Spatial Mapping in virtuellen Umgebungen: Der Einfluss von Stereoskopie und Natural Mapping auf die User Experience

Dissertation

**Zur Erlangung des akademischen Grades
doctor philosophiae (Dr. phil.)**

**vorgelegt der Philosophischen Fakultät an der
Technischen Universität Chemnitz**

von Daniel Pietschmann, geboren 31.07. 1982 in Plauen

Chemnitz, den 16. Mai 2014

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen meiner mehrjährigen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Medienforschung an der Technischen Universität Chemnitz. Im Speziellen ist die Arbeit das Ergebnis meiner Forschungstätigkeit im Graduiertenkolleg *CrossWorlds* („Connecting Virtual and Real Social Worlds“) der Deutschen Forschungsgemeinschaft, in dem ich in den vergangenen Jahren mitarbeiten durfte. Die stark interdisziplinäre Ausrichtung des Kollegs zwischen Informatik und Sozialwissenschaften eröffnete mir nicht nur neue inhaltliche und methodische Perspektiven für die eigene Arbeit, sie ermöglichte es auch gemeinsam neue Forschungsprobleme anzugehen und ein Verständnis für die Arbeitsweise, Bedürfnisse und Probleme informatischer Teildisziplinen zu entwickeln.

Ich möchte daher an erster Stelle meinem Doktorvater Prof. Dr. Peter Ohler danken, der mir nicht nur mit der Medienpsychologie eine spannende wissenschaftliche Heimat gegeben hat, sondern mir auch die Mitarbeit im Graduiertenkolleg ermöglichte. Durch unsere geteilte Leidenschaft für Virtual Reality, Science Fiction und Computer Game Studies ist es erst möglich, dass diese Arbeit letztlich genau in deren Schnittpunkt liegt und ich somit ein Thema beforschen konnte, das mich schon immer fasziniert hat.

Weiterhin danke ich meinen Kollegen Georg, Nicholas, Valentin, Timo, Sabine, Sarah und Madlen ganz herzlich für ihre Unterstützung, wertvollen Ratschläge und Diskussionen sowie für die freundschaftliche Arbeits- und Teamumgebung im Institut. Ein besonderer Dank gilt dabei Benny, der nicht nur ein hoch geschätzter Koautor für zahlreiche wissenschaftliche Beiträge war, sondern mir auch mit konstruktiver Kritik in allen Phasen der Promotion einschließlich des Redigierens der empirischen Kapitel zur Seite stand. Herzlichen Dank auch an Tom, Micha und Kevin für ihre scharfen Augen beim Korrekturlesen. Ich danke ebenfalls meinen CrossWorlds-Kollegen für die vielen inspirierenden Diskussionen.

Außerdem möchte ich Dr. Stephan Rusdorf für die Realisierung der Experimentalumgebung für die VR-Studien sowie meinen studentischen Hilfskräften Janne, Tina, Tobias und Thomas für die Hilfe bei der Versuchsdurchführung danken.

Ein ganz besonderer Dank gebührt außerdem meiner Frau Lisa. Sie hat mich seit dem ersten Tag begleitet, lieferte mir kritische Denkanstöße, war mit mir über Rückschläge frustriert und hat sich mit mir über die Fortschritte gefreut. Vielen Dank für deine unendliche Geduld und Motivation.

Abschließend danke ich meinen Eltern, meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung, ihre Aufmunterungen sowie die entgegengebrachte Nachsicht, da sie mich vor allem in den letzten Monaten der Promotion kaum zu Gesicht bekommen haben.

Vielen Dank.

Chemnitz, Mai 2014

Daniel Pietschmann

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkung von reichhaltigen, natürlichen Eingabe- und Ausgabeinformationen in virtuellen Umgebungen in Form von Natural Mapping und Stereoskopie. Dabei steht insbesondere die Kombination der Ein- und Ausgabemodalitäten mit dem damit verbundenen Interaktionsgegenstand im Fokus. Auf Basis von mentalen Modellen werden Transferprozesse von Wissen und Fertigkeiten bezüglich realer Handlungen auf virtuelle Handlungen angenommen. Diese resultieren in einer potenziell höheren User Experience und Performance bei der Interaktion. Spatial Mapping wird als Konzept der räumlichen Übereinstimmung von Wahrnehmungsräumen der Ein- und Ausgabeinformationen eingeführt und damit als holistische Erweiterung von Natural Mapping verstanden. Spatial Mapping bezeichnet in der vorliegenden Arbeit den Grad der Verknüpfung der physikalischen und virtuellen Umgebung, sodass Nutzer im Idealfall eine isomorphe Abbildung der beiden Wahrnehmungsräume erfahren und notwendige Transformationsprozesse für die Verarbeitung der virtuellen Umgebung minimiert werden können. Im Resultat stehen mehr kognitive Ressourcen für andere Inhalte zur Verfügung.

Auf Basis des Spatial-Mapping-Ansatzes wurde ein Pfadmodell konstruiert, das experimentell überprüft wurde. In zwei Experimenten wurden Effekte von Natural Mapping und Stereoskopie in Szenarien mit hohem Spatial Mapping untersucht. Das erste Experiment nutzte dafür ein kommerzielles Computerspiel, bei dem Spatial Mapping für die Interaktion nicht handlungsrelevant war. Beim zweiten Experiment kam ein Virtual-Reality-Simulator zum Einsatz, bei dessen Aufgabenstellung Nutzer vom hohen Spatial Mapping deutlich profitieren konnten. Meist wird Stereoskopie auf existierende mediale Inhalte angewendet, ohne die Inhalte entsprechend darauf anzupassen. Diese Vorgehensweise lässt sich sowohl bei kommerziellen Computerspielen als auch in der Filmindustrie beobachten. Die Experimente zeigen, dass Stereoskopie keinen Einfluss auf UX und Performance hat, wenn das verfügbare Spatial Mapping für den Interaktionsgegenstand nicht handlungsrelevant ist.

