für dieses Ergebnismuster berücksichtigt werden.

*Wird die Wirksamkeit der Explorationsstrategien auf das räumliche Lernen durch Personenvariablen beeinflusst?*

Bei der Überprüfung der Effektivität von Strategie-Fördermaßnahmen auf das räumliche Lernen ist die Berücksichtigung von weiteren relevanten Variablen, welche sich möglicherweise auf diese Effektivität auswirken, von Bedeutung. Bannert (2009) diskutiert in ihrer Arbeit zudem eine Fokussierung auf die internen und externen Lernvoraussetzungen. Zu den relevanten Einflussvariablen des Trainings in der vorliegenden Arbeit zählen die individuellen Personeneigenschaften wie zum Beispiel visuell-räumliche Fähigkeiten der Lernenden, ihre Orientierungsstrategien und ihre Vorerfahrungen mit Computerspielen, welche starke Prädiktoren für die Vorhersage der Unterschiede im Lernerfolg sind.

Daher wurde in der vorliegenden Arbeit von einem indirekten Effekt der Personeneigenschaften sowohl auf die quantitativen Indizes der Strategien als auch auf die qualitativen Aspekte der Nutzung der Strategien beim Verstehen der räumlichen Strukturen des Gebäudes ausgegangen. Es wurde deswegen erwartet, dass die Lernenden mit guten visuell-räumlichen Fähigkeiten, höherer Selbsteinschätzung der Orientierungsfähigkeit und mehr Erfahrungen mit Computerspielen auch qualitativ bessere Explorationsstrategien anwenden, wodurch sie höhere Leistungen in den räumlichen Anforderungen erzielen sollten. In der Gesamtschau über die Befunde lässt sich jedoch mit wenigen Ausnahmen kein indirekter Effekt feststellen. Bei dieser Analyse können lediglich beim räumlichen Lernerfolg in der Richtungsschätzung beziehungsweise der Wegbeschreibung und ausschließlich hinsichtlich des Zusammenhangs mit qualitativen Aspekten der Strategienutzung minimale signifikante Effekte identifiziert werden. Bei der Erklärung der Leistungsunterschiede in der Kartenskizze sind hingegen keine Effekte nachweisbar.

*Beeinflusst das Training beziehungsweise die Art der prompt-basierten Lernhilfen den Zusammenhang zwischen den Personenvariablen und dem Lernerfolg im räumlichen Wissenserwerb?*

Die angenommene Wechselwirkung zwischen den Trainingsbedingungen und den individuellen Prädiktoren auf die Erklärung der Leistungsunterschiede in den Kriterien des räumlichen Lernens wurde nur bedingt bestätigt. Weder ein Training mit Lernhilfen und ohne Lernhilfen, noch die unterschiedlichen Arten der instruierten Lernhilfen interagieren mit den Personenfähigkeiten bei der Erklärung des räumlichen Lernerfolgs. Als Ausnahme ergab sich lediglich ein einzelner moderierender Effekt des Trainings auf individuelle Prädiktoren und zwar hinsichtlich der räumlichen Leistung der Wegbeschreibung. Hierbei ist eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Training und dem individuellen Prädiktor der Mustererkennung festzustellen. Die Lernenden mit gering ausgeprägter Fähigkeit zur Mustererkennung scheinen von der Trainingseinheit mittels Lernhilfen zu profitieren. Dahingegen liefern die Lernenden mit besser ausgeprägter Fähigkeit gute Ergebnisse, wenn sie keine Lernhilfen erhielten. Die Annahme, dass es bezüglich des moderierenden Effekts zwischen den Trainingseinheiten mit rein kognitiven beziehungsweise mit kognitiven und metakognitiven Lernhilfen Unterschiede gibt, konnte nicht bestätigt werden. Außerdem konnte hinsichtlich der Leistung in der Richtungsschätzung und Kartenskizze kein bedeutsamer Effekt der Personenfähigkeit in Wechselwirkung mit unterschiedlichen Trainingsinhalten identifiziert werden. Personen mit gut ausgeprägten visuell-räumlichen Fähigkeiten erzielen ein besseres Ergebnis in der Richtungsschätzung und Kartenskizze – und dies unabhängig davon, ob sie mittels Lernhilfen oder ohne beziehungsweise ob sie mittels unterschiedlichen Lernhilfen trainiert wurden.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle insgesamt ein positiver Schluss aus allen drei Studien der vorliegenden Dissertation gezogen werden. Es konnten Strategien klassifiziert werden, die zwei Arten von quantitativen und qualitativen Komponenten beinhalten. Diese spiegeln unterschiedliche Komponenten des strategischen Explorationsverhaltens der Lernenden während der Interaktion mit dem virtuellen Gebäudemodell wider. Allerdings fielen die Zusammenhänge mit den Kriterien des räumlichen Lernens (mit einigen Ausnahmen) sehr gering aus.

---

Eine Handlungsfolgerung aus diesem Resultat wäre, die Methoden zur Erfassung des Strategieeinsatzes der Lernenden zunächst auf ihre Reliabilität und Validität zu prüfen. Eine solche Überprüfung erfordert allerdings weitere Analysen, die in künftigen Studien durchgeführt werden sollten.

Des Weiteren konnte die bedeutende Rolle der inter-individuellen Personenfähigkeiten als Prädiktoren der Leistungsdifferenzen im räumlichen Wissenserwerb in einer virtuellen Umgebung repliziert werden. Die visuell-räumlichen Fähigkeiten, die selbstberichteten überblickbasierten Orientierungsstrategien und die Vorerfahrungen mit Computerspielen der Lernenden konnten Leistungsdifferenzen vor allem in der Richtungsschätzung erklären. Hierbei ließ sich dieser Test erneut als valides Instrument zur Erfassung des überblickbasierten räumlichen Lernens identifizieren. Zudem konnte die vermittelnde Funktion der visuell-räumlichen Fähigkeiten auf den Geschlechtereffekt für die Varianzerklärung in der überblickbasierten räumlichen Lernleistung bestätigt werden. Das Geschlecht zeigt hier im Zusammenhang mit der visuell-räumlichen Fähigkeit des Perspektivenwechsels einen signifikanten Effekt auf die Erklärung der Leistungsunterschiede in der Richtungsschätzung und Kartenskizze.

Den bereits gewonnenen Ergebnissen folgend, wurde ein Trainingsprogramm konzipiert, in dem die identifizierten Strategiekomponenten der Lernenden mithilfe von prompt-basierten Lernhilfen trainiert wurden. Diese sollten sich positiv auf den Einsatz der Explorationsstrategien auswirken, welche sich wiederum als starke Prädiktoren der Leistungsunterschiede im räumlichen Lernen darstellen könnten. Die initialen Ergebnisse entsprechen jedoch nicht den Erwartungen. Es wurden weder ein direkter Effekt des Trainings anhand von Lernhilfen (gegenüber keinen Lernhilfen) auf die Leistungsdifferenzen, noch ein indirekter Effekt auf die Auswirkung der Explorationsstrategien für die räumliche Leistung gefunden. Es wurde allerdings ein Effekt des Trainings (gegenüber keinem Training) hinsichtlich des räumlichen Lernerfolgs festgestellt. Dieser liefert vorläufige Erkenntnisse als Grundlage für die Konzeption von weiteren Experimenten. Die Hypothese, dass das Training mit unterschiedlichen Lernhilfen gering ausgeprägte Personenfähigkeiten kompensieren kann, konnte nicht vollständig bestätigt werden. Es wird nur ein geringer Interaktionseffekt in Zusammenhang mit der

visuell-räumlichen Fähigkeit der Mustererkennung hinsichtlich der Leistungsunterschiede in der Wegbeschreibung gezeigt. Vor dem Hintergrund dieser Resultate wird vermutet, dass eventuell die Dosis der trainierten Strategien zu gering war, um differenzierte Effekte zu erzielen. Dieser Schluss sollte hinsichtlich relevanter Details weiterführend geprüft werden. In der Summe bilden die vorliegenden Ergebnisse einen Ausgangspunkt für die Planung von weiteren Studien. Diese sollten darauf abzielen, durch eine a priori geplante und größere Stichprobenzahl die Identifizierung der erwarteten Effekte und Effektstärken abzusichern. Die Grundlagen der Weiterplanung bilden unter anderem die im folgenden Unterkapitel dargestellten Implikationen und Optionen.

## **6.2 Methodische Implikationen und Forschungsperspektive**

Abgesehen von den bereits erläuterten methodischen Aspekten werden an dieser Stelle weitere methodische Gesichtspunkte einer kritischen Betrachtung unterzogen, damit sie in künftigen Forschungsstudien berücksichtigt werden können. Das eingesetzte Laute Denken als eine in der empirischen Forschung empfohlene und gängige Methode, welche die situations- und gegenstandsspezifische Erfassung von Strategien ermöglicht, hat für die Identifikation von Explorationsstrategien keinen validen Beitrag erbracht. In der Analyse der Verbalprotokolle der Probanden wurde erwartet, dass unterschiedliche Strategieelemente des Explorationsverhaltens von Lernenden während des Umgangs mit den Interaktionsmöglichkeiten gefunden werden könnten. Bei der Analyse dieser Daten konnten jedoch keine bedeutsamen beziehungsweise verwendbaren Informationen hinsichtlich der Lernerstrategien und deren Nutzung gewonnen werden. Dabei äußerten die Probanden gar keine Strategien, sie verbalisierten lediglich dasjenige, was sie gerade in dem Moment tun, ohne eine präzise Darstellung der dahinter stehenden Vorhaben und Planungen.

Außerdem wurde bereits kritisch erörtert (Wirth, 2005), dass das Laute Denken entgegen der theoretischen Annahmen von Ericsson und Simon (1993) hohe kognitive Ansprüche an den Probanden stellen könnte, so dass kognitive Prozesse während des Lernens beeinträchtigt werden könnten. Ob dies auch in der vorliegenden Studie problematisch war, kann in diesem Rahmen nicht

beantwortet werden. Nichtsdestotrotz sollte die Verwendung der Methode des Lauten Denkens in weiteren Studien nicht generell eingeschränkt werden, solange sie tatsächlich dazu beiträgt, valide Informationen über kognitive und metakognitive Explorationsstrategien zu gewinnen. Dabei sollte vor allem der Überprüfung der Formulierung der Instruktionen vor und während der Durchführung der Methode ein hoher Stellenwert beigemessen werden. Zur Feststellung der potenziellen kognitiven Belastung, beziehungsweise der Art dieser Belastung, ist der Einsatz von gängigen Fragebögen beziehungsweise die Konstruktion eines spezifischen Fragebogens überlegenswert. Beim Einsatz der Methode des Lauten Denkens in weiteren Studien ist gleichzeitig zu beachten, dass die qualitative Analyse der Verbalprotokolle von großen Stichproben mit erheblichem Aufwand verbunden wäre; es handelt sich somit nicht um eine ökonomische diagnostische Methode.

Bei der Analyse des Einflusses von Explorationsstrategien der Lernenden auf ihren räumlichen Wissenserwerb stellten sich die quantitativen Indizes dieser Strategien, welche mittels Protokollierung der Logfile-Daten erfasst wurden, als keine starken Prädiktoren dar. Auf Grundlage dieses Resultats stellt sich die Frage, ob diese quantitativen Indizes überhaupt valide Indikatoren für das Strategieverhalten der Lernenden sind, und wie Reliabilität und Validität dieses Erfassungsverfahrens gewährleistet werden können.

Nach Wirth (2005) ist das computerbasierte Logfile-Maß eine reliable und valide Methode der Lernprozessfassung. Das Maß ist valide, da es tatsächliche Handlungsprozesse erfasst und dadurch keinen Verzerrungen unterliegt (Wirth, 2005). Seine Reliabilität hängt allerdings davon ab, dass eine Mindestanzahl an Lernhandlungen innerhalb des relevanten Zeitintervalls beobachtet wird. Diese Punkte liegen einer kritischen Betrachtung der Nutzung dieser Methode in der vorliegenden Studie zugrunde. Die erste kritische Stellungnahme spricht das Problem der Validität an. Durch die eingesetzte Logfile-Funktion werden zwar Daten über das interaktive Verhalten der Lernenden protokolliert, jedoch unabhängig davon, ob diese Interaktion tatsächlich lernförderlich ist. Bei den quantitativen Daten werden darüber hinaus Interaktionsfunktionen, die durch „bloßes Herumklicken“ zustande kamen, aufgenommen. In diesem Sinne sind die quantitativen Daten, und was daraus abgeleitet wird, oberflächlich und bedürfen daher einer Interpretation. Die bezweifelte Validität wird somit dadurch begründet,

dass die erfassten quantitativen Daten nicht das abbilden, was sie abbilden sollten. Durch die Logfiles soll das tatsächliche Interaktionsverhalten der Lernenden, das für den Lernprozess förderlich ist, erfasst und abgebildet werden – und nicht zusätzlich jegliche Interaktion außerhalb des Lernprozesses.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die mangelnde Reliabilität der durch Logfiles erfassten quantitativen Daten. Die aus den Protokoll-Daten identifizierten Strategien der Lernenden wurden aus den Handlungsdaten hinsichtlich ihrer Nutzung der Interaktionsfunktionen über den gesamten Lernprozesses hinweg abgeleitet. Eine Möglichkeit hierbei wäre zu untersuchen, welche Handlungen von den Lernenden innerhalb festgelegter Zeitintervalle zu beobachten sind. Werden innerhalb der Zeitintervalle und „während des gesamten Lernprozesses ausreichend und kontinuierlich gleich viele Lernhandlungen“ erfasst, dann kann davon ausgegangen werden, dass die Reliabilität dieser Erfassungsmethode gewährleistet ist (vgl. Wirth, 2005, S. 122). Für diese Untersuchung ist zudem die Entwicklung weiterer Algorithmen, die eine spezifischere Analyse der Handlungsdaten erlauben, zu überlegen. Dadurch könnten die Protokoll-Daten dahingehend ausgewertet werden, ob bestimmte Verhaltensmuster in bestimmten Lernphasen wiederholt auftreten. Schließlich könnten die identifizierten Verhaltensmuster der erfolgreichen Lerner mit denjenigen der weniger erfolgreich Lernenden verglichen werden, um auf diese Weise förderliche Strategiekomponenten zu ermitteln.

Die Nutzung von Explorationsstrategien zeigt hinsichtlich qualitativer Aspekte keinen förderlichen Einfluss auf den Erwerb von räumlichen Informationen im verwendeten Gebäudemodell. Auch konnte die Nutzung von Strategien durch das Training von kognitiven und metakognitiven Strategien mit dem Ziel der Verbesserung der räumlichen Lernleistung nicht optimiert werden. Darüber hinaus zeigte sich kein Mediationseffekt der individuellen Personeneigenschaften auf die Auswirkungen von Strategien beim räumlichen Wissenserwerb. Diese Befunde erfordern eine kritische Auseinandersetzung mit verschiedenen methodischen Aspekten. Der erste kritische Punkt betrifft die Reliabilität und Validität des Kategorie-Schemas zur Klassifikation beziehungsweise Bewertung der Lernerstrategien, das basierend auf Analysen des strategischen Vorgehens der erfolgreichen versus weniger erfolgreichen Lernenden entwickelt wurde. Für die Prüfung der Validität sind weitere Analysen erforderlich, um herauszufinden, ob

noch nicht identifizierte Strategiekomponenten zu erkennen sind, die spezifischere Muster des Strategieverhaltens von erfolgreichen Lernenden abbilden. Dadurch entsteht ein Experten-Novizen-Vergleich, welcher sich auf die theoretischen Grundlagen der Expertise-Forschung stützt. An dieser Stelle könnte eine Analyse der Verhaltensdaten einer besonderen Lernergruppe, bestehend aus erfahrenen Ego-Shooter-Spielern, durchgeführt werden. Bei diesen Spielern wird angenommen, dass sie wegen ihrer umfangreichen Erfahrungen mit virtuellen Interaktionsformen auch effektivere Strategien im Umgang mit solchen (räumlichen) Repräsentationen einsetzen. Auf Grundlage der resultierenden Befunde könnte schließlich eine Überarbeitung beziehungsweise Erweiterung der Kriterien zur Klassifizierung und Bewertung der Strategiekomponenten vorgenommen werden.

Die Resultate bezüglich der förderlichen Effekte eines Trainings von Explorationsstrategien legen einige bedeutsame Schlussfolgerungen nahe. Obwohl sich der Bedarf an Förderung von Lernstrategien zum Zwecke der Unterstützung des erfolgreichen Lernens längst im Forschungsfeld der Selbstregulation etabliert hat, bildet dieses Thema weiterhin den Gegenstand von zahlreichen Forschungsstudien (z.B. Bannert, 2003; Stark et al., 2008; Stark et al., 2009; Wirth, 2009; Wichmann & Leutner, 2009), die sich jedoch in Details hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Lernmedien beziehungsweise der verschiedenen Förderungsmöglichkeiten unterscheiden. Während die Förderung von selbstregulierten Strategien beim Lernen mit Text und Bild oder beim hypermedialen Lernen lange Tradition hat, gewinnt dieses Thema beim räumlichen Lernen in interaktiven beziehungsweise explorativen Lernumgebungen erst in jüngster Zeit an Bedeutung. Hierbei lässt sich die Relevanz des Themas besonders darauf zurückführen, dass durch den Umgang mit anspruchsvollen interaktiven Repräsentationen von zusätzlichen Herausforderungen für die Lerner ausgegangen werden kann. Diese kognitive Belastung kann auch die eigentlich erforderlichen Prozesse des Generierens, Verarbeitens und Speicherns von Informationen beeinträchtigen, so dass es dadurch zu schlechteren Lernergebnissen kommt. Mittels der Förderung von Strategien beim effektiven Umgang mit Interaktionsfunktionen können daher zusätzliche Ressourcen für informationsverarbeitende kognitive Prozesse frei werden.