Die Arbeit diskutiert den Einsatz von Stereoskopie und Natural Mapping in Abhängigkeit des verwendeten Interaktionsgegenstandes und liefert damit einen Erklärungsansatz, der Eingabe- und Ausgabemodalitäten kombiniert betrachtet.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Zusammenfassung.....	3
Inhaltsverzeichnis.....	4
1 Einführung: Spatial Mapping in virtuellen Umgebungen	8
1.1 Zielsetzung und Beitrag der Arbeit.....	11
1.2 Methodik und Vorgehensweise	12
2 User Experience und Zustände fokussierter Aufmerksamkeit	16
2.1 User Experience als Gesamtkonzept	16
2.2 Involvement.....	21
2.3 Immersion.....	23
2.4 Engagement.....	25
2.5 Transportation.....	26
2.6 Cognitive Absorption	27
2.7 Presence	28
2.7.1 Presence-Konzept.....	28
2.7.2 Presence-Modelle.....	33
2.8 Zusammenfassung: UX und Zustände fokussierter Aufmerksamkeit	42
3 Two Step Process Model of Spatial Presence Formation	46
3.1 Grundannahmen des Modells	47
3.1.1 Spatial Presence Konzeption	48
3.1.2 Intentionale und reflexive Aufmerksamkeitsorientierung.....	50
3.1.3 Die Rolle von Nutzervariablen	52
3.2 Schritt 1: Konstruktion eines Spatial Situation Models.....	54
3.2.1 Mentale Modelle	54
3.2.2 Spatial Cues.....	56
3.2.3 Spatial Situation Models.....	58
3.3 Schritt 2: Die Entstehung von Spatial Presence	61
3.3.1 Primary Ego Reference Frames	61
3.3.2 Prüfung von Wahrnehmungshypothesen	63
3.3.3 Medium als primärer Referenzrahmen	65
3.4 MEC-SPQ als Instrument zur Messung von Spatial Presence	66

3.4.1	Bestandteile des Fragebogens.....	67
3.4.2	Exkurs: Alternative Erfassung von Spatial Situation Models.....	69
3.5	Validität und Kritik am Modell	75
3.6	Zusammenfassung: Two Step Process Model of Spatial Presence Formation	77
4	Stereoskopie in virtuellen Umgebungen.....	80
4.1	Binokulare Tiefenwahrnehmung.....	82
4.2	Technische Realisierung von Stereoskopie in virtuellen Umgebungen	86
4.2.1	Aktive Stereoskopie	87
4.2.2	Passive Stereoskopie	88
4.2.3	Autostereoskopie	89
4.2.4	Head-Mounted Display.....	90
4.2.5	Wahrnehmung stereoskopischer Bilder und Wahrnehmungsprobleme....	91
4.3	Stand der Forschung: Effekte der Stereoskopie.....	94
4.3.1	Studien im Virtual-Reality-Kontext.....	94
4.3.2	Studien im Film-Kontext	98
4.3.3	Studien im Computerspiel-Kontext	100
4.4	Zusammenfassung: Stereoskopie in virtuellen Umgebungen	110
5	Natural Mapping in virtuellen Umgebungen.....	114
5.1	Natural Mapping im Interface-Design.....	116
5.2	Natural Mapping bei Eingabegeräten	119
5.2.1	Gesten und Bewegungsmetaphern	119
5.2.2	Natural-Mapping-Typologie (Skalski et al., 2010)	123
5.2.3	Technische Realisierung von Natural Mapping	125
5.3	Stand der Forschung: Effekte von Natural Mapping.....	130
5.3.1	Studien im Virtual-Reality-Kontext.....	130
5.3.2	Studien im Computerspiel-Kontext	138
5.4	Zusammenfassung: Natural Mapping in virtuellen Umgebungen	147
6	Spatial Mapping von Wahrnehmungsräumen.....	151
6.1	Cognitive Mapping und Spatial Mapping	153
6.1.1	Cognitive Mapping.....	154
6.1.2	Spatial Mapping	156
6.1.3	Beispiele für Spatial Mapping.....	157
6.2	Relevanz des Interaktionsgegenstands für Spatial Mapping	162
6.3	Spatial Mapping und mentale Modelle.....	167
6.4	Pfadmodell Spatial Mapping	168

6.5	Experimentelle Überprüfung.....	172
6.6	Zusammenfassung: Spatial Mapping von Wahrnehmungsräumen.....	175
7	Experiment 1: Spatial Mapping bei niedriger Task Adequacy	177
7.1	Hypothesen und zusätzliche Fragestellungen.....	178
7.1.1	Einfluss von Natural Mapping und stereoskopischer Präsentation	178
7.1.2	Betrachtung von Kovariaten.....	182
7.2	Methode.....	184
7.2.1	Untersuchungsdesign	184
7.2.2	Stichprobe.....	185
7.2.3	Untersuchungsdurchführung	187
7.2.4	Instrumente	189
7.3	Ergebnisse.....	206
7.3.1	Prüfung von Voraussetzungen	206
7.3.2	Manipulationscheck	209
7.3.3	Hypothesenprüfung: ANCOVA	209
7.3.4	Hypothesenprüfung: Pfadanalyse	223
7.4	Diskussion.....	232
7.4.1	Zusammenfassung zu direkten und indirekten Pfaden.....	232
7.4.2	Effekte auf User Experience	234
7.4.3	Effekte auf Task Performance	238
7.4.4	Gültigkeit des Pfadmodells.....	241
7.4.5	Kritik zur Studie: Sensitivität des Experiments und triviale Effekte	242
7.5	Zusammenfassung: Spatial Mapping bei niedriger Task Adequacy.....	244
8	Experiment 2: Spatial Mapping bei hoher Task Adequacy	247
8.1	Hypothesen und zusätzliche Fragestellungen.....	249
8.1.1	Einfluss von Head Tracking und stereoskopischer Präsentation	249
8.1.2	Betrachtung von Kovariaten.....	252
8.2	Methode.....	253
8.2.1	Untersuchungsdesign	253
8.2.2	Pretest: Schwierigkeit und User Experience	254
8.2.3	Stichprobe.....	258
8.2.4	Untersuchungsdurchführung	259
8.2.5	Instrumente	263
8.3	Ergebnisse.....	281
8.3.1	Prüfung von Voraussetzungen	282
8.3.2	Manipulationscheck	284

8.3.3	Hypothesenprüfung: ANOVA.....	285
8.3.4	Hypothesenprüfung: Pfadanalyse	291
8.4	Diskussion	299
8.4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse zu direkten und indirekten Pfaden....	299
8.4.2	Effekte auf User Experience	301
8.4.3	Effekte auf Task Performance	304
8.4.4	Gültigkeit des Pfadmodells.....	306
8.4.5	Kritik zur Studie: Sensitivität des Experiments.....	307
8.5	Zusammenfassung: Spatial Mapping bei hoher Task Adequacy.....	309
9	Fazit und Ausblick	311
9.1	Zusammenfassung und Implikationen	311
9.2	Ausblick.....	316
	Literaturverzeichnis	319
	Software-Verzeichnis.....	349
	Abbildungsverzeichnis	351
	Tabellenverzeichnis	356
A.	Anhang Experiment 1.....	358
A.1	Fragebogen Experiment 1	359
A.2	Tabellen und Diagramme zu G*Power.....	369
A.3	Prüfung der Instrumente und deskriptive Auswertung	372
A.4	Inferenzstatistische Auswertung.....	373
B.	Anhang Experiment 2.....	374
B.1	Fragebogen Experiment 2	375
B.2	Pretest zur Ermittlung der Aufgabenschwierigkeit	386
B.3	Tabellen und Diagramme zu G*Power.....	387
B.4	Prüfung der Instrumente und deskriptive Auswertung	390
B.5	Inferenzstatistische Auswertung.....	391
C.	Digitaler Anhang	392

1 Einführung: Spatial Mapping in virtuellen Umgebungen

Der Mensch ist das Zentrum einer durch Virtualisierung bestimmten Welt. Aus dem Mixed-Reality-Kontinuum zwischen Virtualität und Realität (Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino, 1994) finden immer mehr Technologien ihren Weg in unseren Alltag, mit dem Ziel diesen zu erleichtern. Oft werden hohe Erwartungen an diese Technologien gestellt. Mit Buzzwords wie Human Augmentation, Tangible User Interfaces, Wearable Computers, Augmented Reality, Pico Projectors, Gesture Recognition, Public Virtual Worlds, Virtual Assistants, Virtual Reality oder Electronic Paper werden Ansätze beschrieben, die bereits existieren, aber noch keinen großflächigen Durchbruch erreicht haben. Vielmehr ist es wichtig, die existierenden Ansätze auszubauen und sie zu einem sinnvollen Werkzeug für den Alltag zu machen. Die Forschung zur Mensch-Computer-Interaktion (Human Computer Interaction; HCI) hat das Ziel, die Interaktion zwischen Nutzern und Technologie zu verbessern, indem sie auf die bewussten und unbewussten Bedürfnisse der Nutzer eingeht und damit Barrieren bei der Benutzung zu minimieren versucht. Soziale Technologien bezeichnen dabei bestimmte Ansätze, die den Mensch als Nutzer in den Mittelpunkt setzen und ihm damit gleichzeitig helfen sollen, besser mit anderen Menschen zu interagieren, beispielsweise durch Kommunikations- oder Kollaborationstechnologien. Intuitive Benutzerschnittstellen sind dabei besonders hilfreich, da sie auf dem Vorwissen der Nutzer aufbauen und somit schneller erlernbar und leichter verständlich sind. Dies bedeutet, dass existierende mentale Modelle, kognitive Schemata oder Skripte abgerufen und auf die Interaktion mit der Technik übertragen werden können. Daraus resultiert ein geringerer mentaler Aufwand, der während der Benutzung auf die Interaktion selbst entfällt, sodass mehr kognitive Ressourcen für die Verarbeitung der eigentlichen Inhalte verbleiben. Weiterhin ermöglicht eine natürliche Interaktion auch Transferprozesse von virtuellen zu realen Handlungen. Klassische Trainingssimulatoren basieren auf diesem Prinzip. So werden Simulatoren unter anderem im Militär und in der Medizin zum Training von Abläufen und motorischen Fertigkeiten eingesetzt.

Ein Anwendungsbereich für intuitive Schnittstellen sind *Tangible User Interfaces* (TUI) und *Natural User Interfaces* (NUI), die insbesondere auf Analogieprinzipien setzen, um eine virtu-

elle Interaktion möglichst authentisch erscheinen zu lassen. Dieser Ansatz wird *Natural Mapping* genannt. Die Grundlagen dazu existieren bereits seit einigen Jahrzehnten. Allerdings erfolgte der kommerzielle Durchbruch natürlicher Eingabegeräte mit Sprach- und Gestenerkennung im Bereich der Unterhaltungselektronik erst gegen 2005 mit Smart-TVs und Videospielkonsolen wie der Nintendo *Wii* oder Microsofts *Kinect* für Xbox 360. Wurden bereits in den 1990er Jahren in Forschungslaboren teure Virtual-Reality-Anlagen und authentische Eingabemethoden eingesetzt, ist die Technik zur Umsetzung virtueller Umgebungen inzwischen so günstig geworden, dass sie in einer großen Bandbreite von Fernsehern, Spielekonsolen, Tablet-PCs und Mobiltelefonen Anwendung findet. Die Formen der Interaktion mit virtuellen Umgebungen sind dabei so vielfältig, wie nie zuvor.