In der Vielfalt der Förderungsmöglichkeiten erwies sich die instruktionale Förderung durch prompt-basierte Lernhilfen als erfolgreiche Maßnahme sowohl zur Förderung der Selbstregulation im Lernprozess, als auch zur Unterstützung des Wissenserwerbs. Durch prompt-basierte Lernhilfen werden nicht nur spezifische Lernstrategien (indirekt) vermittelt, vielmehr regen sie den Lerner dazu an, effiziente Strategien in zielführender Weise einzusetzen. Basierend auf diesen Grundlagen wurde für die vorliegende Arbeit ein spezifisches Mehrkomponenten-Trainingsprogramm entwickelt, das Lernhilfen bezüglich kognitiver und metakognitiver Strategiekomponenten zur Verfügung stellt. Durch den Einsatz dieses Trainings wurden zwei Ziele auf einmal verfolgt: die Förderung der selbstgesteuerten Anwendung von Explorationsstrategien beim Umgang mit der interaktiven Nutzeroberfläche, sowie die Unterstützung des erfolgreichen Lernens der räumlichen Strukturen des Gebäudemodells.

Jedoch konnten weder die Anwendung von effektiven Explorationsstrategien – quantitativer oder qualitativer Art – während des Umgangs mit den interaktiven Kontrollmöglichkeiten, noch das räumliche Erlernen der Strukturen des virtuellen Gebäudemodells durch das Kurzzeit-Training der vorliegenden Arbeit verbessert werden. Untersucht wurde hier, ob sich das Training mit Lernhilfen gegenüber dem Training ohne Lernhilfen als hilfreicher erweist. Zudem wurde ausgewertet, ob das kombinierte Training von kognitiven und metakognitiven Strategiekomponenten effektiver ausfällt, als das Training mit lediglich kognitiven Lernhilfen. Im Rahmen dieser Vorgehensweise konnten keine Schlussfolgerungen über die Einzelheiten der Fördereffekte des Trainings gezogen werden. Detaillierte Feststellungen von weiteren möglichen Effekten benötigen daher zusätzliche, differenzierte Analysen. Eine daraus abgeleitete kritische Auseinandersetzung mit den förderlichen Effekten des Trainings wird im Folgenden sowohl für den räumlichen Lernerfolg als auch für die Anwendung von effektiven Explorationsstrategien aufgeführt. Bei dieser Diskussion werden unterschiedliche Aspekte – insbesondere die Konzeption des Trainings, Art und Qualität der Lernhilfen sowie interne und externe Lernvoraussetzungen – berücksichtigt.

Eine erste kritische Feststellung, die in Folgestudien zu berücksichtigen ist, betrifft die Konzeption des Interventionsprogramms. Hierbei wurde die erwartete Leistungsverbesserung unmittelbar nach dem Training und lediglich einmal geprüft. Aus Zeit- und Kostengründen fanden keine Follow-Up-Studien statt, in denen die möglichen Leistungsverbesserungen über einem längeren Zeitraum untersucht werden konnten. Der Forderung nach Follow-Up-Studien wird im Forschungsfeld zur Evaluation von Interventionsprogrammen ein hoher Stellenwert beigemessen. Demnach ist bei der Planung einer möglicherweise nachfolgenden Studie ein weiterer Messzeitpunkt nach einer bestimmten Zeitspanne nach dem Training zu berücksichtigen, wodurch die Trainingseffekte erneut geprüft werden könnten.

Ein weiterer Ansatz für eine differenzierte Analyse der Trainingseffekte auf das räumliche Lernen wäre derjenige, auf den Aspekt der Qualität des Lernens beziehungsweise der Umsetzung der Lernhilfen zu fokussieren und diese als Einflussvariablen bei den Analysen zu berücksichtigen. Es wäre daher zu untersuchen, ob qualitative Aspekte bei der Bearbeitung der instruierten Aufgaben während des Trainings Effekte auf die Lernleistung ausüben. Zudem kann geprüft werden, ob der Einsatz von verschiedenen Lernhilfen in qualitativer Hinsicht den Erfolg in den verschiedenen Kriterien des räumlichen Lernens unterschiedlich begünstigt. In diesem Rahmen wäre zudem die Überprüfung der Annahme angemessen, dass Probanden, die kognitive und metakognitive Lernhilfen einsetzen, einen höheren Lernerfolg (eventuell hinsichtlich unterschiedlicher Lernerfolgskriterien) erzielen, als Probanden, die ausschließlich kognitive oder metakognitive Lernhilfen einsetzen. Diese Annahme beruht vor allem auf Befunden von Forschungsstudien, in denen sich eine Kombination aus kognitiven und metakognitiven Prompts als förderlich erwies (Schwonke et al., 2005; Wichmann & Leutner, 2009). Bei diesen Arbeiten wurde allerdings nur die Art des Prompts als Einflussvariable herangezogen, jedoch keine qualitativen Aspekte des Einsatzes von Prompts. Es wurde also nicht berücksichtigt, in welcher Qualität die Lernenden die Lernhilfen nutzten und inwieweit sich dieser Aspekt auf das erfolgreiche Lernen auswirkte. Bei der Trainingsintervention in der vorliegenden Dissertation wurde demnach angenommen, dass die metakognitiven Aktivitäten generell positiv, jedoch unterschiedlich stark mit den verschiedenen

Leistungsmaßen korrelieren. Dadurch sollten differenzielle Effekte auf die räumliche Lernleistung geprüft werden.

Hinsichtlich der Effekte des Trainings beziehungsweise der Lernhilfen auf das Strategieverhalten der Probanden während des räumlichen Lernens in dynamisch-interaktiven Repräsentationen in virtuellen Umgebungen sollte ebenfalls die Qualität der eingesetzten Lernhilfen als relevante Einflussvariable untersucht werden. Hierbei ist in Folgestudien zu prüfen, ob die Bearbeitung der Aufgaben, die kognitive und/oder metakognitive Strategiekomponenten instruieren, die Anwendung von Strategien im späteren Lernverlauf während der Exploration der Umgebung ggf. unterschiedlich beeinflusst.

Bei der Analyse der Effekte von Fördermaßnahmen wurde die Notwendigkeit der Berücksichtigung von internen und externen Lernervoraussetzungen wiederholt diskutiert (Bannert, 2009; Thillmann et al., 2009; Wirth, 2005). Diese Notwendigkeit kann als Grundlage für eine weitere Untersuchung herangezogen werden. Dabei sollte überprüft werden, ob beziehungsweise welche charakteristischen Eigenschaften der Personen möglicherweise zu einer besseren Lernleistung beim Erwerb von räumlichen Konfigurationen führen. Zu diesen internen Aspekten zählen beispielsweise visuell-räumliche Fähigkeiten, Erfahrungen mit Computerinterfaces, bereits bestehendes Strategiewissen, sowie Anwendung und Qualität der Umsetzung von Lernhilfen.

Zu den externen Aspekten, die die Effektivität von solchen Trainings beeinflussen können, zählt außerdem die Zeitdauer des Trainings. Für die drei Trainingsbedingungen der vorliegenden Arbeit wurde eine identische Dauer von 24 Minuten festgelegt. In dieser Zeitspanne hatte die erste Gruppe ausschließlich das Trainingsmodell exploriert, während den beiden anderen Gruppen bereichsspezifische Lernhilfen unterschiedlicher Art bereitgestellt wurden. Diese beinhalteten Anweisungen beziehungsweise Aufgaben zum gezieltem Einsatz von entweder nur kognitiven Strategien oder stattdessen von kombinierten kognitiven und metakognitiven Strategien, die innerhalb der vorgelegten Zeit zu bearbeiten waren. Diese Aspekte könnten demnach für die Erklärung der nicht nachweisbaren Trainingseffekte sowohl beim räumlichen Lernen, als auch bei der späteren Anwendung von Lernerstrategien herangezogen werden. Zunächst kann argumentiert werden, dass die festgelegte Dauer von 24 Minuten nicht ausreichend ist, um förderliche Effekte zu erzielen. Außerdem kann angenommen

werden, dass die Gruppe mit kombinierten Lernhilfen mehr Zeit zum Training benötigt, als die Gruppe, die nur hinsichtlich ihrer kognitiven Strategien trainiert wurde. Letztere Gruppe benötigt wiederum mehr Zeit zum Training als die Gruppe, die nur durch Exploration des Modells trainiert wurde, ohne irgendwelche Lernhilfen nutzen zu können. Mit anderen Worten: Die Lernenden der Gruppe mit kombinierten Lernhilfen hatten mehr und anspruchsvollere Aufgaben zu bearbeiten, als die anderen Lernergruppen, jedoch innerhalb derselben Zeitvorgabe. Vor diesem Hintergrund sollten die Resultate kritisch betrachtet werden, die entgegen der Erwartungen keine Überlegenheit dieser Gruppe gegenüber den zwei anderen Gruppen hinsichtlich der Trainingseffektivität zeigen. Zudem wird vermutet, dass die metakognitiven Aufforderungen möglicherweise umfangreiche kognitive Ressourcen in Anspruch nehmen, was wiederum zu einer kognitiven Überlastung dieser Lernergruppe während des Trainings geführt haben könnte. Dadurch würde auch das Lernen während des Trainings innerhalb dieser Gruppe stärker beeinträchtigt. In Bezug auf diese Annahme steht eine empirische Überprüfung allerdings noch aus. Diese Analyse sollte die kognitive Belastung in Abhängigkeit von den Lernvoraussetzungen und der inhaltlichen sowie formalen Komplexität der Lernhilfen systematisch untersuchen.

Die Bedingungen bei der Präsentation der Prompts – speziell die Zeit und Abfolge ihres Auftretens – können als weitere externe Einflussfaktoren auf die Trainingseffekte diskutiert werden. Das Design und die Einführung von prompt-basierten Lernhilfen in der vorliegenden Arbeit basieren auf Erkenntnissen der im Theorieteil skizzierten Studien, insbesondere auf Prompting-Studien zur Selbstregulation (z.B. Bannert, 2003, 2007; Thillmann et al., 2009; Wirth, 2009). Anhand der verfügbaren empirischen Befunde aus verschiedenen Studien lässt sich nicht eindeutig folgern, zu welchem Zeitpunkt und in welcher Reihenfolge sich die Präsentation von Lernhilfen als adäquat erweist. Zur Förderung der Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen gibt es beispielsweise nur vereinzelte Studien, die die genannten Aspekte systematisch überprüfen (z.B. Thillmann et al., 2009). In diesen Studien werden die verschiedenen Prompts nach festgelegten Zeitintervallen innerhalb einer 20-minütigen Trainingsphase präsentiert. Somit scheint ein großer Bedarf an weiteren empirischen Überprüfungen zu dieser Thematik zu bestehen. Aus methodischen Gründen wird vorgeschlagen, dazu eine Trainingsstudie mit unterschiedlichen

Bedingungen zu konzipieren, in denen der Zeitpunkt und die Reihenfolge der Darbietung von prompt-basierten Lernhilfen variiert werden. Dadurch können dann die Effekte des Trainings in den verschiedenen Bedingungen miteinander verglichen werden.

---

## Literaturverzeichnis

- Ainsworth, Sh. & VanLabeke, N. (2004). Multiple Forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14, 241-255.
- Allen, G.L., Kirasic, K.C., Dobson, S.H., Long, R.G. & Beck, S. (1996). Predicting environmental learning from spatial abilities: an indirect route. *Intelligence*, 22, 327-355.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Artelt, C. (2006). Lernstrategien in der Schule. In: Mandl, H. & Friedrich H. F. (Hrsg.). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Artelt, C. & Moschner, B. (2005). *Lernstrategien und Metakognition. Implikationen für Forschung und Praxis*. Münster: Waxmann.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13-25.
- Bannert, M. (2004). Erfassung von metakognitiv-strategischen Lernaktivitäten. In: Wosnitza, M.; Frey, A. & Jäger, R. S. (Hrsg.). *Lernprozess, Lernumgebung und Lerndiagnostik. Wissenschaftliche Beiträge zum Lernen im 21. Jahrhundert*. Landau: Verlag Empirische Pädagogik.
- Bannert, M. (2005). Explorationsstudie zum spontanen metakognitiven Strategie-Einsatz in hypermedialen Lernumgebungen. In Artelt, C. & Moschner, B. (Hrsg.). *Lernstrategien und Metakognition. Implikationen für Forschung und Praxis*. Münster: Waxmann.
- Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedien*. Münster: Waxmann.

- 
- Bannert, M. (2009). Prompting Self-Regulated Learning Through Prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 139-145.
- Bannert, M. & Reimann, P. (2009). Metakognitives Fördern des Lernens mit digitalen Medien durch Prompting-Maßnahmen. In: Plötzer, R.; Leuders, T. & Wichert, A. (Hrsg.). *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbänden*. Münster: Waxmann.
- Bannert, M. & Schnotz, W. (2006). Vorstellungsbilder und Imagery-Strategien. In: Mandl, H. & Friedrich, H. F. (Hrsg.). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Baumert, J., Heyn, S. & Köller, O. (1992). *Das Kieler Lernstrategien-Inventar (KSI)*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften der Universität Kiel.
- Bertrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In: R. E. Mayer (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Billinghurst, M. & Weghorst, S. (1995). *The Use of Sketch Maps to Measure Cognitive Maps of Virtual Environments*. Human Interface Technology Laboratory FJ-15, University of Washington.
- Bliss, J.P., Tidwell, P.D. & Guest M.A. (1997). The effectiveness of virtual reality for administering spatial navigation training to firefighters. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6, 73-88.
- Bortz, J. & Döring, N. (2005). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human – und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bryant, K.J. (1982). Personality correlates of sense of direction and geographical orientation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43, 1318-1324.

- 
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson.
- Carassa, A., Geminiani, G., Morganti, F. & Varott, D. (2002). Active and passive spatial learning in a complex virtual environment: The effect of efficient exploration *Cognitive Processing*, 3-4, 65-81.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cohen, C.A. & Hegarty, M. (2007). Individual Differences in Use of External Visualisations to Perform an Internal Visualisation Task. *Applied cognitive psychology*, 21, 701-711.
- Coluccia, E. & Louse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: A review. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 329-340.
- Darken, R.P. (1996). *Wayfinding in Large-Scale Virtual Worlds*. Unpublished Doctoral dissertation, The George Washington University.
- Darken, R.P. & Banker, W.P. (1998). Navigating in natural environment: a virtual environment training transfer study. In: IEEE. *Virtual Reality Annual International Symposium (Proceedings)*. Atlanta, USA, Mar 14– Mar 18, 1998.
- Darken, R.P. & Sibert, J.L. (1993). A toolset for navigation in virtual environments. In: *UIST'93. 6th annual ACM symposium on User interface software and technology (Proceeding)*. New York, USA, November 3-November 5, 1993.
- Darken, R.P. & Sibert, J.L. (1996 a). Wayfinding Strategies and Behaviors in Large Virtual Worlds. *ACM SIGCHI*, 96, 142-149. Vancouver, BC Canada.
- Darken, R.P. & Sibert, J.L. (1996 b). Navigating large virtual spaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 8, 49-71.

- Devlin, A.S. & Bernstein, G. (1995). Interactive wayfinding: Use of cues by men and women. *Journal of Environmental Psychology*, 15, 23-38.
- Ekstrom, R.B., French, J.W., Harman, H.H. & Dermen, D. (1976). *Kit of Factor-Referenced Cognitive Tests*. Princeton, New Jersey: Educational Testing Service.
- Ericsson, K.A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Farrell, M.J., Arnold, P., Pettifer, S., Adams, J., Graham, T. & MacManamon; M. (2003). Transfer of Route Learning From Virtual to Real Environments. *Journal of Experimental Psychology*, 9, 219-227.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A.G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41, 1149-1160.
- Foreman, N., Sandamas, G. & Newson, D. (2004). Distance underestimation in virtual space is sensitive to gender but not activity-passivity or mode of interaction. *CyberPsychology & Behavior*, 7, 451-457.
- Friedrich, H.F. & Mandl, H. (2006). Lernstrategien: Zur Strukturierung des Forschungsfeldes. In: Mandl, H. & Friedrich, H. F. (Hrsg.). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Galea, L.A. & Kimura, D. (1993). Sex differences in route learning. *Personality and Individual Differences*, 14, 53-65.
- Gaunet, F., Vidal, M., Kemeny, A. & Berthoz, A. (2001). Active, passive and snapshot exploration in a virtual environment: influence on scene memory, reorientation and path memory. *Cognitive Brain Research*, 11, 409-420.

- 
- Gillner, S. & Mallot, H.A. (1998). Navigation and Acquisition of Spatial Knowledge in a Virtual Maze. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 445-463.
- Glogger, I., Holzäpfel, L., Schwonke, R., Nückles, M. & Renkl, A. (2009). Activation of Learning Strategies in Writing Learning Journals. The Specificity of Prompts Matters. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 95-104.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2009). *Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lernen und Lehren* (2. Auflage). Stuttgart: Kohlhammer.
- Hegarty, M., Keehner, M., Cohen, C., Montello, D. & Lippa, Y. (2007). The Role of Spatial Cognition in Medicine: Applications for Selecting and Training Professionals. In G. Allen (ED.), *Applied spatial cognition*, 285-315. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hegarty, M., Kriz, B.S., & Cate, B.C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition and Instruction*, 21, 209-249.
- Hegarty, M., Montello, D.R., Richardson, A.E., Ishikawa, T. & Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34, 151-176.
- Hegarty, M., Richardson, A.E., Montello, D.R., Lovelace, K. & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*, 30, 425-447.
- Hegarty, M & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- Hegarty, M. & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah, & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*, 121-169. Cambridge University Press.