Die Weiterentwicklung virtueller Umgebungen führte ebenfalls zu großen Fortschritten in deren Darstellungsqualität: Moderne virtuelle Umgebungen realisieren eine fotorealistische, dreidimensionale Darstellung und können oft zusätzliche Sinneseindrücke liefern, um eine multimodale Gesamtwahrnehmung aus Optik, Akustik und Haptik zu ermöglichen. Ein Trend der letzten Jahre ist dabei vor allem der Einsatz von *Stereoskopie* in den Medien, etwa in Filmen oder Computerspielen. Die dreidimensionalen Bilder zielen darauf ab, mediale Eindrücke lebensechter zu gestalten und somit das Erleben des Nutzers weiter zu „verbessern“.

Moderne Augmented- und Virtual-Reality-Anwendungen sowie Computerspiele setzen häufig Natural-Mapping-Techniken in ihren virtuellen Umgebungen ein, um die Authentizität der Erfahrung sowohl bezogen auf die Ausgabe- als auch auf die Eingabemodalitäten zu verstärken. Die subjektive Qualität dieser Erfahrungen einzuschätzen ist nicht trivial. Unter dem Begriff *User Experience* werden alle Erfahrungen, Eindrücke und Emotionen vor, während und nach einer Medienrezeption zusammengefasst. Darunter fallen beispielsweise emotionale Zustände, Unterhaltungsaspekte, kognitive und physiologische Belastung oder auch Einstellungsänderungen. Doch nicht immer führt der Einsatz von Stereoskopie oder Natural Mapping tatsächlich zu einer besseren Nutzererfahrung. Zahlreiche Studien belegen sowohl positive als auch negative Einflüsse beider Technologien auf die User Experience und die Leistung bei der Aufgabenbearbeitung in virtuellen Umgebungen. Mehr Stimuli und vielfältigere Interaktionsmöglichkeiten führen daher nicht automatisch zu einer besseren Interaktion mit dem

System. Der Einsatz der einzelnen Faktoren muss spezifisch auf die gestellte Aufgabe sowie auf den thematischen und situativen Kontext des Nutzers abgestimmt werden.

In der Vergangenheit wurden primär direkte Effekte von stereoskopischer Darstellung oder Natural Mapping bei der Medienrezeption untersucht, ohne die Interaktionsprozesse zwischen den Eingabe- und Ausgabemodalitäten explizit zu betrachten. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Lücke zu schließen und die Kombination der Eingabe- und Ausgabeinformationen im Zusammenspiel mit dem Interaktionsgegenstand zu untersuchen. Die theoretische Grundlage für die Betrachtung liefern mentale Repräsentationen des Raumes bzw. Cognitive Mapping. Mentale Raummodelle (Spatial Situation Models) werden zum Vergleich unterschiedlicher Wahrnehmungsräume bei der Interaktion mit virtuellen Umgebungen herangezogen.

Während der Interaktion nimmt der Nutzer mehrere solcher Räume wahr: Zum einen wird ein Wahrnehmungsraum durch die virtuellen Stimuli der Umgebung gebildet, beispielsweise eine Landschaft, durch die er sich bewegt. Zum anderen nimmt der Nutzer Stimuli der realen Umgebung wahr, beispielsweise die Bildbegrenzung eines Displays oder eine Computermaus in seiner Hand. Mithilfe verschiedener Wahrnehmungsprozesse ist er dennoch in der Lage den Eindruck zu empfinden, er würde sich in der virtuellen Landschaft befinden. Verschiedene Zustände fokussierter Aufmerksamkeit aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen wie Flow, Immersion, Presence oder Transportation beschreiben dieses Phänomen.

Die generelle Idee einer räumlichen Übereinstimmung von physikalischen und virtuellen Umgebungen ist nicht neu. Es existieren verschiedene Forschungsansätze zu virtuellen Umgebungen, die besonders im Rahmen von natürlichen Eingabemethoden die Idee ähnlicher Wahrnehmungsräume verfolgen. Bereits in ihrer frühen Arbeit verwenden Slater und Usoh (1994) den Begriff „Body-Centered Interaction“ für Techniken, die Sinneseindrücke der Propriozeption und Exteroezeption übereinstimmend kombinieren. Sie greifen bei dieser Konzeption auf den Körperbegriff aus dem Embodied-Cognition-Paradigma zurück, das auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wird.

Die Dissertation greift jedoch wesentlich weiter als frühere oder andere aktuelle Arbeiten. Natural Mapping erlaubt es, eine exakte räumliche Positionierung bei der Eingabe vorzunehmen, während reichhaltige Darstellungen (mit stereoskopischer Präsentation) in der Lage

sind, räumliche Informationen exakt wiederzugeben. Um die User Experience sinnvoll zu bereichern, müssen beide für den Nutzer verfügbaren Wahrnehmungsräume handlungsrelevant sein. Es ist also ein Interaktionsgegenstand notwendig, der eine hohe räumliche Informationsqualität erfordert.

Das Konzept *Spatial Mapping* wird eingeführt, um dieses Zusammenspiel der Wahrnehmungsräume zu beschreiben und daraus Implikationen für die Verwendung von Stereoskopie und Natural Mapping in Form eines Erklärungsmodelles zu formulieren (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1. Spatial Mapping und dessen Einfluss auf User Experience und Aufgabenleistung

Auf Basis experimenteller Untersuchungen erfolgt eine empirische Validierung des hypothetischen Modells. Es wird gezeigt, wann der Einsatz von Stereoskopie und Natural Mapping tatsächlich spezifische Komponenten der User Experience positiv beeinflusst und warum dies bei den meisten kommerziell erhältlichen Unterhaltungsmedien nur selten der Fall ist.

1.1 Zielsetzung und Beitrag der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist eine kombinierte Betrachtung der Auswirkungen von Stereoskopie und Natural Mapping auf Aspekte der User Experience und der Leistung bei der Aufgabenbearbeitung in virtuellen Umgebungen. Dabei wird Spatial Mapping als Konzept für den Abgleich verschiedener Wahrnehmungsräume bei der Interaktion formuliert. Den theoretischen Unterbau für die Fragestellung liefern zum einen die Sensomotorik (Wahrnehmung von Reizen und gleichzeitiges motorisches Handeln) und das Embodiment-Paradigma (Wechselwirkung von psychischen Zuständen und Körperzuständen) und zum anderen Konzepte zur Modellierung von Erlebniszuständen bei der Interaktion mit virtuellen Umgebungen. Auf Basis von

mentalenen Modellen bzw. mentalen Raummodellen werden relevante mediale Faktoren und Nutzervariablen betrachtet, die sich auf die Erlebensqualität auswirken.

Im Rahmen dieser allgemeinen Zielsetzung sind vor allem die folgenden Teilfragen zu beantworten:

- 1) Welche Komponenten der User Experience sind für Spatial Mapping relevant?
- 2) Welche Faktoren sind bei der Verknüpfung von Interaktionsgegenstand und Eingabe- sowie Ausgabebereichen relevant?
- 3) Wie kann der Spatial-Mapping-Prozess theoretisch modelliert werden?
- 4) Wie beeinflusst die Relevanz des Interaktionsgegenstandes die Effekte von Stereoskopie und Natural Mapping auf die User Experience und Leistung?
- 5) Ist ein theoretischer Vorteil von Natural Mapping und stereoskopischer Darstellung in Szenarien mit hohem Spatial Mapping und handlungsrelevantem Interaktionsgegenstand empirisch belegbar?
- 6) Welche praktischen Implikationen ergeben sich aus dem Spatial-Mapping-Konzept?

Einige Teile der in dieser Arbeit entwickelten Konzepte und Ergebnisse wurden bereits vorab publiziert bzw. erfuhren ihren Feinschliff in zahlreichen Diskussionen mit Fachkollegen nach Konferenzvorträgen (Pietschmann, 2013; Pietschmann & Liebold, 2014; Pietschmann, Liebold & Ohler, 2013; Pietschmann, Liebold, Valtin, Nebel & Ohler, 2013; Pietschmann, Liebold, Valtin & Ohler, 2013; Pietschmann & Rusdorf, 2014).

1.2 Methodik und Vorgehensweise

Die Ziele dieser Arbeit werden mit Methoden aus den empirischen Kommunikations- und Medienwissenschaften bzw. der Psychologie bearbeitet. In Kern der Betrachtung stehen psychologische Theorien und Konzepte, die zusammengeführt und am Beispiel von Spatial Mapping empirisch überprüft werden sollen. Die Arbeit fasst dabei die wichtigsten Aussagen am Ende jedes Kapitels zusammen.

Nach der hier erfolgten Einführung in das Thema werden in Kapitel 2 verschiedene Konzepte der User Experience und damit verbundene Zustände fokussierter Aufmerksamkeit vorgestellt. Dabei wird User Experience als Gesamtkonzept verstanden, bei dem eine Reihe ver-

schiedener Einzelbestandteile zu unterscheiden ist. Eine Komplettbetrachtung von User Experience ist in der Regel nur schwer operationalisierbar. Aus diesem Grund werden in Kapitel 2 relevante Konzepte verschiedener Forschungsdisziplinen herausgegriffen, die einen Beitrag zur User Experience leisten. Im Rahmen der Arbeit sind primär diejenigen Konzepte interessant, die sich auf virtuelle Umgebungen beziehen. Oft sind diese Konzepte einander sehr ähnlich, sodass es schwer fällt, diese trennscharf abzugrenzen. Um die für diese Arbeit relevanten Konstrukte zu identifizieren, werden zunächst Involvement, Immersion, Engagement, Transportation, Cognitive Absorption und Presence beschrieben sowie deren Alleinstellungsmerkmale herausgestellt. Letztlich wird Presence als wichtigstes psychologisches Konzept für Erlebenszustände in der VR-Forschung detailliert besprochen. Dazu werden unterschiedliche Presence-Modelle herangezogen, die jeweils eigene Interpretationen und theoretische Ansätze für die Voraussetzungen und Auswirkungen des Nutzerzustandes aufstellen.

Kapitel 3 widmet sich im Detail einem weiteren Modell für Presence-Erfahrungen: Das *Two Step Model of Spatial Presence Formation* (Wirth et al., 2007, auch „MEC-Modell“) stellt eine fruchtbare Basis für die Beschreibung von Erlebnissen in räumlichen, virtuellen Umgebungen dar. Der besondere Fokus auf Räumlichkeit liefert eine gute Passfähigkeit des Modells für die untersuchte Thematik des Spatial Mapping. Im Kapitel werden zunächst die Grundannahmen des Modells und die damit verbundenen Einflussfaktoren beleuchtet. Anschließend werden die beiden Prozessschritte des Modells beschrieben und dafür relevante zusätzliche Konzepte herangezogen. Dies umfasst mentale Modelle, Spatial Cues, Spatial Situation Models und Spatial-Cognition-Prozesse wie die Prüfung von Wahrnehmungshypothesen. Weiterhin wird der MEC-SPQ als Instrument zur Messung von Spatial Presence diskutiert und Kritik am Modell geübt.

Da auf Basis des MEC-Modells binokulare Bildinformationen als Einflussfaktor für die Konstruktion von mentalen Modellen der räumlichen Umgebung (Spatial Situation Models) hergeleitet werden konnten, wird Stereoskopie in virtuellen Umgebungen in Kapitel 4 thematisiert. Es werden die Grundlagen binokularer Tiefenwahrnehmung erläutert und technische Möglichkeiten zur Umsetzung von Stereoskopie vorgestellt sowie die damit verbundenen Wahrnehmungsprobleme diskutiert. Weiterhin wird der Stand der Forschung zur Auswirkung

von Stereoskopie auf Variablen der User Experience dargestellt. Dabei wird zwischen Ergebnissen im Virtual-Reality- bzw. Film- und Computerspiel-Kontext unterschieden.