- Hilbert, T.S., Nückles, M., Renkl, A., Minarik, C., Reich, A. & Ruhe, K. (2008). Concept Mapping zum Lernen aus Texten: Können Prompts den Wissens- und Strategieverwerb fördern? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22, 119-126.
- Hölscher, C., Büchner, S.J., Meilinger, T. & Strube, G. (2009). Adaptivity of wayfinding strategies in a multi-building ensemble: The effects of spatial structure, task requirement, and metric information. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 208-219.
- Hölscher, C., Meilinger, T., Vrachliotis, G., Brösamle, M. & Knauff, M. (2006). Up the down staircase: Wayfinding strategies in multi-level buildings. *Journal of Environmental Psychology*, 26, 284-299.
- Hübner, S., Nückles, M. & Renkl, A. (2006). Lerntagebücher als Medium des selbstgesteuerten Lernens- Wie viel instruktionale Unterstützung ist sinnvoll.
- Jansen-Osmann, P. & Heil, M. (2007). Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation. *Brain and Cognition*, 64, 217-227.
- Keehner, M., Hegarty, M., Cohen, C., Khooshabeh, P. (2007). Reasoning with interactive visualizations: The importance of individual differences among users. In: B. Csapó & C. Csíkos, *Developing Potentials for Learning*. 12th European Conference for Research on Learning and Instruction (Abstracts). Budapest, Hungary, August 28 -September 1, 2007.
- Keehner, M., Hegarty, M., Cohen, C., Khooshabeh, P. & Montello, D.R. (2008). Spatial Reasoning With External Visualizations: What Matters Is What You See, Not Whether You Interact. *Cognitive Science*, 32, 1099-1132.

- Keehner, M., Khooshabeh, P. & Hegarty, M. (2008). Individual Differences Among Users: Implications for the Design of 3D Medical Visualizations. In: F. Dong, Gh. Ghinea & Sh. Y. Chen (Eds.), *User Centered Design for Medical Visualization*, 1-23. New York: MEDICAL INFORMATION SCIENCE REFERENCE.
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29, 745-756.
- Kozlowski, L.T. & Bryant K.J. (1997). Sense of Direction, Spatial Orientation, and Cognitive Maps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 590-598.
- Lawton, C.A. (1994). Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*, 30, 765-779.
- Lawton, C.A. (1996). Strategies for Indoor Wayfinding: The role of Orientation. *Journal of Environmental Psychology*, 16, 137-145.
- Lawton, C.A., Charleston, S.I. & Zieles, A.S. (1996). Individual- and Gender-Related Differences in Indoor Wayfinding. *Environment and Behavior*, 28, 204-219.
- Lawton C.A. & Kallai, J. (2002). Gender Differences in Wayfinding Strategies and Anxiety About Wayfinding: A Cross-Cultural Comparison. *Sex Roles*, 47, 389-401.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In: Mandl, H. & Friedrich, H. F. (Hrsg.). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.

- 
- Liben, L.S., Myers, L.J. & Christensen, A.E. (2010). Identifying Locations and Directions on Field and Representational Mapping Tasks: Predictors of Success. *Spatial Cognition and Computation*, 10, 105-134.
- MacKinnon, D.P. (2008). *Introduction to Statistical Mediation Analysis*. New York, London: LEA.
- Malinowski, J.C. & Gillespie, W.T. (2001). Individual Differences in Performance on a large-scale, real-world wayfinding task. *Journal of Environmental Psychology*, 21, 73-82.
- Mandl, H. & Friedrich, H.F. (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1997). Lernen und Lehren mit dem Computer. In: Weinert, F.E & Mandl, H. (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung Enzyklopädie der Psychologie, Pädagogische Psychologie*, Bd. 4, 437-467. Göttingen: Hogrefe.
- Meilinger, T., Hölscher, C., Büchner S.J. & Brösamle, M. (2007). How Much Information Do you Need? Schematic maps in Wayfinding and Self Localisation. In: Barkowsky T. (Eds.): *Spatial Cognition V*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Moffat, S.D., Hampson, E. & Hatzipantelis, M. (1998). Navigation in a "Virtual" Maze: Sex Differences and Correlation with Psychometric Measures of Spatial Ability in Humans. *Evolution and Human Behavior*, 19, 73-87.
- Münzer, S. & Hölscher, C. (2011). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zu räumlichen Strategien (Development and validation of a self-report measure of spatial strategies). *Diagnostica*, 57, 111-125.
- Münzer, S., Seufert, T. & Brünken, R. (2009). Learning from multimedia presentatios: Facilitation function of animations and spatial abilities. *Learning and Individual Differences*, 19, 481-485.

- Münzer, S. & Stahl, C. (2011). Learning Routes from Visualizations for Indoor Wayfinding: Presentation Modes and Individual Differences. *Spatial Cognition & Computation*, 11, 281-312.
- Münzer, S., Zimmer, H.D. & Baus, J. (2012). Navigation assistance: A trade-off between wayfinding support and configural learning support. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 18-37.
- Niegemann, H.M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, A., Hupfer, M. & Zobel, A. (2008). *Kompendium multimediales Lernen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2001). Strategies of processing spatial information in survey and landmark-centred individuals. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 493-508.
- Pazzaglia, F. & Taylor, H. (2007). Perspective, Instruction, and Cognitive Style in Spatial Representation of a virtual Environment. *Spatial Cognition and Computation*, 7, 349-364.
- Péruch, P. & Gaunet, F. (1998). Virtual environments as a promising tool for investigating human spatial cognition. *Current Psychology of Cognition*, 17, 881-899.
- Péruch, P., Vercher, J.L. & Gauthier, G. (1995). Acquisition of Spatial Knowledge through Visual Exploration of Simulated Environments. *Ecological Psychology*, 7, 1-20.
- Péruch, P. & Wilson, P.N. (2004). Active versus passive learning and testing in a complex outside built environment. *Cogn Process*, 5, 218-227.
- Plötzner, R., Leuders, T. & Wichert, A. (2009). *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbänden*. Münster: Waxmann.

- Preacher, K.J. & Hayes, A.F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40, 879–891.
- Richardson, A.E., Montello, D.R. & Hegarty, M. (1999). Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments. *Memory & Cognition*, 27, 741-750.
- Rossano, M.J. & Moak, J. (1998). Spatial representations acquired from computer models: Cognitive load, orientation specificity and the acquisition of survey knowledge. *British Journal of Psychology*, 89, 481-497.
- Rossano, M.J. & Warren, D.H. (1989). Misaligned maps lead to predictable errors. *Perception*, 18, 215-229.
- Rossano, M.J., West, S.O., Robertson, T.J., Wayne, M.C. & Chase, R.B. (1999). The acquisition of route and survey knowledge from computer models. *Journal of Environmental Psychology*, 19, 101-115.
- Rost, D. (2007). *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien* (2. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Ruddle, R.A., Payne, S.J. & Jones, D.M. (1997). Navigating Buildings in "Desktop" Virtual Environments: Experimental Investigations Using Extended Navigational Experience. *Journal of Experimental Psychology*, 3, 143-159.
- Ruddle, R.A., Payne, S.J. & Jones, D.M. (1998). Navigating Large-Scale "Desktop" Virtual Buildings: Effects of Orientation Aids and Familiarity. *Presence*, 7, 179-192.
- 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*, 1, 54-75.

- Saade, C., Werner, S. (2000). Flexibilität mentaler Repräsentationen räumlicher Information in Abhängigkeit von der Erwerbssperspektive. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 3, 180-194.
- Salzman, M., Dede, C., Loftin, R.B. & Ash, K. (1998). VR's frames of reference: A visualization technique for mastering abstract information spaces. In *Proceedings of the Third International Conference on Learning Sciences*, 249-255. Charlottesville, VA: Association for the Advancement of Computers in Education.
- Sandstrom, N.J., Kaufman, J., Huettel, S.A. (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. *Cognitive Brain Research*, 6, 351-360.
- Schnotz, W., Seufert, T. & Bannert, M. (2001). Lernen mit Multimedia: Pädagogische Verheißungen aus kognitionspsychologischer Sicht. In R. K. Silbereisen & M. Reitzle (Hrsg.), *Psychologie 2000. Bericht über den 42. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Lengerich: Pabst Science Publisher.
- Schwonke, R., Nückles, M., Hauser, S., Berthold, K. & Renkl, A. (2005). Computergestütztes Schreiben von Lernprotokollen. Umsetzung und Evaluation eines kognitiven Werkzeugs zur Förderung selbstgesteuerten Lernens. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 42-53.
- Shelton, A.L. & McNamara, T.P. (2001). Systems of Spatial Reference in Human Memory. *Cognitive Psychology*, 43, 274-310.
- Shelton, A.L. & McNamara, T.P. (2004). Orientation and Perspective Dependence in Route and Survey Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 158-170.

- Shelton, A.L. & Pippitt, H.A. (2007). Fixed versus dynamic orientations in environmental learning from ground-level and aerial perspectives. *Psychological Research*, 71, 333-346.
- Shrout, P.E. & Fleiss, J.L. (1979). Intraclass correlation: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86, 420-428.
- Siegel, A.W. & White, S. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behaviour*. New York: Academic Press.
- Souvignier, E. & Gold, A. (2004). Lernstrategien und Lernerfolg bei einfachen und komplexen Leistungsanforderungen. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 51, 308-318.
- Souvignier, E. & Rös, K. (2005). Lernstrategien und Lernerfolg bei komplexen Leistungsanforderungen- Analysen mit Fragebogen und Lerntagebuch. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis*. Münster: Waxmann.
- Stark, R. & Krause, U. (2009). Effects of reflection prompts on learning outcomes and learning behaviour in statistics education. *Learning Environ Res*, 12, 209-223.
- Stark, R., Tyroller, M., Krause, U. & Mandl, H. (2008). Effekte einer metakognitiven Promptingsmaßnahme beim situierten, beispiebsbasierten Lernen im Bereich Korrelationsrechnung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22, 59-71.
- Thillmann, H., Gößling, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2009). Strategisches Lernen mit interaktiven digitalen Medienverbänden. In: PLötzner, R., Leuders, T. & Wichert, A. (Hrsg.). *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbänden*. Münster: Waxmann.

- 
- Thorndyke, P.W. & Goldin, S.E. (1983). Spatial Learning and Reasoning Skill. In: H. L. Pick & L. P. Acredolo (Eds.), *Spatial Orientation: Theory, Research, and Application*. Springer Verlag US.
- Thorndyke, P.W. & Hayes-Roth, B. (1982). Difference in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14, 560-589.
- Tlauka, M., Brolese, A., Pomeroy, D. & Hobbs, W. (2005). Gender differences in spatial knowledge acquired through simulated exploration of a virtual shopping centre. *Journal of Environmental Psychology*, 25, 111-118.
- Waller, D.A. (1999). An assessment of individual differences in spatial knowledge of real and virtual environments.
- Waller, D.A. (2000). Individual Differences in Spatial Learning from Computer-Simulated Environments. *Journal of Experimental Psychology*, 6, 307-321.
- Waller, D. (2005). The WALKABOUT: Using virtual environments to assess large-scale spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 21, 243-253.
- Waller, D., Hunt, E. & Knapp, D. (1998). The Transfer of Spatial Knowledge in Virtual Environment Training. *Presence*, 7, 129-143.
- Waller, D., Knapp, D. & Hunt, E. (2001). Spatial representations of visual mazes: The role of visual fidelity and individual differences. *Human Factors*, 43, 147-158.
- Wentura, D. & Pospeschill, M. (2015). *Multivariate Datenanalyse. Eine kompakte Einführung*. Wiesbaden: Springer.
- Wichmann, A. & Leutner, D. (2009). Inquiry Learning. Multilevel Support With Respect to Inquiry, Explanations and Regulation During an Inquiry Cycle. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 117-127.

- Wild, K.P. & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, 185-200.
- Wilson, P.N. (1999). Active exploration of a virtual environment does not promote orientation or memory for objects. *Environment and Behavior*, 31, 752-763.
- Wilson, P.N., Foreman, N. & Tlauka, M. (1997). Transfer of spatial information from a virtual to real environment. *Human Factors*, 39, 526-530.
- Wilson, P.N. & Péruch, P. (2003). The influence of interactivity and attention on spatial learning in a desk-top virtual environment. *Curr Psychol Cogn*, 21, 601-633.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2005). Selbstreguliertes Lernen in komplexen und dynamischen Situationen. In: Artelt, C. & Moschner, B. (Hrsg.). *Lernstrategien und Metakognition. Implikationen für Forschung und Praxis*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2009). Prompting Self-Regulated Learning Through Prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 91-94.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In Mandl, H. & Friedrich, H. F. (Hrsg.). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Göttingen: Hogrefe.
- Witmer, B.G., Bailey, J.H., Knerr, B.W. & Parsons, K. (1996). Virtual spaces and real world places: transfer of route knowledge. *Int . J . Human – Computer Studies*, 45, 413-428.

Witmer, B.G., Sadowski, W.J. & Finkelstein, N.M. (2002). VE-Based Training Strategies for Acquiring Survey Knowledge. *Presence*, 11, 1-18.

## Anhänge

## Anhang A

### A1

#### Räumlicher Orientierungstest

Dies ist ein Test, der deine Fähigkeit überprüft, dir verschiedenen räumliche Perspektiven oder Orientierungen vorzustellen. Auf jeder der folgenden Seiten wirst du eine Anordnung von verschiedenen Objekten sehen, einen Kreis mit einem Orientierungspfeil und eine Frage bezüglich der Lage einiger Objekte zueinander. Zur Beantwortung der Frage auf jeder Seite sollst du dir vorstellen, dass du an dem Ort eines der Objekte stehst (dieses ist im Kreismittelpunkt genannt) und in Richtung eines anderen Objektes blickst (dies ist am oberen Rand des Kreises genannt). Deine Aufgabe ist es, von diesem Standpunkt aus einen Pfeil vom Kreismittelpunkt in Richtung eines dritten Objektes zu zeichnen.

Schau dir das Beispiel auf der nächsten Seite an. In diesem Beispiel wirst du gebeten dir vorzustellen, dass du am Ort der Blume stehst (die im Mittelpunkt des Kreises genannt ist) und in Richtung des Baumes blickst (der am oberen Rand des Kreises genannt ist). Deine Aufgabe ist es, einen Pfeil in Richtung der Katze zu zeichnen. Im Beispiel ist dieser Pfeil für dich bereits eingezeichnet. In den Testaufgaben sollst du den Pfeil zeichnen. Kannst du erkennen, dass sich die Katze in dieser Richtung befindet, wenn du am Ort der Blume stehen würdest, mit dem Blick zum Baum? Bitte wende dich an den Versuchsleiter/ die Versuchsleiterin, wenn du Fragen zu dieser Art von Aufgaben hast.

Es gibt zwölf Aufgaben in diesem Test, auf jeder Seite eine. Bei jeder Aufgabe sind die Objekte im oberen Bereich der Seite und der Kreis mit dem Orientierungspfeil im unteren Bereich. Bitte hebe das Aufgabenblatt nicht an, dreh es nicht, und mach keinerlei Markierungen. Versuche, die richtige Richtung einzuzeichnen, aber halte dich an einzelnen Aufgaben nicht zu lange auf.

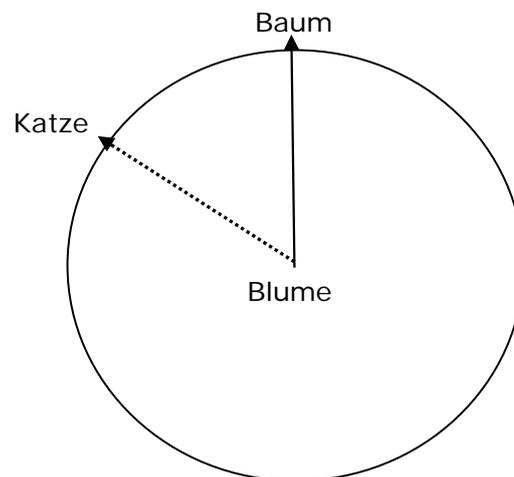
Du hast 5 Minuten, um den gesamten Test zu beantworten.

Code:
-------

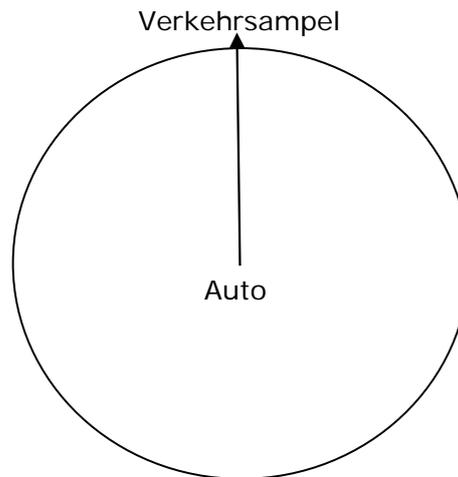


Beispiel

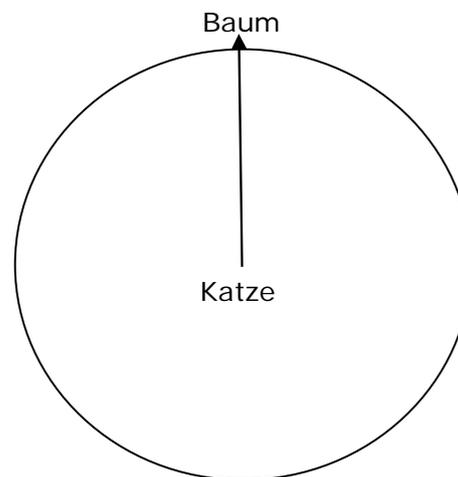
Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der die **Blume** ist und schaust in Richtung des **Baumes**.  
Zeig auf die **Katze**!