Nach Stereoskopie als Anteil der Wahrnehmung virtueller Umgebungen steht in Kapitel 5 die Interaktion in virtuellen Umgebungen im Fokus. Natural Mapping stellt eine Idealform für authentische Interaktionen in einer solchen Umgebung dar. Der Ursprung des Konzepts wird ebenso vorgestellt wie seine Anwendung und technische Realisierung in virtuellen Umgebungen. Auch in diesem Kapitel werden bisherige Studien ausgewertet und der aktuelle Stand der Forschung für die Effekte von Natural Mapping auf Leistung und User Experience berichtet. Die Ergebnisse werden dabei getrennt für zwei Kontexte besprochen.

In Kapitel 6 wird Spatial Mapping als Erweiterung des Konzepts von Natural Mapping eingeführt. Dazu werden zunächst die Begriffe *Cognitive Mapping* und *Spatial Mapping* definiert und mit ähnlich bezeichneten Konzepten aus anderen Disziplinen in Verbindung gebracht. Anschließend wird Spatial Mapping anhand ausführlicher Beispiele erläutert und die Relevanz des Interaktionsgegenstands für Spatial Mapping hergeleitet sowie der Zusammenhang zu mentalen Modellen im Allgemeinen bzw. Spatial Situation Models im Speziellen hergestellt. Spatial Mapping wird mit Natural Mapping und Stereoskopie in Verbindung gebracht und auf dieser Basis schließlich ein Pfadmodell erstellt, das den Einfluss von Spatial Mapping auf User Experience und Leistung modelliert. Abschließend werden die experimentelle Überprüfung des Modells und damit verbundene Design-Entscheidungen diskutiert.

Kapitel 7 umfasst den Bericht eines Experiments zum Pfadmodell, bei dem Spatial Mapping für den Interaktionsgegenstand nur eine geringe Relevanz aufweist. Im Kapitel werden Hypothesen und zusätzliche Fragestellungen hergeleitet, die Methoden und Forschungsergebnisse im Detail vorgestellt und anschließend kritisch diskutiert.

In Kapitel 8 wird ein Experiment zum Pfadmodell berichtet, bei dem Spatial Mapping für den Interaktionsgegenstand eine hohe Relevanz aufweist. Analog zu Kapitel 7 werden erneut zunächst Hypothesen und zusätzliche Fragestellungen besprochen sowie die verwendeten Methoden vorgestellt und bewertet. Anschließend werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

Das schließende Kapitel resümiert die Inhalte der Arbeit und zieht ein allgemeines Fazit aus den Ergebnissen der Studien zum Spatial-Mapping-Konzept. Abschließend wird ein Ausblick für zukünftige Forschung gegeben. In diesem werden sowohl weitere Anknüpfungspunkte für empirische Studien zu Spatial Mapping thematisiert, als auch Erweiterungen und Modifikationen des hypothetischen Pfadmodells diskutiert.

2 User Experience und Zustände fokussierter Aufmerksamkeit

Das Erleben eines Nutzers während der Medienrezeption oder der Interaktion mit Technik wird in der Regel als Nutzererleben bzw. User Experience (UX) bezeichnet (Hassenzahl, Eckoldt & Thielsch, 2009). Der Begriff wird besonders im Forschungsgebiet der Mensch-Computer-Interaktion als Gesamtkonzept aller Erlebnisse mit einem System verstanden. In anderen Disziplinen finden andere Konzepte zur Beschreibung des Nutzererlebens Anwendung, z.B. als affektive Zustände oder Zustände fokussierter Aufmerksamkeit in Verbindung mit virtuellen Umgebungen. Begriffe wie Immersion, Involvement, Engagement, Absorption, Flow oder Presence werden dabei besonders häufig genannt. Diese Konzepte entstammen verschiedenen Forschungstraditionen, beschreiben jedoch oft entweder dieselben oder auch verschiedene Aspekte des Erlebens. Sie werden in der Forschung mit virtuellen Umgebungen je nach Disziplin eingesetzt, weshalb für eine Vergleichbarkeit von Forschungsergebnissen zu User Experience eine Klärung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden essenziell notwendig ist. Dennoch lassen sich viele konzeptionelle Überschneidungen identifizieren, sodass sich die Frage nach deren Alleinstellungsmerkmalen stellt. Der Autor hat diese auch in vergangenen Arbeiten bereits diskutiert (Pietschmann, 2009; Pietschmann, Valtin & Ohler, 2012).

In diesem Kapitel werden daher die verschiedenen Konzeptionen von User Experience und deren prototypische Definitionen für die weitere Arbeit diskutiert. Hierbei wird auf ein extensives Review verzichtet, da das in anderen Arbeiten ausführlicher gemacht wurde (z.B. Klimmt & Vorderer, 2003; Lee, K. M., 2004; Lombard & Ditton, 1997; Pietschmann, 2009). Das Ziel des Kapitels ist es, Konzepte von User Experience zu identifizieren, um Forschungsergebnisse miteinander vergleichen zu können und eine Operationalisierung von UX in virtuellen Umgebungen zu ermöglichen.

2.1 User Experience als Gesamtkonzept

Der Begriff „User Experience“ lässt sich zurückführen auf Norman (1998), der damit alle Aspekte der Interaktion mit einem Produkt zusammenfasste. Spätere Konzeptionen ergänzten verschiedene Einflussfaktoren auf das Gesamterlebnis (Law, Hvannberg & Cockton, 2008).

Der Begriff ist besonders in Forschungstraditionen der Mensch-Computer-Interaktion gebräuchlich, wo er auf sämtliche Formen digitaler Technik angewendet wird (siehe z.B. al-Azzawi, 2014; Candy & Ferguson, 2014). User Experience beschreibt dort alle qualitativen Erfahrungen, die bei der Interaktion mit einem bestimmten Gegenstand auftreten. Das umfasst subjektive Erwartungen, Wahrnehmungen, Emotionen und psychologische sowie physiologische Reaktionen, die vor, während und nach der Nutzung auftreten (ISO 9241-210). User Experience ist demzufolge eine Konsequenz von Gestaltung, Funktionalität und Leistungsmerkmalen eines bestimmten Gegenstandes und beschreibt die holistische Gesamterfahrung eines Nutzers mit einem System (Abbildung 2).