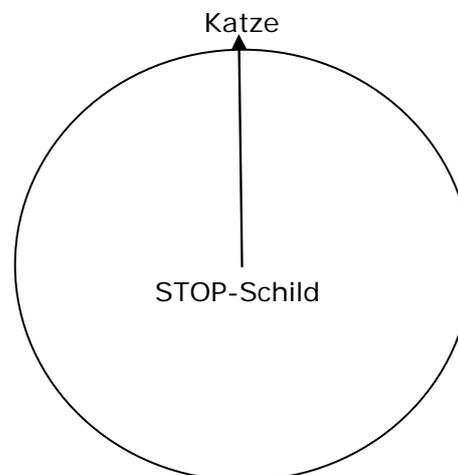
1. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der das **Auto** ist und schaust in Richtung der **Verkehrsampel**.  
Zeig auf das **STOP-Schild**!



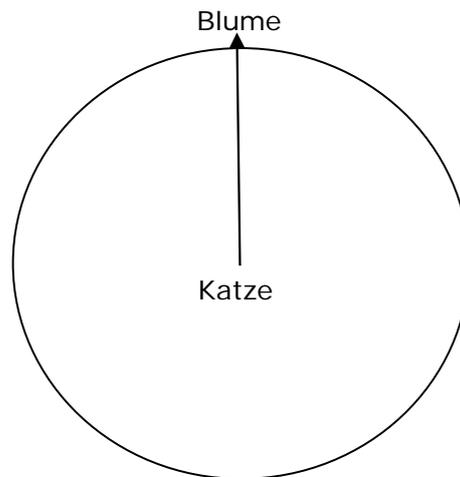
2. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der die **Katze** ist und schaust in Richtung des **Baumes**.  
Zeig auf das **Auto**!



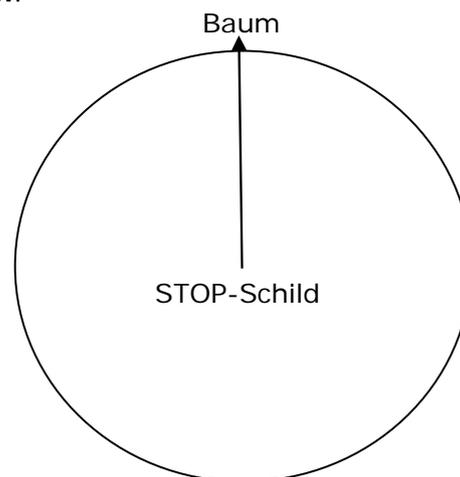
3. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der das **STOP-Schild** ist und schaust in Richtung der **Katze**.  
Zeig auf das **Haus**!



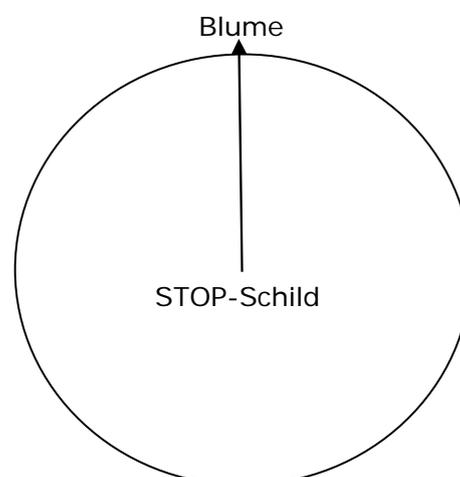
4. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der die **Katze** ist und schaust in Richtung der **Blume**.  
Zeig auf das **Auto!**



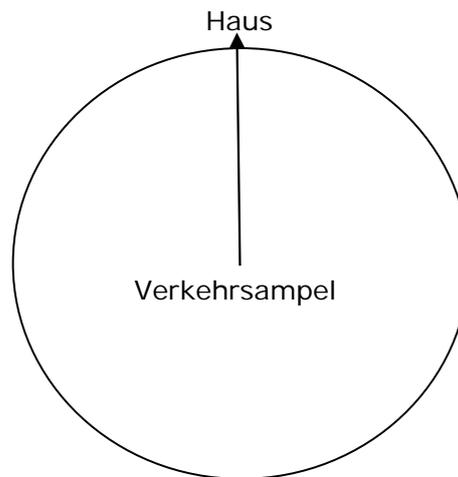
5. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der das **STOP-Schild** ist und schaust in Richtung des **Baumes**.  
Zeig auf die **Verkehrsampel!**



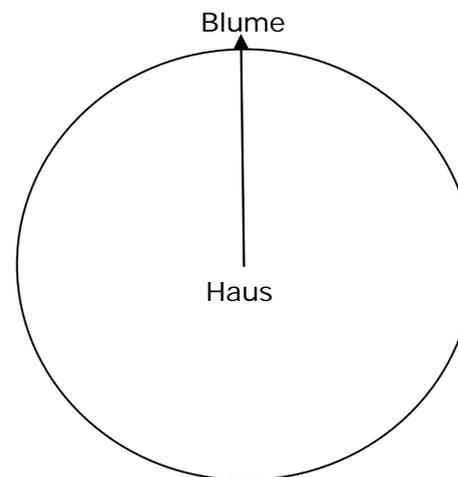
6. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der das **STOP-Schild** ist und schaust in Richtung der **Blume**.  
Zeig auf das **Auto!**



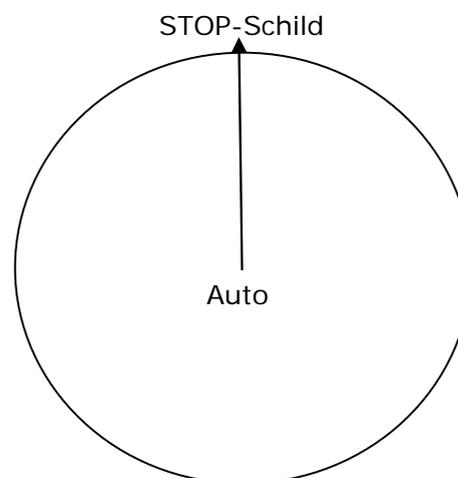
7. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der die **Verkehrsampel** ist und schaust in Richtung des **Hauses**.  
Zeig auf die **Blume**!



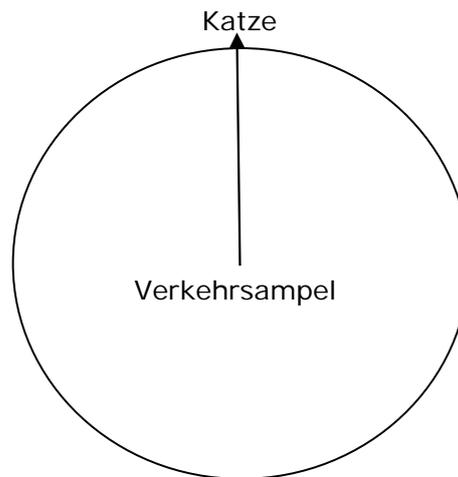
8. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der das **Haus** ist und schaust in Richtung der **Blume**.  
Zeig auf das **STOP-Schild**!



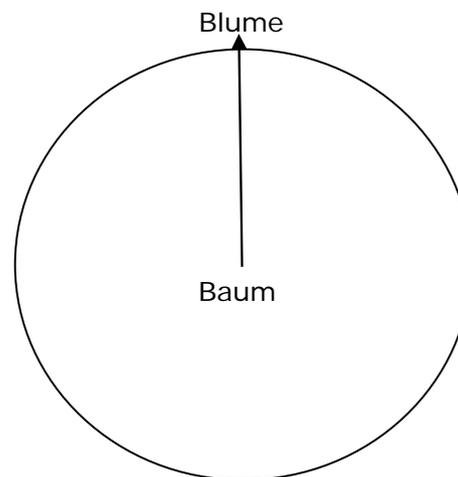
9. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der das **Auto** ist und schaust in Richtung des **STOP-Schildes**.  
Zeig auf den **Baum**!



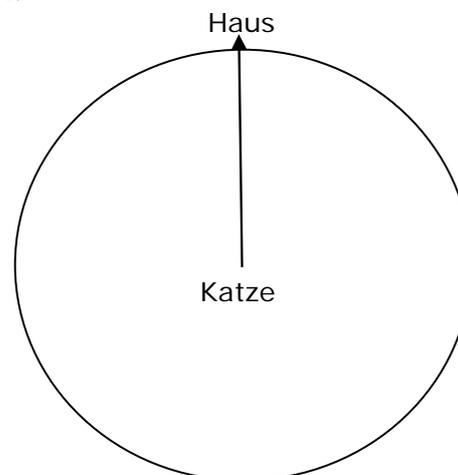
10. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der die **Verkehrsampel** ist und schaust in Richtung der **Katze**.  
Zeig auf das **Auto!**



11. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der der **Baum** ist und schaust in Richtung der **Blume**.  
Zeig auf das **Haus!**



12. Stell Dir vor, Du stehst an der Stelle, an der die **Katze** ist und schaust in Richtung des **Hauses**.  
Zeig auf die **Verkehrsampel!**



## A2

**Fragebogen Räumliche Orientierung**

Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu Verhaltensweisen beim Zurechtfinden in räumlichen Umgebungen. Wir bitten Sie, für *jede* Aussage anzuzeigen, inwieweit Sie der Aussage zustimmen. Die Möglichkeit zur Ablehnung bzw. Zustimmung hat die folgende Form:

lehne stark ab    1 2 3 4 5 6 7    stimme stark zu

Bitte markieren Sie für jede Aussage diejenige Position durch Einkreisen, die dem Grad Ihrer Zustimmung am besten entspricht. Markieren Sie bitte die Mittelposition (4), wenn Sie weder zustimmen noch ablehnen.

		lehne stark ab	1	2	3	4	5	6	7	stimme stark zu
1	Wenn ich durch eine unbekannte Stadt laufe, dann weiß ich, aus welcher Richtung ich gekommen bin und in welche Richtung ich mich bewege.	1	2	3	4	5	6	7		
2	Wenn mich jemand in meiner Stadt nach dem Weg fragt, dann stelle ich mir meine Stadt wie auf einer Karte vor und ermittle daraus den Weg.	1	2	3	4	5	6	7		
3	Wenn ich mich durch ein großes Gebäude bewege, dann stelle ich mir dabei eine Art Plan oder Grundriss (Überblicksansicht) vor.	1	2	3	4	5	6	7		
4	Ich bin sehr gut darin, von meinem gegenwärtigen Standort aus Richtungen zu anderen Orten anzugeben.	1	2	3	4	5	6	7		
5	In der freien Natur (z.B. Wald, Gebirge) kann ich mich an einen Weg sehr gut erinnern, wenn ich ihn einmal gegangen bin.	1	2	3	4	5	6	7		
6	Ich kann spontan zeigen, wo Norden, Süden, Osten und Westen liegt.	1	2	3	4	5	6	7		
7	Ich stelle mir die Umgebung stets wie auf einer „mentalen Karte“ (Überblicksansicht) vor.	1	2	3	4	5	6	7		
8	Ich finde stets ohne Probleme zu meinem Ziel.	1	2	3	4	5	6	7		
9	In der freien Natur versuche ich, die räumlichen Gegebenheiten aus der Vogelperspektive zu verstehen.	1	2	3	4	5	6	7		
10	In einer unbekanntem Umgebung finde ich mich gut zurecht.	1	2	3	4	5	6	7		
11	Wenn ich in meiner Stadt unterwegs bin, dann kann ich mir meine Position wie einen Punkt auf meiner „mentalen Karte“ vorstellen.	1	2	3	4	5	6	7		
12	Ich bin sehr gut darin, mir Wege zu merken und finde auch ohne Mühe den Rückweg.	1	2	3	4	5	6	7		
13	In einem großen Gebäude habe ich keine Schwierigkeiten, einen Weg nochmals zu gehen, wenn ich den Weg einmal gegangen bin.	1	2	3	4	5	6	7		
14	Mein Orientierungssinn ist sehr gut.	1	2	3	4	5	6	7		
15	In meiner Stadt kann ich von einem beliebigen Punkt aus spontan angeben, in welchen Richtungen markante Gebäude oder Bezugspunkte liegen.	1	2	3	4	5	6	7		
16	Ich verfüge über eine sehr gute Vorstellung von meiner Stadt, wie auf einer Karte.	1	2	3	4	5	6	7		
17	In der freien Natur kann ich spontan zeigen, wo Norden, Süden, Osten und Westen liegt.	1	2	3	4	5	6	7		
18	In einem großen Gebäude weiß ich spontan, in welcher Richtung der Eingang liegt.	1	2	3	4	5	6	7		
19	Wenn ich mich in einer unbekanntem Stadt bewege, dann bilde ich in meiner Vorstellung eine Art „mentale Karte“.	1	2	3	4	5	6	7		

Sie sind...     männlich     weiblich

Ihr Alter:  
Ihr Studienfach:

**Code:**

## A3-I

Vorstudie

**Erfahrungen mit Computerinterfaces und Computerspielen**

Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu deinen bisherigen Erfahrungen mit Computerspielen. Bitte gib an, wie sehr diese Aussagen auf dich zutreffen. Hinter jeder Aussage findest du eine Skala von 1 bis 5, mit der du deine Zustimmung abstimmen kannst (s. Beispiel). Die Aussage (3) stellt die Mittelposition dar.

① ② ③ ④ ⑤

Markiere bitte deine Antworten deutlich mit einem Kreuz in den dafür vorgesehenen Feldern.

Jetzt geht's los 😊

1. Wie viel Zeit in Stunden verbringst du durchschnittlich pro Woche am Computer?

..... Min.

2. Wie viel Zeit in Stunden verbringst du durchschnittlich pro Woche mit Computerspielen und Spielkonsole?

..... Min.

3. Wie oft spielst du folgende Computerspiele?	nie .....	sehr oft
Actionspiele/ Ego-Shooter (z.B. Doom, Quake, Counterstrike)	①	② ③ ④ ⑤
Adventures (z.B. LucasArts, The Legend of Kyrandia)	①	② ③ ④ ⑤
Geschicklichkeitsspiele (z.B. Mikado, Darts)	①	② ③ ④ ⑤
Jump & Run-Spiele (z.B. Super Mario, Jungle Hunt, Elvator Action)	①	② ③ ④ ⑤
Rollenspiele (z.B. Tales of Trolls & Treasures)	①	② ③ ④ ⑤
Simulationen (z.B. Sims, Kriegssimulationen)	①	② ③ ④ ⑤
Sportspiele (z.B. FIFA, Rennen)	①	② ③ ④ ⑤
Strategiespiele (z.B. MULE, SimCity)	①	② ③ ④ ⑤
Virtuelle Welten (z.B. Second Life, Habbo Hotel)	①	② ③ ④ ⑤
Wii-Konsole	①	② ③ ④ ⑤

4. Welche Eingabegeräte verwendest du zur Bewegung und Steuerung in Computerspielen?	nie .....	sehr oft
Tastatur	①	② ③ ④ ⑤
Maus	①	② ③ ④ ⑤
Joystick	①	② ③ ④ ⑤
Wiimote	①	② ③ ④ ⑤
Lenkrad	①	② ③ ④ ⑤
Gamepad	①	② ③ ④ ⑤
Controller	①	② ③ ④ ⑤
Sonstiges	①	② ③ ④ ⑤

## Vorstudie

5. Hast du bei der Steuerung der Spielfiguren Probleme?	nie ..... sehr oft
	① ② ③ ④ ⑤
6. Ich spiele Computerspiele, bei denen ich...	nie ..... sehr oft
mit/gegen computergesteuerte/n Spielpartner/n spiele	① ② ③ ④ ⑤
mit/gegen andere/n menschliche/n Personen spiele	① ② ③ ④ ⑤
7. Ich interessiere mich für die Spiele, bei denen ich...	lehne ..... stimme stark ab                      stark zu
verschiedene Rätsel lösen soll	① ② ③ ④ ⑤
Gegenstände/Informationen finden soll	① ② ③ ④ ⑤
eine besondere Reaktionsfähigkeit mitbringen soll	① ② ③ ④ ⑤
einen/mehrere Spielcharakter(e) erschaffen und Aufgaben lösen soll	① ② ③ ④ ⑤
eine/mehrere Sportart(e) ausüben kann	① ② ③ ④ ⑤
besondere Strategien entwickeln und anwenden soll	① ② ③ ④ ⑤
gegen anderen Spieler kämpfe	① ② ③ ④ ⑤
8. Ich lerne mit ...	lehne ..... stimme stark ab                      stark zu
CD-Rom	① ② ③ ④ ⑤
Multimedia	① ② ③ ④ ⑤
Animationen	① ② ③ ④ ⑤
Internetangeboten	① ② ③ ④ ⑤
9. Magst du Computergrafiken?	gar nicht.....sehr
	① ② ③ ④ ⑤
10. Ich kann mir das Leben ohne Computerspiele kaum noch vorstellen	lehne ..... stimme stark ab                      stark zu
	① ② ③ ④ ⑤

Code:

## A3-II

Studie I

**Erfahrungen mit Computerinterfaces und Computerspielen**

Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu deinen bisherigen Erfahrungen mit Computerspielen.

Bitte gib an, wie sehr diese Aussagen auf dich zutreffen. Hinter jeder Aussage findest du eine Skala von 1 bis 5, mit der du deine Zustimmung abstimmen kannst. Markiere bitte deine Antworten deutlich mit einem Kreuz in den dafür vorgesehenen Feldern!

1. Wie viel Zeit in Stunden verbringst du durchschnittlich pro Woche am Computer?

2. Wie viel Zeit in Stunden verbringst du durchschnittlich pro Woche mit Computerspielen / Spielkonsole?

3. Nenne bitte nun die drei Spiele, die du am liebsten spielst und gib bei jedem an, wie oft du es spielst!

**Spiel 1:**

 nicht gespielt in  
den letzten 12  
Monaten

 gespielt ein paar  
Mal in den letzten  
12 Monaten

 weniger als  
1 Stunde  
am Tag

 mehr als  
1 Stunde  
am Tag

 mehr als  
2,5 Stunde  
am Tag
**Spiel 2:**

 nicht gespielt in  
den letzten 12  
Monaten

 gespielt ein paar  
Mal in den letzten  
12 Monaten

 weniger als  
1 Stunde  
am Tag

 mehr als  
1 Stunde  
am Tag

 mehr als  
2,5 Stunde  
am Tag
**Spiel 3:**

 nicht gespielt in  
den letzten 12  
Monaten

 gespielt ein paar  
Mal in den letzten  
12 Monaten

 weniger als  
1 Stunde  
am Tag

 mehr als  
1 Stunde  
am Tag

 mehr als  
2,5 Stunde  
am Tag

Nenne bitte ggf. weitere Spiele, die du gerne spielst!

**Code:**

## Anhang B

### B1-I

Vorstudie

#### Einweisung in die interaktiven Kontrollmöglichkeiten in YAMAMOTO

Deine Aufgabe ist es, das Gebäude so gut wie möglich kennenzulernen. Stelle dir z.B. vor, dass du dich später im realen Gebäude bewegen wirst, dort vielleicht ein Ziel finden sollst oder jemandem einen Weg im Gebäude beschreiben wirst. Das Gebäude hat mehrere Stockwerke und existiert wirklich.

Das Computerprogramm bietet dir verschiedene Möglichkeiten, das Gebäude kennenzulernen. Du kannst selbst entscheiden, wie du diese Möglichkeiten nutzt.

#### 1. Betrachtungsmöglichkeiten

Es gibt verschiedene Ansichten, zwischen denen du während der Exploration wechseln kannst.

– Die **orthogonale Ansicht**, die einem Bauplan bzw. einer Grundrisszeichnung ähnlich ist. Hier betrachtet man das Gebäudemodell von oben. Diese Ansicht kannst du in der Menüleiste unter View auswählen.

– Die **Perspektiveansicht** zeigt das Gebäudemodell dreidimensional mit einem Betrachterstandpunkt außerhalb des Modells. Die Ansicht kannst du in der Menüleiste unter View auswählen.

– Die **Avataransicht** zeigt das Modell von innen. Die Perspektive entspricht einer Person, die sich durch das Gebäude bewegen kann. Eine solche virtuelle Person wird „Avatar“ genannt. Durch Klicken auf den Button Avatar kannst du den Avatar aktivieren und ihn in der gewünschten Stelle im Gebäude platzieren. Du kannst den Avatar deaktivieren, indem du auf den blauen Button neben dem Avatar klickst.

Um das gewünschte Stockwerk zu wählen oder zwischen den Etagen wechseln zu können, klicke bitte mit der rechten Maustaste auf Layer. Der aktuelle Layer (= das aktuelle Stockwerk) wird mit rot markiert.

#### 2. Kontrollmöglichkeiten bei den **orthogonalen** und **perspektivischen** Ansichten

- horizontales Drehen der Ansicht (mit Mousrad)
- vertikales Drehen (SHIFT+Mousrad)
- Ziehen des Modells (die linke Maustaste drücke, halten und ziehen)
- Zoomfunktion (Strg+ Mousrad)

#### 3. Kontrollmöglichkeiten bei dem **Avatar**

- Vorwärts & Rückwärts (Tasten auf & ab)
- Rechts & Links (Tasten rechts & links) (Halten der Shifttaste beschleunigt die Bewegungen)
- Seitlich treten (Tasten N & M)

## B1-II

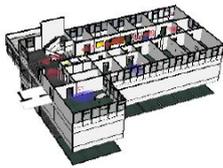
Studie I

**Interaktionsmöglichkeiten in YAMAMOTO**

Du interagierst in unserem Experiment mit einem virtuellen Gebäudemodell. Hierfür bietet das Computerprogramm verschiedene Möglichkeiten, die im Folgenden erläutert werden.

Es gibt **zwei verschiedene Ansichten**, zwischen denen du wechseln kannst:

Die **Perspektivenansicht** zeigt das Gebäudemodell dreidimensional mit einem Betrachterstandpunkt außerhalb des Modells.



Du kannst das gewünschte **Stockwerk wählen** bzw. zwischen den **Etagen wechseln**. Das aktuelle Stockwerk wird rot markiert.

Level 3
Level 2
Level 1
Basement

Du kannst das **Gebäude Horizontal & vertikal drehen**.



Du kannst das **Gebäudemodell zoomen** (aus/hineinzoomen).



Du kannst **das Modell schieben**. Du sollst die linke Maustaste auf das Modell drücken, halten und dann ziehen.

Die **Avataransicht** zeigt das Modell von innen. Die Perspektive entspricht der einer Person, die sich durch das Gebäude bewegen kann. Eine solche virtuelle Person wird „Avatar“ genannt.



Mit den Pfeiltasten auf der Tastatur kannst du innen dem Gebäude den **Avatar bewegen**.



Klicke diesen Button, um den **Avatar zu aktivieren** und ihn in der gewünschten Stelle im Gebäude **zu platzieren**.



Klicke diesen Button, um den **Avatar zu deaktivieren** und auf die Perspektivenansicht zurückzukommen.



Studie I

**Adaptive Aufgaben zum Umgang mit Interfaces**

Jetzt kannst du üben, mit den Kontrollmöglichkeiten umgehen zu können. Du sollst dabei folgende Aufgaben lösen:

**Perspektivenansicht**

1. Wechsel jetzt zum 2. OG!
2. Rotiere das Gebäude horizontal & vertikal!
3. Zoome größer und kleiner!
4. Verschiebe jetzt das Gebäudemodell!
5. Wechsele jetzt zum 1. OG!
6. Wechsele jetzt in Avataransicht!

**Avataransicht**

7. Platziere den Avatar in dem 1. Obergeschoss!
8. Gehe jetzt zum 2. OG! Dabei sollst du die Treppen benutzen.



Hast du alles verstanden, oder gibt es noch Unklarheiten? Hast du noch Fragen?

## B2-I

Vorstudie

### **Instruktion- Lernphase**

#### Deine Aufgabe

Du fängst jetzt an, das Gebäudemodell kennenzulernen. Bitte beachte folgendes: 5 Objekte (5 nummerierte Säulen) sind im Gebäude platziert. Du sollst alle 5 Säulen finden und dir merken, wo im Gebäude die Säulen stehen.

Du sollst so dabei gut wie möglich versuchen, dir die Struktur des Gebäudes einzuprägen und eine mentale Vorstellung vom Gebäude zu entwickeln.

Für die Lernphase hast du insgesamt 10 Minuten Zeit.

#### Laut denken

Sehr wichtig! Ich bitte dich darum, während du das Gebäude kennlernst, laut zu denken, d.h. jeden deiner Gedanken, Gründe und Entscheidungen laut auszusprechen. Deine Äußerungen werden aufgezeichnet.

Hast du noch Fragen?

## B2-II

Studie I

**Instruktion Lernphase**

Du sollst nun ein virtuelles Gebäude kennenzulernen. Stelle dir vor, dass du dich später im realen Gebäude zurechtfinden, dort vielleicht ein Ziel oder einen Raum finden sollst oder jemandem einen Weg im Gebäude beschreiben wirst.

Außerdem sind 5 Objekte (5 nummerierte farbige Säulen) im Gebäude verteilt platziert.

Deine Aufgaben:

- Du sollst so gut wie möglich versuchen, dir die **Struktur des Gebäudes einzuprägen** und eine mentale Vorstellung vom Gebäude zu entwickeln.
- Du sollst alle **5 Säulen finden**.
- Du sollst dir merken, **wo im Gebäude die Säulen stehen**.

Was kommt danach?

Nach der Lernphase werden dir paar Testaufgaben zur Struktur des Gebäudes gestellt, die du lösen sollst.

Du hast jetzt insgesamt 10 Minuten Zeit.

Code:
-------

## B3-III (T)

Studie II

**Instruktion-Trainingsphase**

Du sollst nun ein virtuelles Gebäudemodell erkunden. Dafür hast du verschiedene Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung, die du bereits kennengelernt hast. Außerdem sind in diesem Gebäude 6 farbige, nummerierte Säulen platziert.

Deine Aufgaben:

- Du sollst so gut wie möglich versuchen, dir die **Struktur des Gebäudes einzuprägen** und eine mentale Vorstellung vom Gebäude zu entwickeln.
- Du sollst alle **6 Säulen finden** und **dir merken, wo im Gebäude diese stehen**.

Wenn keine Fragen mehr offen sind, dann kannst du anfangen. Während der Interaktion mit dem Modell werden keine Fragen mehr beantwortet.

Du hast jetzt insgesamt 24 Minuten Zeit.

Viel Erfolg 😊

Code:
-------

## B3-III (TK & TKM)

Studie I

### Instruktion-Trainingsphase

Du sollst nun ein virtuelles Gebäudemodell erkunden. Dafür hast du verschiedene Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung, die du bereits kennengelernt hast. Außerdem sind in diesem Gebäude 6 farbige, nummerierte Säulen platziert.

#### Deine Aufgaben:

- Du sollst so gut wie möglich versuchen, dir die **Struktur des Gebäudes einzuprägen** und eine mentale Vorstellung vom Gebäude zu entwickeln.
- Du sollst alle **6 Säulen finden** und **dir merken, wo im Gebäude diese stehen**.

#### Was ist währenddessen zu tun?

Während des Lernens mit dem Modell stellen wir dir einige Aufgaben bzw. geben dir Hinweise. Diese dienen als Hilfen, welche das Lernen unterstützen.

Die Aufforderungen zur Bearbeitung dieser Fragen bzw. zur Durchführung der Anweisungen erscheinen in einem Dialogfenster im virtuellen Modell, wobei du dann aufgefordert wirst, eine bestimmte Seite deines Booklets zu bearbeiten. Erst nach Bearbeitung der Fragen kannst du im Modell weiter lernen.

- Die Anweisungen auf den Arbeitsblättern sind selbsterklärend.
- Alle Fragen müssen beantwortet werden.
- Bei der Bewertung sind weder Schreibfehler noch Schreibstil relevant, daher sich nicht zulange damit aufhalten!
- Schreibe bitte keine ausgeschriebenen Sätze, sondern stichwortartig!

Wenn keine Fragen mehr offen sind, dann kannst du anfangen. Während der Interaktion mit dem Modell werden keine Fragen mehr beantwortet.

Viel Erfolg 😊

Code:
-------

## Anhang C

### C1

#### Auswertungsbogen für die qualitative Videoanalyse

CODE:

Überblicksphase (von ... bis ... )	sehr schlecht	sehr gut
Der Proband versucht, sich zunächst einen ersten Überblick zu verschaffen: <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein - schaltet die Stockwerke durch - rotiert/ zoomt/ schiebt die Karte	1 2 3 4 5 6 7	
Kommentar: .....		

Säulenstrategie (von ... bis ... )	sehr schlecht	sehr gut
Der Proband versucht, die Säulen zu finden: <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein - schaltet die Stockwerke durch - rotiert/ zoomt/ schiebt die Karte - wechselt auf Avatar-Ansicht - platziert den Avatar in der Nähe der Säule - erkundet mit Avatar Umgebung der Säule	1 2 3 4 5 6 7	
Kommentar: .....		

Strukturstrategie (von ... bis ... )	sehr schlecht	sehr gut
Der Proband versucht, Struktur des Gebäudes zu verstehen: <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein - schaltet die Stockwerke durch - vergleicht die Stockwerke miteinander - allozentrische Ansicht ist klar dominant - Rotation / Zoom / Karte schieben werden genutzt	1 2 3 4 5 6 7	
Kommentar: .....		

Egozentrische Strategie (von ... bis ... )	sehr schlecht	sehr gut
Der Proband versucht, durch den Avatar bestimmte Wege / Strukturen zu verstehen: <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein - läuft hauptsächlich mit Avatar - bleibt erkennbar länger in dieser Ansicht - erkundet beispielsweise einen Flur - erkundet beispielsweise einen Weg (einschließlich Treppen) von Säule zu Säule	1 2 3 4 5 6 7	
Kommentar: .....		

Sonstige Vorgehensweise / Restkategorie (von ... bis ... )	
Der Proband hat andere Vorgehensweise: <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein - geht nicht strategisch/ unfokussiert vor - schaltet unsystematisch hin und her zwischen den Stockwerken - schaltet unsystematisch zwischen allozentrischen und egozentrischen Ansichten	
Kommentar: .....	

Globalbewertung	sehr schlecht	sehr gut
	1 2 3 4 5 6 7	
Kommentar: .....		

---

**Kriterien für die Qualitätsbewertung der Strategien**


---

**Überblicksphase**

- Betrachtet man alles aus allozentrischer Perspektive/ schaltet auf Avatar- Ansicht?	+/-
- Schaltet man alle der Stockwerke/ nur einige der Stockwerke durch?	+/-
- Schaltet man die Stockwerke der Reihe nach/ nach beliebiger Reihenfolge durch?	+/-
- Rotiert/ schiebt/ zoomt man zuerst das Gebäudemodell, dann schaltet die Stockwerke/ schaltet nur die Stockwerke durch?	+/-
- Vergleich man die Stockwerke mit einander (hin und her Levels wechseln)/ keine Vergleiche?	+/-

**Säulenstrategie**

- Rotiert/ zoomt/ schiebt man pro Stockwerk/ manchmal?	+/-
- Platziert man Avatar in der Nähe der Säule/ ungezielt irgendwohin?	+/-
- Erkundigt man mit Avatar die Umgebung der Säule genauer/ spaziert mit Avatar bisschen herum/	+/-
- Läuft man von einer Säule zur Nächsten und schaltet wieder zurück/ sieht die Säule von vorne und dann schaltet gleich wieder zurück?	+/-
- Versichert man, ob man die Säule wiederfindet?	+
- Avatar überläuft immer wieder die gleichen Stellen?	-
Ist eine Säule nicht gleich sichtbar, - schaltet gezielt hin und her zwischen den Ansichten, überprüft die letzte Stelle des Avatars und läuft weiter/ schaltet ungezielt um, Avatar überläuft immer wieder die gleichen Stellen und verliert immer wieder den Faden?	+/-

**Strukturstrategie**

- Schaltet man alle der Stockwerke/ nur einige der Stockwerke durch?	+/-
- Schaltet man die Stockwerke der Reihe nach/ nach beliebiger Reihenfolge durch?	+/-
- Rotiert/ schiebt/ zoomt man pro Stockwerk?	+/-
- Vergleich man die Stockwerke mit einander (hin und her Levels wechseln)/ keine Vergleiche?	+/-

**Egozentrische Strategie**

- Geht man mit Avatar einen halben Flur entlang und schaut hier und da mal links und rechts/ geht man von Säule zu Säule und dabei benutzt die Treppe	+/-
---	-----

## Anhang D

### D1-I

Vorstudie

#### **Tests zur Überprüfung des räumlichen Lernens**

Du hast nun das virtuelle Modell des Gebäudes kennen gelernt. Nutze nun deine mentalen Vorstellungen von den räumlichen Strukturen des Gebäudes, um die dir gestellten Aufgaben lösen zu können.

Es folgen hier verschiedene Aufgaben. Versuche bitte, die Aufgaben möglichst richtig zu lösen.

Vielen Dank für deine Mitarbeit

Jetzt geht es los 😊

Code:

Vorstudie

### 1. Wegbeschreibung

Deine Aufgabe ist es, von einem Standort aus den Weg zu einem bestimmten Objekt anzugeben, indem du die Route verbal beschreibst.

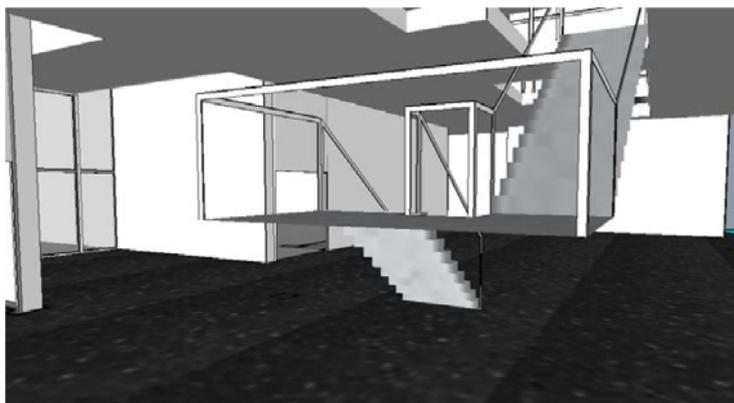
Bitte beachte, dass die Aufzüge nicht funktionieren und du deswegen die Treppen benutzen sollst.

Deine Aufgabe:

Beschreibe bitte den Weg zur Säule **Nummer 3!**

Deine Startposition ist zwischen dem Aufzug und dem Treppenhaus im Erdgeschoss. Der Aufzug ist hinter dir (s. Bild).

Area for writing the verbal route description, consisting of 15 horizontal dashed lines.