Abbildung 2. Komponenten der User Experience (ISO 9241-210, eigene Darstellung)

User Experience greift weiter als der aufgabenzentrierte Begriff der Gebrauchstauglichkeit (Usability), welcher affektive Erlebenskomponenten traditionell ausklammert und stattdessen primär eine konkrete Benutzungssituation thematisiert (Krahn, 2012; Tullis & Albert, 2008). Usability definiert im Speziellen nur die Zielerreichung mit Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit über das erzielte Resultat (ISO 9241-11).

Während also ein bestimmtes technisches Produkt eine hohe Usability aufweisen kann, z.B. weil das Bedienkonzept effizient funktioniert und der Nutzer seine Ziele umsetzen kann, kann es gleichzeitig eine schlechte User Experience demonstrieren, wenn ihm die Interaktion beispielsweise keinen emotionalen Mehrwert bereitet hat. Für Mensch-Computer-Interaktionen muss daher zwischen der reinen Usability- und einer User-Experience-Zentrierung abgewogen werden.

User Experience kann sowohl auf die Gesamterfahrung als auch die Einzelerfahrung bezogen werden. Eine einzelne Erfahrung beeinflusst gleichzeitig die Gesamterfahrung der Interaktion, z.B. ein Tastendruck (Einzelerfahrung) beim Schreiben einer Kurznachricht (Gesamtinteraktion). Die Gesamterfahrung ist jedoch nicht nur die Summe der einzelnen Interaktionserfahrungen, da einige Erfahrungen dabei stärker gewichtet bzw. relevanter sind als andere.

User Experience kann als Momentaufnahme bei einer Systeminteraktion betrachtet werden, aber auch als mittlere bzw. gemittelte Gesamterfahrung mit dem System. Dies hängt entsprechend stark von der Operationalisierung und Erfassung der UX ab.

Nutzerforschung im Bereich UX-Design wird als systematische Untersuchung von Zielen, Bedürfnissen und Leistungsvermögen von Nutzern verstanden, um Design, Konstruktion oder Entwicklung von Werkzeugen zu ermöglichen, welche die Arbeit und das Leben der Nutzer verbessern können (Schumacher, 2010). Es existieren zahlreiche Ansätze, die User Experience nutzerseitig zu evaluieren.¹ Dabei kommen sowohl qualitative Verfahren als auch quantitative Methoden zum Einsatz. In diesem Zusammenhang findet sich unter dem Begriff User Experience Assessment (UXA) eine Sammlung von Methoden und Werkzeugen, die das Nutzererleben erfassen. Gängige Methoden lassen sich diesbezüglich in drei Gruppen einordnen (Roto et al., 2013):

- 1) **Objektive UXA-Methoden:** Blickbewegungserfassung, User Tracking, Reaktionszeitmessungen, Hautleitfähigkeit, Elektroenzephalografie
- 2) **Subjektive UXA-Methoden:** Interviews, Tagebücher, Ethnografie, Methode des lauten Denkens, Kontinuierliche Messungen der Emotionen bzw. Zufriedenheit via Schieberegler, Post-Test-Fragebögen
- 3) **Kreative UXA-Methoden:** Kreativitäts-Workshops, Paper Prototyping, Mind Mapping, Persona-Studien

Einen Überblick zu gängigen UXA-Verfahren geben beispielsweise Petrie und Bevan (2009), Vermeeren et al. (2010) oder Lim und Rogers (2008).

¹ Für eine Übersicht siehe z.B. Tullis und Albert (2008).

Im Rahmen dieser Arbeit sind vor allem standardisierte Fragebögen interessant. Tullis und Albert (2008) stellen Empfehlungen für den Einsatz von Fragebögen zusammen, die zur Erfassung der Usability und User Experience valide Ergebnisse liefern. Tabelle 1 zeigt eine um neuere Fragebögen ergänzte Liste relevanter standardisierter Instrumente.

Tabelle 1. *Standardisierte Fragebögen zur Erfassung von User Experience*

Fragebogen	Quelle	Faktoren	Itemzahl
After-Scenario Questionnaire (ASQ)	Lewis, J. R. (1995)	Satisfaction	3 Items
AttrakDiff2	Hassenzahl, Burmester und Koller (2003)	Pragmatische Qualität Hedonische Qualität (Stimulation) Hedonische Qualität (Identität)	21 Items
Differential Emotions Scale (DES IV-A)	Izard (1993)	Joy Surprise Anger Disgust Contempt Shame Guilt Fear Interest Sadness	30 Items
Hedonic Utility Scale (HED/UT)	Voss, Spangenberg und Grohmann (2003)	Hedonic Value Utilitarian Value	24 Items
NASA Task Load Index (NASA-TLX)		Mental Demands Physical Demands Temporal Demands Own Performance Effort Frustration	15 Items
Single Ease Question (SEQ)	Tedesco und Tullis (2006)	Difficulty	1 Item
Software Usability Measurement Inventory (SUMI)	Kirakowski & Corbett, 1993	Effizienz Affekt Hilfe und Unterstützung Kontrollierbarkeit Erlernbarkeit	50 Items
Software Usability Scale (SUS)	Brooke (1996)	Usability	10 Items
Subjective Mental Effort Question (SMEQ)	Sauro und Dumas (2009)	Mental Effort	1 Item
Usability Metric for User Experience (UMUX)	Finstad (2010)	Perceived Usability	4 Items
User Experience Questionnaire	Laugwitz, Held und Schrepp (2008)	Effektivität Durchschaubarkeit Vorhersagbarkeit Stimulation Originalität Attraktivität	26 Items