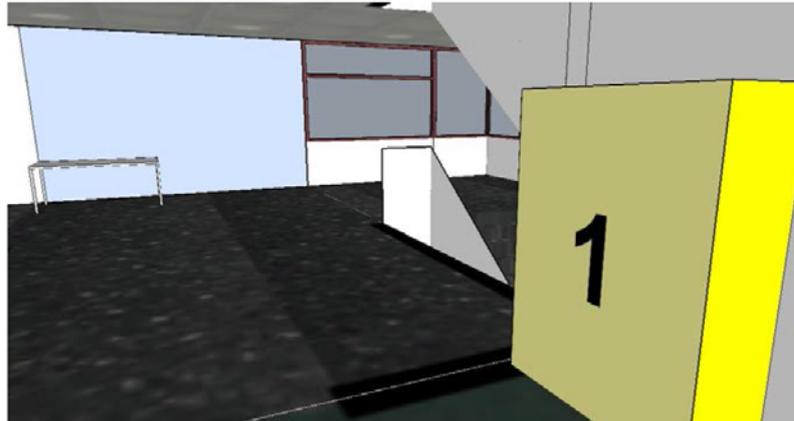
Vorstudie

## 2. Richtungseinschätzung

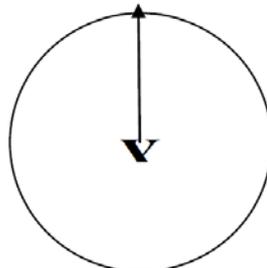
Bei diesem Test sollst du von einem bestimmten Objekt aus die Richtungen zu einigen anderen Objekten angeben bzw. einschätzen.

### Deine Aufgabe

Um die Richtungsschätzung machen zu können, werden dir Bilder gezeigt. Die Bilder zeigen dir, wo du in Modelle stehst und wohin schaust, wie in diesem Beispiel.



Eine Richtungsschätzung wird nun mit Hilfe eines solchen Kreises vorgenommen.



Das „X“ in der Mitte soll dein Standort im Modell sein. Der Strich bei „12 Uhr“ soll deine Blickrichtung darstellen, die aus dem obigen Bild hervorgeht.

Unter dem Kreis ist das Zielobjekt genannt, zu dem du die Richtung schätzen sollst. Das Zielobjekt ist normalerweise im Bild nicht zu sehen. Deine Schätzung basiert also auf deiner Kenntnis des Gebäudes.

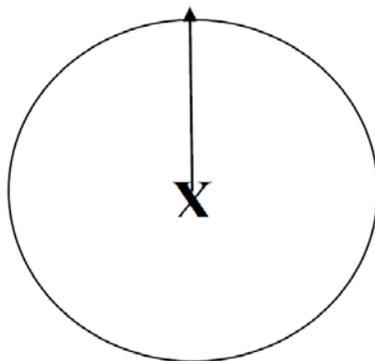
Um die Richtung anzuzeigen, zeichne bitte einen Strich auf die Kreislinie.

**Wichtig!** Bei den Einschätzungsaufgaben sollst du die Stockwerke und damit die Höhenunterschiede zwischen deinem Standort und dem Zielobjekt ignorieren.

Vorstudie

Beispiel:

Du sollst dir vorstellen, dass du am Ort des Schrankes Nr. 1 stehst und in Richtung des Fensters blickst. Deine Aufgabe ist, einen Pfeil in Richtung des weißen Tisches zu zeichnen.



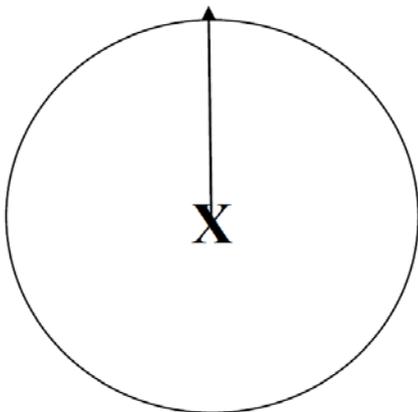
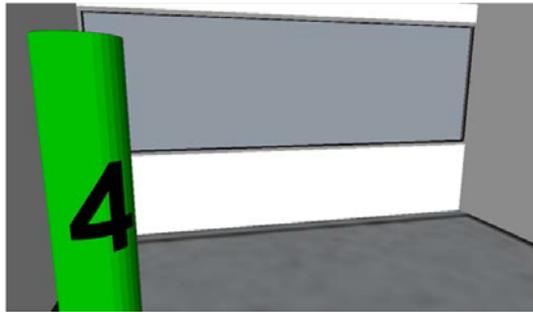
Zielobjekt: weißer Tisch

Hast du alles verstanden? Ansonsten frage die Versuchsleiterin!

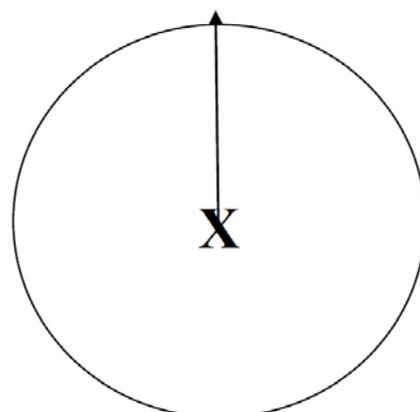
Vorstudie

Aufgaben 1-4

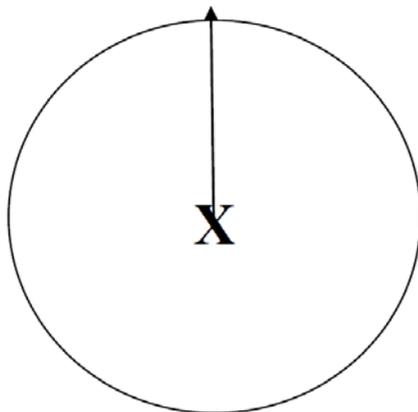
Standort: Säule 4



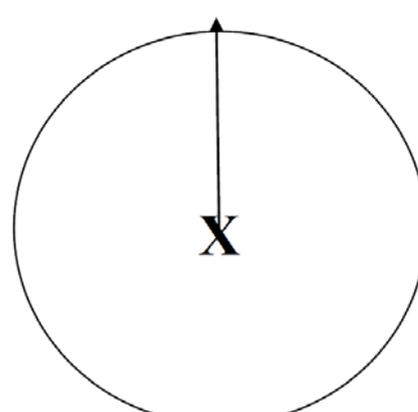
Zielobjekt: Säule 1



Zielobjekt: Säule 2



Zielobjekt: Säule 3

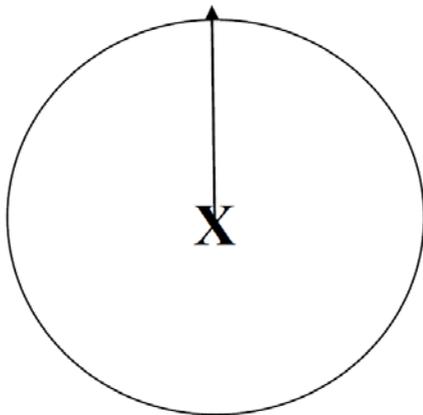
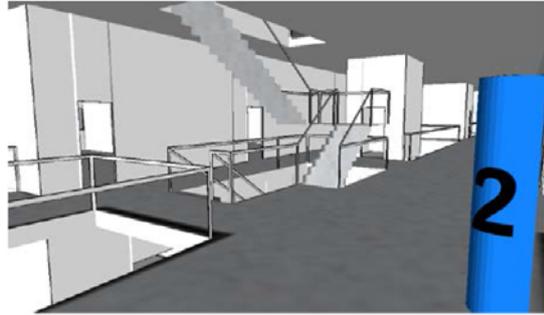


Zielobjekt: Säule 5

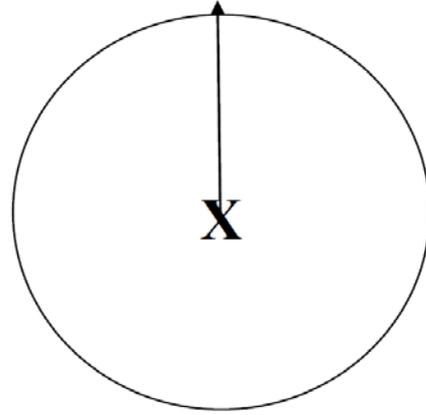
Vorstudie

Aufgaben 5-8

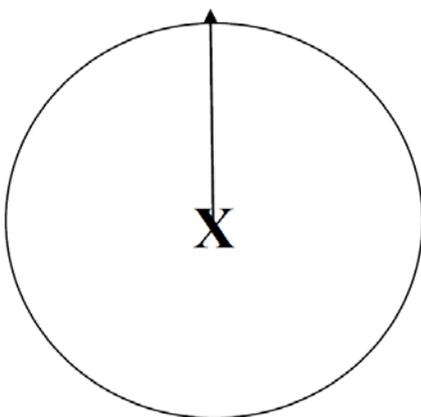
Standort: Säule 2



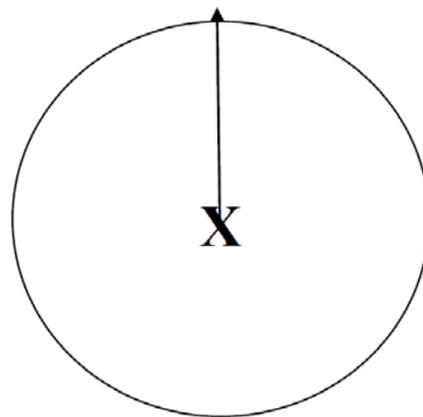
Zielobjekt: Säule 5



Zielobjekt: Säule 1



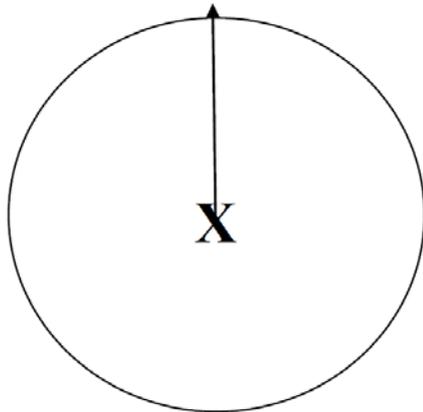
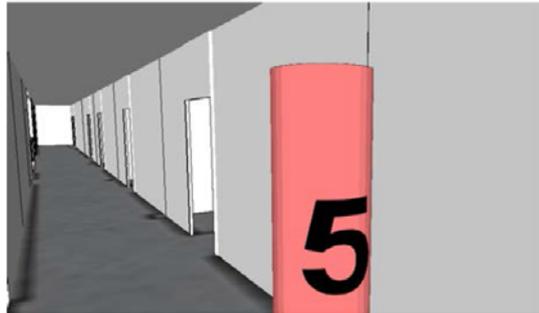
Zielobjekt: Säule 3



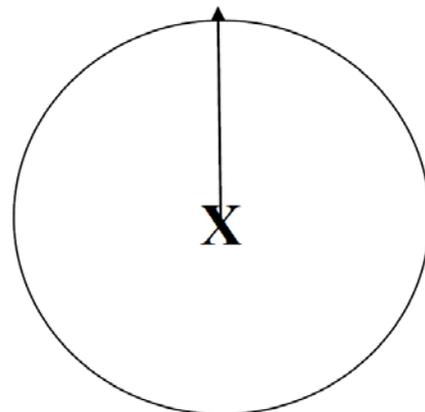
Zielobjekt: Säule 4

Vorstudie

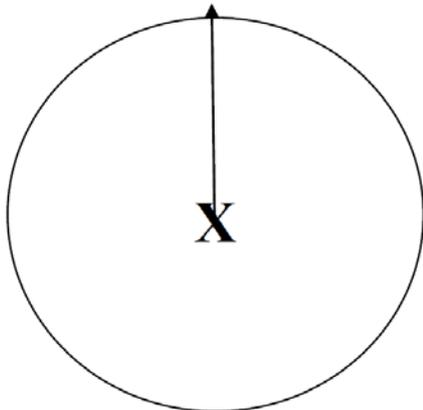
Aufgaben 9-12  
Standort: Säule 5



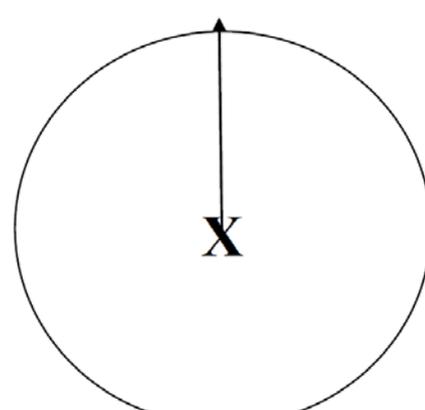
Zielobjekt: Säule 1



Zielobjekt: Säule 4



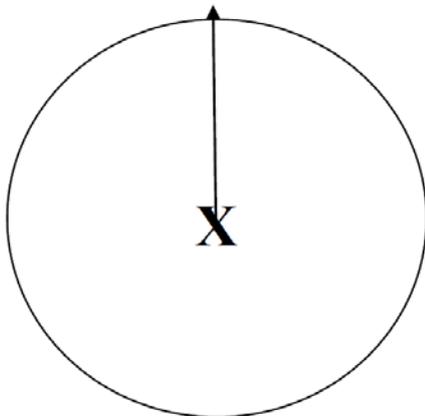
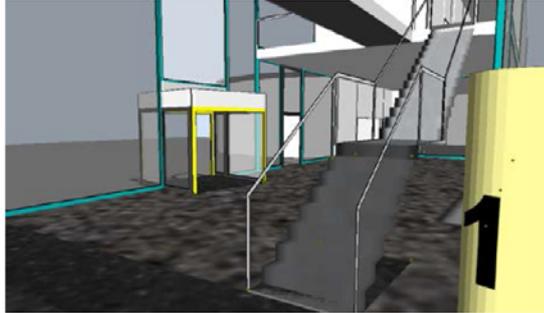
Zielobjekt: Säule 2



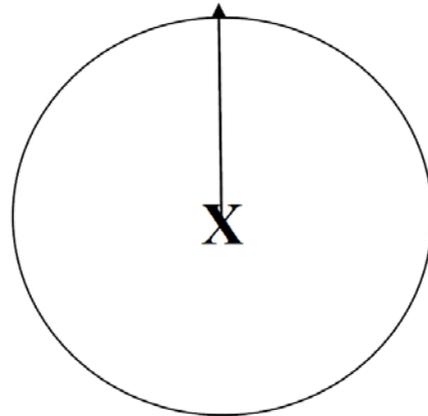
Zielobjekt: Säule 3

Vorstudie

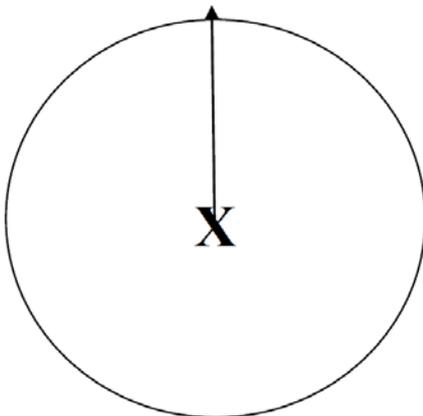
Aufgaben 13-16  
Standort: Säule 1



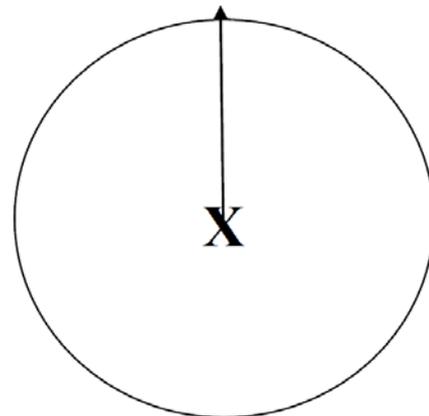
Zielobjekt: Säule 2



Zielobjekt: Säule 4



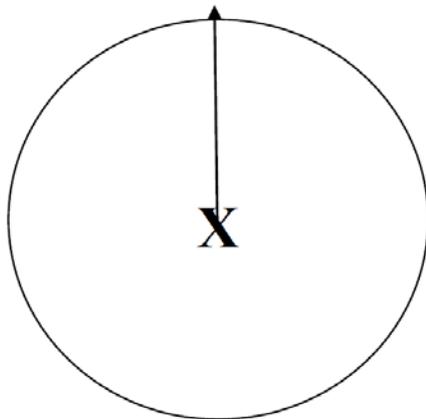
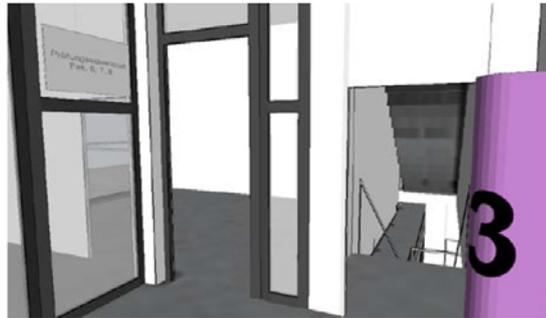
Zielobjekt: Säule 5



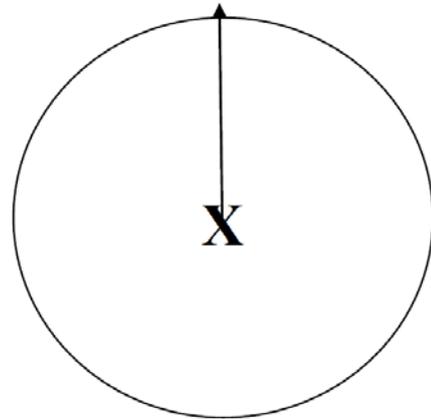
Zielobjekt: Säule 3

Vorstudie

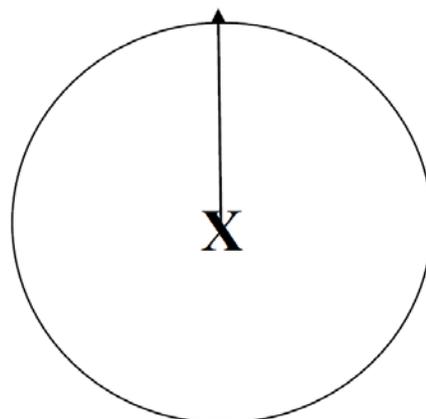
Aufgaben 17-20  
Standort: Säule 3



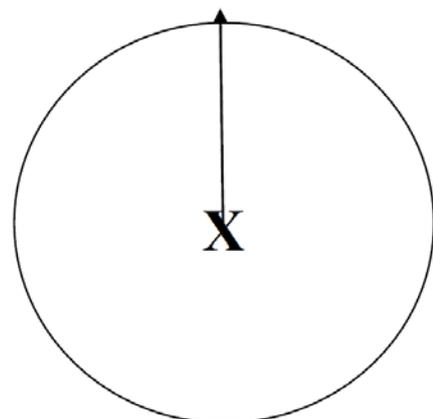
Zielobjekt: Säule 2



Zielobjekt: Säule 4



Zielobjekt: Säule 1



Zielobjekt: Säule 5

Vorstudie

### 3. Kartenskizze

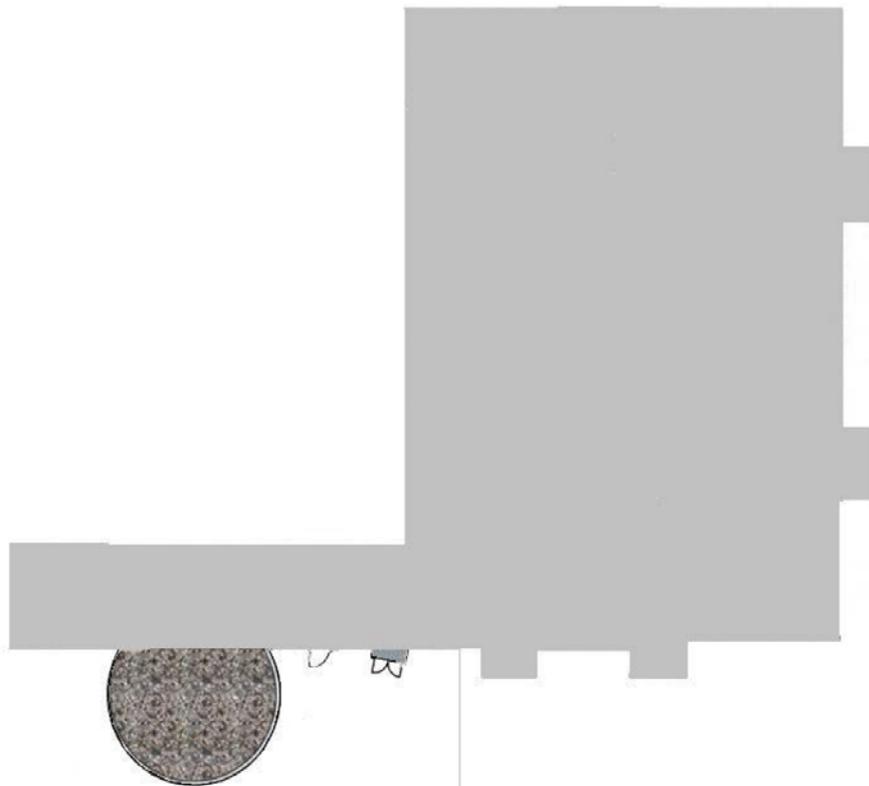
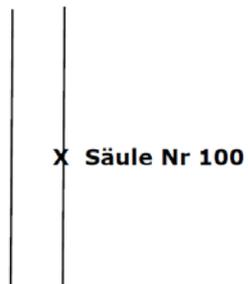
Stell dir nun vor, du befindest dich im Gebäude.

Deine Aufgabe ist es, eine **Kartenskizze des 1. Stockwerkes** zu zeichnen. Du zeichnest eine Karte aus der Vogelperspektive, also so, als würdest du von oben auf sie herabblicken.

Auf der nächsten Seite erhältst du den Umriss des Gebäudes.

- Zeichne bitte darauf ein:
  - die Gänge, die Räume, die Lage der Säule, die Nummer der Säule, Treppenhaus, Aufzug, Galerie.
- Beachte dabei bitte folgendes:
  - Zeichne den Gang mit 2 parallelen Strichen
  - Markiere die Stelle, wo sich eine Säule befindet, mit einem „X“
  - Schreibe die Nummer der Säule neben dieses „X“ (s. Beispiel)

Beispiel:



## D1-II

Studie I

**Tests zur Überprüfung des räumlichen Lernens**

Du hast nun das virtuelle Modell des Gebäudes kennen gelernt. Nutze nun deine mentalen Vorstellungen von den räumlichen Strukturen des Gebäudes, um die dir gestellten Aufgaben lösen zu können.

Es folgen hier verschiedene Aufgaben. Versuche bitte, die Aufgaben möglichst richtig zu lösen.

Code:
-------

Studie I

### Wegbeschreibung

Deine Aufgabe ist es, von einem Standort aus den Weg zu einem bestimmten Objekt anzugeben, indem du die Route verbal beschreibst.

Bitte beachte, dass die Aufzüge nicht funktionieren und du deswegen die Treppen benutzen sollst.

#### Aufgabe 1:

Beschreibe bitte den Weg zwischen **Säule 3** und **Säule 4**!

Du stehst im Gebäude so, dass du die **Säule 3** siehst, wie unten im Bild gezeigt. Nun sollst du den Weg von dieser Position und Ausrichtung (Blickrichtung) zur **Säule 4** beschreiben.

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

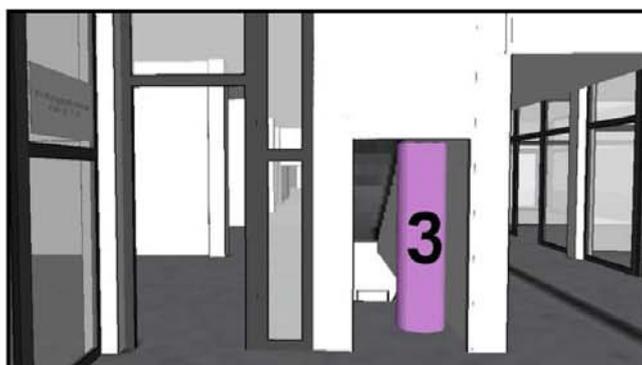
-----

-----

-----

-----

-----



Studie I

## Wegbeschreibung

### Aufgabe 2:

Beschreibe bitte den Weg zwischen **Säule 2** und **Säule 5**!

Du stehst vor der **Säule 2**, wie unten im Bild gezeigt. Nun sollst du den Weg von dieser Position und Ausrichtung (Blickrichtung) zur **Säule 5** beschreiben.

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

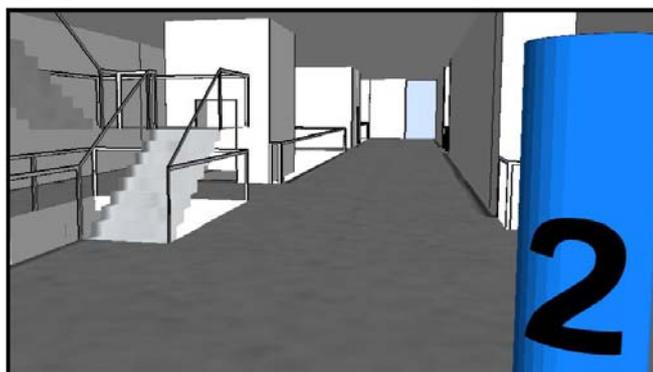
-----

-----

-----

-----

-----



Studie I

## Richtungseinschätzung

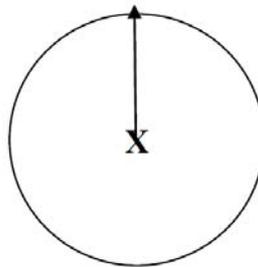
Bei diesem Test sollst du **von einem bestimmten Objekt aus die Richtungen zu einigen anderen Objekten schätzen**.

Wie sieht die Aufgabe aus?

Um die Richtungsschätzung machen zu können, werden dir Bilder gezeigt. Die Bilder zeigen dir, wo du in dem Gebäude stehst (Standort) und wohin du schaust (Blickrichtung). D.h. deine Blickrichtung wird aus dem Bild hervorgehen.

Das Zielobjekt ist im Bild nicht zu sehen. Daher wird dir das Zielobjekt, zu dem du die Richtung schätzen sollst, schriftlich angegeben.

Eine Richtungsschätzung wird nun mit Hilfe eines solchen Kreises vorgenommen.



Das „X“ in der Mitte soll dein Standort im Modell sein. Der Strich bei „12 Uhr“ stellt deine Blickrichtung dar. Um die Richtung zum Zielobjekt anzuzeigen, zeichne bitte einen Strich auf die Kreislinie.

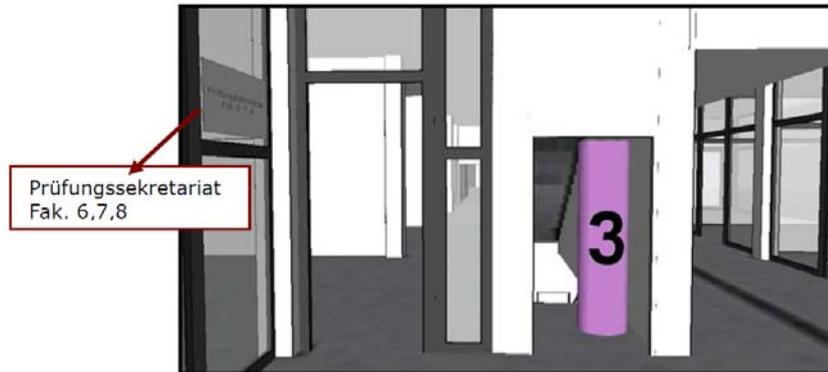
Wichtig!

- Im Bild kannst du das Zielobjekt nicht sehen.
- Deine Schätzung basiert also auf deiner Kenntnis, wo im Gebäude relativ zu deiner Position das Zielobjekt ist.
- Bei der Einschätzung sollst du die Stockwerke und damit die Höhenunterschiede zwischen deinem Standort und dem Zielobjekt ignorieren.

Studie I

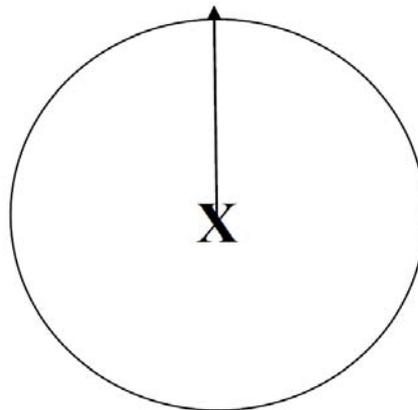
**Beispiel**

Beim Beispiel ist es anders als im Text. Nur hier ist das Zielobjekt im Bild zu sehen!



Standort: Säule 3

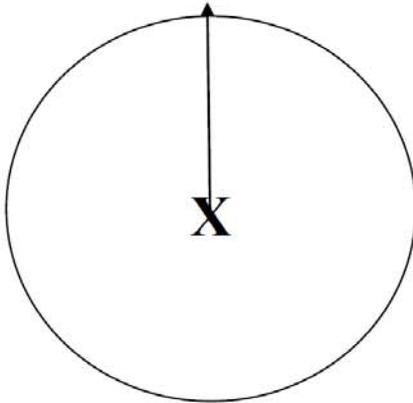
Zielobjekt: Prüfungssekretariat Fak. 6,7,8



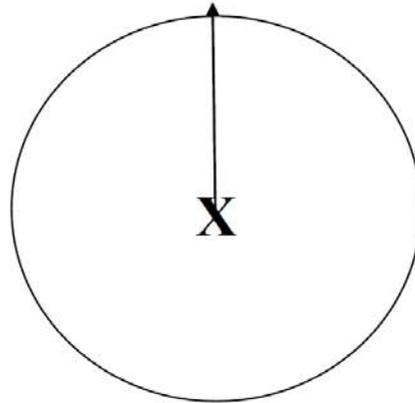
Studie I

Aufgaben 1 & 2

Standort: Säule 4



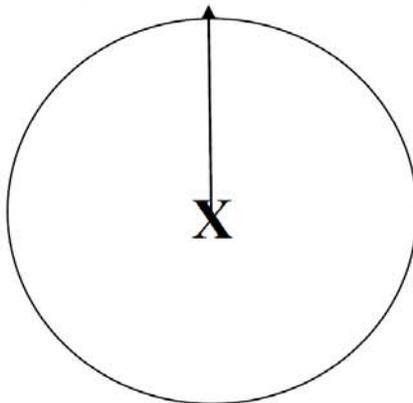
Zielobjekt: Säule 1



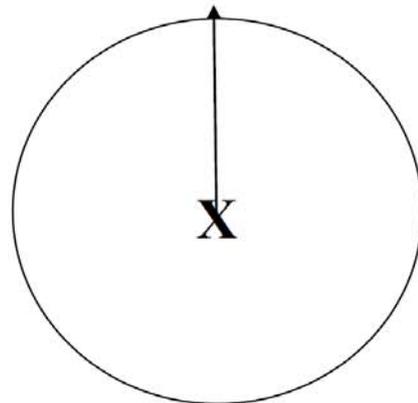
Zielobjekt: Säule 3

Aufgaben 3-5

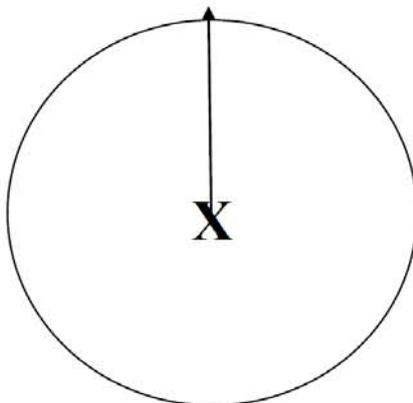
Standort: Säule 2



Zielobjekt: Säule 5



Zielobjekt: Säule 3

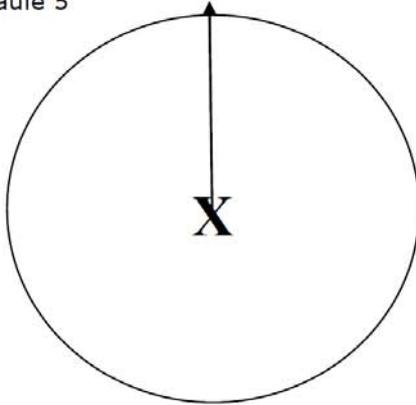


Zielobjekt: Säule 4

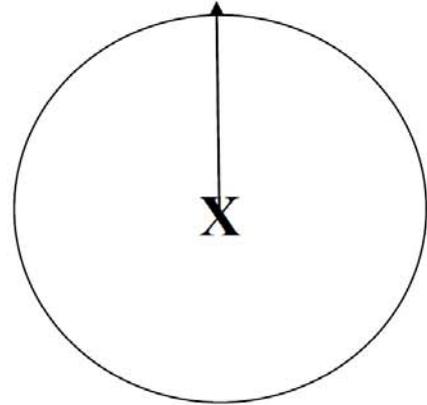
Studie I

Aufgaben 6-8

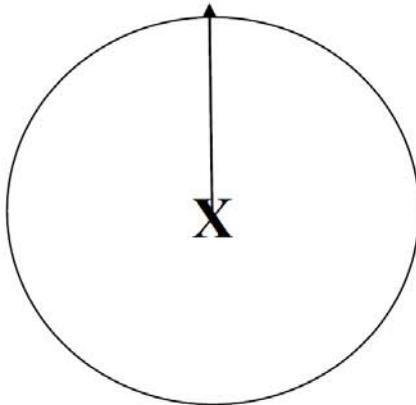
Standort: Säule 5



Zielobjekt: Säule 1



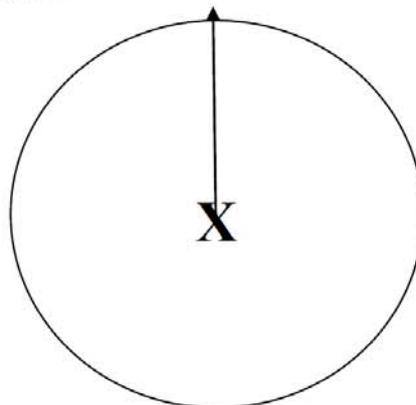
Zielobjekt: Säule 4



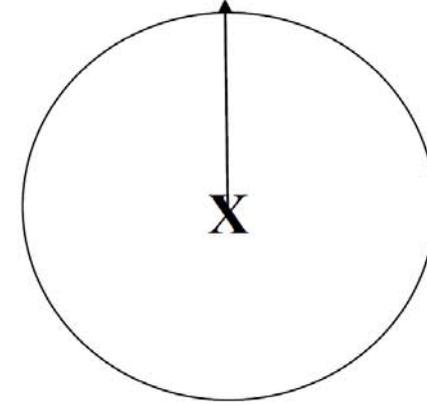
Zielobjekt: Säule 2

Aufgaben 9-12

Standort: Säule 1

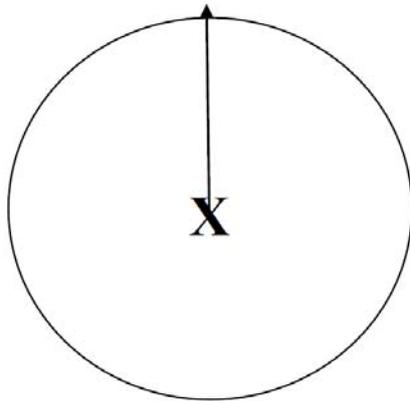


Zielobjekt: Säule 2

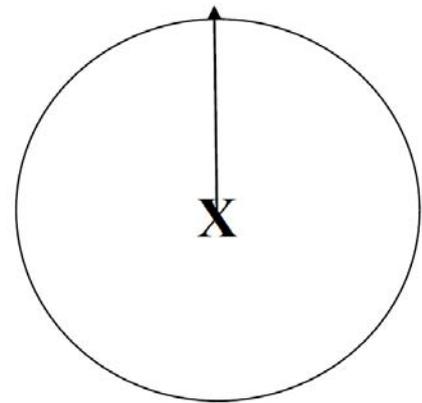


Zielobjekt: Säule 4

## Studie I



Zielobjekt: Säule 5



Zielobjekt: Säule 3

Studie I

### **Kartenskizze**

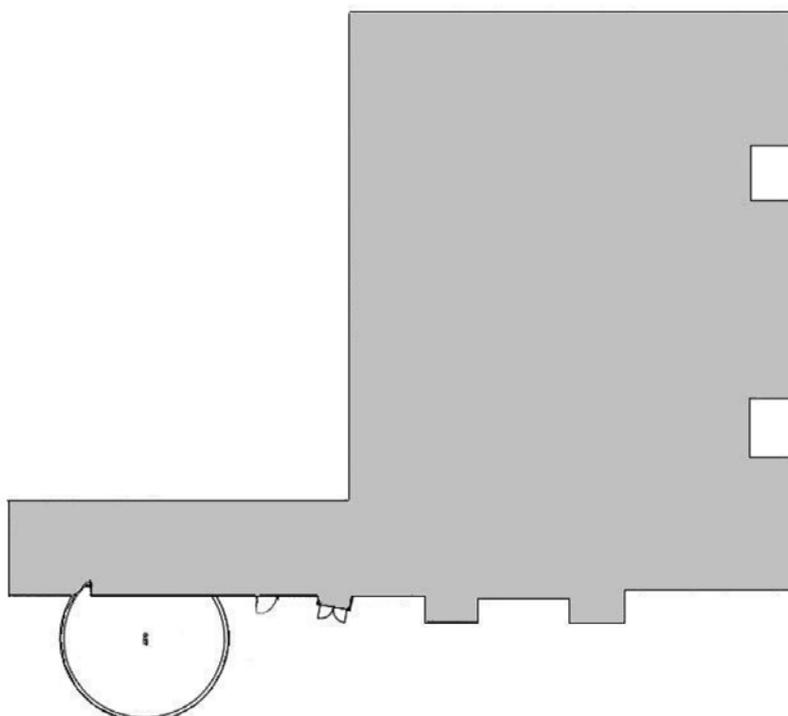
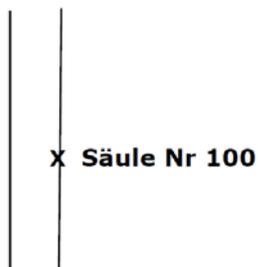
Stell dir nun vor, du befindest dich im Gebäude.

Deine Aufgabe ist es, eine **Kartenskizze des Erdgeschosses** zu zeichnen. Du zeichnest eine Karte aus der Vogelperspektive, also so, als würdest du von oben auf sie herabblicken.

Auf der nächsten Seite erhältst du den Umriss des Gebäudes.

- Zeichne bitte darauf ein:
  - die Gänge, die Räume, die Lage der Säule, die Nummer der Säule, Treppenhaus, Galerie.
- Beachte dabei bitte folgendes:
  - Zeichne einen Gang mit 2 parallelen Strichen
  - Markiere die Stelle, wo sich eine Säule befindet, mit einem „X“
  - Schreibe die Nummer der Säule neben dieses „X“ (s. Beispiel)

Beispiel:



## Anhang E

### E1

Studie I

#### Fragen zur Exploration des Gebäudes

1. Bist du mit den Interaktionsmöglichkeiten im Programm zurechtgekommen? Bitte gib an, wie sehr diese Aussagen auf dich zutreffen!

gar nicht zurecht  
gekommen      sehr gut zurecht  
gekommen

Wenn du damit nicht gut zurechtgekommen bist, warum nicht?

.....  
 .....

2. Hast du bestimmte Interaktionsmöglichkeiten (Buttons) bevorzugt/ häufiger benutzt?

Zoomen  Rotieren  Schieben  Etagen gewechselt

Warum?

.....  
 .....

3. Wann hast du den Avatar benutzt? Und warum?

.....  
 .....

4. Wann hast du Perspektivenansicht benutzt? Und warum?

.....  
 .....

5. In welcher Ansicht hast du die Säulen gefunden?

Perspektivenansicht  Avataransicht

6. Hast du vorher geplant, wie du vorgehen wirst?

Ja  Nein

7. Wie bist du vorangegangen? Was waren deine Strategien?

.....  
 .....

8. Mit welcher Ansicht kommst du beim Lernen der Gebäudestruktur besser zurecht?

Perspektivenansicht  Avataransicht  beiden

Code:

## Anhang F

### F1-III (TK)

#### Seite 1

- Verschaffe dir einen ersten Überblick über das Gebäude. Klicke die Etagen der Reihe nach an und betrachte die Strukturen der Etagen aus der Außenperspektive. Dabei hast du ca. 3 Minuten Zeit.

Klicke im Dialogfenster auf „start“, um mit deiner Aufgabe zu beginnen.

#### Seite 2

Du lernst schon eine Weile mit dem Gebäudemodell. Versuche jetzt deine Informationen mit deinen Vorerfahrungen zu verknüpfen. Dabei sollen dir die nachstehenden Fragen helfen.

Bitte beschreibe kurz ...

- Welchem Zweck könnte das Gebäude dienen/ was könnte sich in dem Gebäude befinden?

.....  
.....  
.....

- Welche Merkmale hast du für deine erste Einschätzung herangezogen und wie lassen sich diese Merkmale näher beschreiben?

.....  
.....  
.....

Bitte bearbeite jetzt direkt die Aufgaben auf Seite 3 deines Booklets!

**Seite 3**

Bis jetzt hast du dir einen Überblick verschafft und dein Wissen über das Gebäude mit deinen Vorerfahrungen verknüpft. Nun versuch dein Gelerntes zu vertiefen! Hierzu werden dir folgende Aufgaben gegeben. Lies diese sorgfältig und der Reihe nach durch. Dafür hast du ca. 12 Minuten Zeit.

Was ist jetzt zu tun?

- Finde die Säulen. Wenn du möchtest, überlege dir einen Namen oder eine Assoziation für jede Säule.
- Überlege, wie die Säulen räumlich zueinander stehen. Denke dir dazu eine gerade Linie zwischen je zwei Säulen – auch wenn die Säulen in verschiedenen Stockwerken stehen.
- Überlege, wie die Säulen im Gebäude stehen. In welcher Umgebung sind die Säulen zu finden – was ist jeweils in der Nähe, und in welchen Teilen des Gebäudes stehen sie?
- Denke dir im Gebäude zwei verschiedene Orte in zwei verschiedenen Etagen. Versuche, von einem Ort zum anderen mit dem Avatar zu gehen.

Jetzt hast du die Möglichkeit, diese im Modell vollständig umzusetzen, sobald du auf „weiter“ klickst.

Dieses Blatt kannst du während der Lernzeit im Modell weiter anschauen.

**Seite 4**

Gegen Ende des Lernens hast du nun die Möglichkeit, dein Gelerntes zusammenzufassen. Hierzu bearbeite bitte folgende Fragen!

- Überlege dir, in welche größeren Einheiten du das Gebäude zerlegen könntest. Versuche, diese Einheiten sehr knapp zu charakterisieren.

.....  
 .....  
 .....

- Vergleiche, ob die Etagen aus der Außenperspektive ähnlich oder verschieden gebaut sind. Worin bestehen die Unterschiede?

.....  
 .....  
 .....

Nun nachdem du deine Überlegungen schriftlich festgehalten hast, kannst du auf „weiter“ klicken.  
 Verbleibende Zeit im Modell: 5 Min.

## F1-III (TKM)

**Seite 1**

- Verschaffe dir einen ersten Überblick über das Gebäude. Klicke die Etagen der Reihe nach an und betrachte die Strukturen der Etagen aus der Außenperspektive. Dabei hast du ca. 3 Minuten Zeit.

Klicke im Dialogfenster auf „Start“, um mit deiner Aufgabe zu beginnen.

**Seite 2**

Halte einen Moment inne und bearbeite kurz die folgenden Punkte.

- Plane, wie du generell vorgehen wirst, um das Gebäudemodell kennenzulernen und dir die räumliche Struktur einzuprägen:

---

---

---

---

- Überlege dir, zu welchem Zweck du die Außenperspektive anwenden wirst:

---

---

---

- Überlege dir, zu welchem Zweck du die Innenperspektive (Avatar) anwenden wirst:

---

---

---

- Hast du dir vorgenommen, den Säulen einen Namen oder eine Assoziation zu geben?  Ja  Nein  
Wenn ja, welche?

---

---

Klicke im Dialogfenster auf „weiter“, um im Modell weiterlernen zu können.

**Seite 3**

Du lernst schon eine Weile mit dem Gebäudemodell. Versuche jetzt deine Informationen mit deinen Vorerfahrungen zu verknüpfen. Dabei sollen dir die nachstehenden Fragen helfen.

Bitte beschreibe kurz ...

- Welchem Zweck könnte das Gebäude dienen/ was könnte sich in dem Gebäude befinden?

.....

.....

.....

.....

- Welche Merkmale hast du für deine erste Einschätzung herangezogen und wie lassen sich diese Merkmale näher beschreiben?

.....

.....

.....

.....

Bitte bearbeite jetzt direkt die Aufgaben auf Seite 4 deines Booklets!

**Seite 4**

Bis jetzt hast du dir einen Überblick verschafft und dein Wissen über das Gebäude mit deinen Vorerfahrungen verknüpft. Nun versuch dein Gelerntes zu vertiefen! Hierzu werden dir folgende Aufgaben gegeben. Lies diese sorgfältig und der Reihe nach durch. Dafür hast du ca. 8 Minuten Zeit.

Was ist jetzt zu tun?

- Finde die Säulen. Wenn du möchtest, überlege dir einen Namen oder eine Assoziation für jede Säule.
- Überlege, wie die Säulen räumlich zueinander stehen. Denke dir dazu eine gerade Linie zwischen je zwei Säulen – auch wenn die Säulen in verschiedenen Stockwerken stehen.
- Überlege, wie die Säulen im Gebäude stehen. In welcher Umgebung sind die Säulen zu finden – was ist jeweils in der Nähe, und in welchen Teilen des Gebäudes stehen sie?
- Denke dir im Gebäude zwei verschiedene Orte in zwei verschiedenen Etagen. Versuche, von einem Ort zum anderen mit dem Avatar zu gehen.

Jetzt hast du die Möglichkeit, diese im Modell vollständig umzusetzen, sobald du auf „weiter“ klickst.

Dieses Blatt kannst du während der Lernzeit im Modell weiter anschauen.

**Seite 5**

Du steckst nun mitten im Lernen. Nimm dir einige Minuten Zeit, deinen Lernfortschritt zu überprüfen! Danach kannst du im Modell weitermachen.

Überprüfe Bitte ...

- Was hast du gut verstanden und was hast du noch nicht gut verstanden?

.....  
 .....  
 .....

- Bist du deinem ursprünglichen Plan gefolgt?  Ja  Nein

- hast du die Interaktionsmöglichkeiten und Ansichten so genutzt, wie du dir es vorgenommen hast?

Ja  Nein

- Möchtest du Deine Vorgehensweise ändern?  Ja  Nein

- Was willst du dabei ändern?

.....  
 .....  
 .....

- Was hast du noch nicht gemacht?

.....  
 .....  
 .....

- Was möchtest du als nächstes machen?

.....  
 .....

Klicke im Dialogfenster auf „weiter“, um im Modell weiterlernen zu können.

**Seite 6**

Gegen Ende des Lernens hast du nun die Möglichkeit, dein Gelerntes zusammenzufassen. Hierzu bearbeite bitte folgende Fragen!

- Überlege dir, in welche größeren Einheiten du das Gebäude zerlegen könntest. Versuche, diese Einheiten sehr knapp zu charakterisieren.

.....  
 .....  
 .....

- Vergleiche, ob die Etagen aus der Außenperspektive ähnlich oder verschieden gebaut sind. Worin bestehen die Unterschiede?

.....  
 .....  
 .....

Nun nachdem du deine Überlegungen schriftlich festgehalten hast, kannst du auf „weiter“ klicken.  
 Verbleibende Zeit im Modell: 5 Min.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Ausschnitt des in der Vorstudie eingesetzten virtuellen Gebäudemodells aus (a) orthogonaler Ansicht, (b) Perspektivenansicht und (c) Avatar-Ansicht .....	71
Abbildung 2. Ausschnitt vom Gebäudemodell in Yamamoto aus der Studie I mit vereinfachten und übersichtlichen Steuerungs-Tools .....	98
Abbildung 3. Schematische Darstellung des Verlaufs von Studie I .....	103
Abbildung 4. Graphische Darstellung der in der Studie I zu prüfenden Mediationsmodelle .....	106
Abbildung 5. Graphische Darstellung der Regressionsmodelle in der Mediationsanalyse .....	129
Abbildung 6. Überblick über die in Studie I identifizierten Strategiekomponenten (qualitative Indizes der Strategien) .....	138
Abbildung 7. Ausschnitt des virtuellen Gebäudemodells in der Trainingsphase aus Studie II .....	144
Abbildung 8. Überblick über die für das Trainingsprogramm konzipierten kognitiven Lernhilfen und ihre Subkomponenten .....	146
Abbildung 9. Überblick über die für das Trainingsprogramm konzipierten metakognitiven Lernhilfen und ihre Subkomponenten .....	147
Abbildung 10. Darstellung des Ablaufs der Studie II .....	148
Abbildung 11. Die automatischen Meldungen für den Beginn und das Ende der Lernzeit in der Trainingsstudie .....	150

---

Abbildung 12. Ein computerunterstützter Prompt der Trainingsgruppe TK	....	151
Abbildung 13. Lernschema mit den kognitiven und metakognitiven Lernhilfen der Trainingsgruppe TKM	.....	152
Abbildung 14. Boxplot-Diagramme der jeweiligen Kriterien des räumlichen Wissenserwerbs für alle Trainingsgruppen	.....	159
Abbildung 15. Grafische Darstellung des Zusammenhangs von standardisierten geschätzten Werten und empirisch gemessenen Werten in den Kriterien des räumlichen Lernens aus den Studien I und II	.....	165
Abbildung 16. Grafische Darstellung des Moderationseffekts des Trainings mit vs. ohne Lernhilfen auf die visuell-räumliche Fähigkeit der Mustererkennung für den Lernerfolg in der Wegbeschreibung	.....	174

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten zentralen Variablen und den unterschiedlichen Leistungskriterien des räumlichen Lernens .....	81
Tabelle 2. Deskriptive Statistik für Prädiktor- und Kriteriumsvariablen separat bei Frauen und Männern .....	84
Tabelle 3. Deskriptive Statistik für Prädiktor- und Kriteriumsvariablen von erfolgreichen vs. weniger erfolgreichen Lernern .....	110
Tabelle 4. Übereinstimmung zwischen zwei Ratern hinsichtlich der qualitativen Auswertung der Strategien .....	113
Tabelle 5: Bivariate Korrelationen zwischen den qualitativen Indizes der Explorationsstrategien und den unterschiedlichen Lernkriterin des räumlichen Lernens .....	115
Tabelle 6. Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten Prädiktorvariablen, quantitativen Indizes der Nutzung von Interaktionen und den unterschiedlichen Kriterien des räumlichen Lernens .....	117
Tabelle 7. Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage des räumlichen Lernens zur Richtungsschätzung; standardisierte Koeffizienten .....	119
Tabelle 8. Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage des räumlichen Lernens der Wegbeschreibung; standardisierte Koeffizienten .....	121
Tabelle 9. Prüfung des Geschlechtereffekts auf die Kriterien des räumlichen Lernens .....	124

---

Tabelle 10. Prüfung der Personenvariablen auf ihre Mediatorfunktion .....	125
Tabelle 11. Prüfung des Zusammenhangs zwischen den Personenvariablen und Kriterien des räumlichen Lernens .....	126
Tabelle 12. Prüfung des Zusammenhangs zwischen den Personenvariablen und Kriterien des räumlichen Lernens .....	126
Tabelle 13. Mediationsanalyse zur Vorhersage des räumlichen Lernens hinsichtlich der Richtungsschätzung und Kartenskizze durch Geschlecht (Prädiktor) und Personenfähigkeiten (Mediatoren) .....	127
Tabelle 14. Überblick über die experimentellen Bedingungen und dazugehörige Anzahl der Versuchspersonen .....	149
Tabelle 15. Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten Prädiktorvariablen und den unterschiedlichen Leistungskriterien des räumlichen Lernens .....	156
Tabelle 16. Deskriptive Daten für unterschiedliche Komponenten des räumlichen Lernens separat in jeweiligen Trainingsbedingungen.....	160
Tabelle 17. Zusammenfassende Darstellung der Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage des räumlichen Lernens zur Richtungsschätzung von Studien I & II .....	163
Tabelle 18. Überblick über die experimentellen Bedingungen und dazugehörige Anzahl der Versuchspersonen .....	167
Tabelle 19. Bivariate Korrelationen zwischen den in der Untersuchung erfassten Prädiktorvariablen und den unterschiedlichen Leistungskriterien des räumlichen Lernens .....	168

---

Tabelle 20. Multiple Regressionsmodelle zur Analyse des moderierenden Effekts von Trainingsbedingungen auf die Personenfähigkeiten zur Vorhersage des räumlichen Lernens in der Richtungsschätzung; standardisierte Koeffizienten  
..... 172