Das UX-Konzept wurde in der Vergangenheit von reinen HCI-Fragestellungen auf den Einsatz bei Computerspielen übertragen (Komulainen, Takatalo, Lehtonen & Nyman, 2008). Gleichmaßen wurden auch Elemente aus dem Bereich der klassischen Rezeptionsforschung für HCI-Design herangezogen (Bernhaupt, 2010; Dyck, Pinelle, Brown & Gutwin, 2003; Korhonen, Montola & Arrasvuori, 2009). Da besonders bei Computerspielen emotionale Reaktionen, Unterhaltung und Erwartungen für die Gesamterfahrung relevant sind, erscheint eine Übertragung des Begriffs User Experience durchaus sinnvoll. Für Entwickler von Computerspielen ist Nutzerforschung mit messbaren Größen interessant, da somit Designentscheidungen während der Entwicklung evaluiert und angepasst werden können. Die wachsende wirtschaftliche Relevanz von Computerspielen ermöglicht unter anderem auch Auftragsforschung von Entwicklern bzw. eigene Forschungsabteilungen (z.B. Ubisoft, Electronic Arts) und resultiert demzufolge in einem verstärkten Forschungsaufkommen.

Für eine gesamtheitliche Konzeption des Nutzererlebens in Computerspielen wurden verschiedene Frameworks entwickelt, die an die UX-Konzeption angelehnt sind. Sánchez, Vela, Simarro und Padilla-Zea (2012) führen Playability als Ergänzung der Usability für Spiele ein, um die User Experience mit dem Spiel als Player Experience (PX) zu definieren. Die Autoren stellen dabei primär ein Konzept zur Charakterisierung des Spielerlebens vor und geben Beispiele zur empirischen Untersuchung.

Nacke et al. (2009) und Nacke et al. (2010) sprechen bei ihrer Konzeption von Gameplay Experience (GX) und betonen im Gegensatz zur funktionalen insbesondere die unterhaltende Natur von Spielen. Sie kombinieren die Erfassung biometrischer Daten wie EMG, EDA, EEG und Blickbewegungserfassung mit Umfragen und Usability-Methoden, um Rückschlüsse auf die Gameplay Experience eines Spiels zu ziehen. Im Resultat wurde ein Game Experience Questionnaire (GEQ) entwickelt, der zur Erfassung der Gesamterfahrung eingesetzt werden kann (Ijsselstein, de Kort & Poels, in Vorbereitung).

Roth, Vorderer und Klimmt (2009) und Roth, Vorderer, Klimmt und Vermeulen (2011) betrachten User Experience bei interaktivem Storytelling. Auf Basis bewährter Konzepte wie Neugier, Suspense und Flow entwickelten die Autoren eine Theorie und ein Messinstrument, um das Erleben interaktiver Geschichten zu erfassen.

Einige Autoren verstehen User Experience als Dachbegriff und greifen für eine Messung auf andere Konzepte als Teilkomponenten zurück (Ijsselstein, De Kort, Poels, Jurgelionis & Bellotti, 2007; Jennett et al., 2008). Dies umfasst beispielweise Immersion, Flow, Gameplay, Challenge und Presence oder auch die Kombination verschiedener Teilkonzepte zu einem holistischen Konzept.

Takatalo, Häkkinen, Kaistinen und Nyman (2010) entwickelten mit dem Presence-Involvement-Flow Framework (PIFF²) ein kombiniertes Modell zur Erfassung von UX-Faktoren aus der HCI-Forschung und den namensgebenden Teilkomponenten des Frameworks. Der resultierende Fragebogen EVE-GEQ erhebt 15 Teilkomponenten des Erlebens nach der Mediennutzung.

Brockmyer et al. (2009) entwickelten mit dem Game Engagement Questionnaire (GEngQ) ebenfalls ein Instrument zur Erfassung der subjektiven Gesamterfahrung eines Nutzers. Das Ziel war hierbei mit dem neuen Instrument existierende Konzepte wie Transportation, Flow, Immersion und Presence zu integrieren, um mit einer kurzen Skala ein Gesamturteil zu ermöglichen.

Anhand dieser Beispiele wird verdeutlicht, dass besonders die Digital Game Studies interessiert sind, User Experience von anderen Teilkonzepten abzugrenzen und integrative Gesamtmodelle zu erstellen. Häufig wird die Kombination von Konzepten damit begründet, dass die einzelnen Konzepte die Gesamterfahrung nicht genügend abbilden können. Im Folgenden werden die wichtigsten Einzelkonzepte des subjektiven Erlebens aus anderen Disziplinen vorgestellt und deren Relevanz verdeutlicht.

2.2 Involvement

Involvement ist einer der Begriffe, die häufig im Rahmen von Nutzererleben fallen. So wird von hohem Involvement gesprochen, wenn ein Nutzer sich intensiv mit einem Gegenstand beschäftigt. In Bezug darauf ist eine Abgrenzung von Involvement zu reiner Aufmerksamkeitszuwendung von kritischer Bedeutung.

Das Involvement-Konzept stammt ursprünglich aus der Sozialpsychologie (Sherif, M. & Cantril, 1947) und Konsumentenpsychologie (Krugman, 1965). Es definiert dort den Grad der Verbindung eines Objekts oder einer Idee mit dem Wertesystem eines Individuums (Muncy

& Hunt, 1984, S.193). Krugman (1965) ergänzte das damals vorherrschende Paradigma einer aktiven und rationalen Informationsverarbeitung von Werbebotschaften (aktive Route) um einen passiven und unbewussten Pfad der Informationsverarbeitung (periphere Route). Der Einfluss von medialen Nachrichten hing demzufolge nicht nur von der eigentlichen Botschaft ab, sondern auch von Prädispositionen der Rezipienten und situativen Faktoren (Krugman, 1965; Petty, Cacioppo & Schumann, 1983). Ein hohes Involvement tritt dann auf, wenn die Botschaft intrinsische Relevanz oder persönliche Bedeutung für das Individuum hat (Sherif, C. W., Kelly, Rodgers Jr., Sarup & Tittler, 1973; Sherif, M. & Hovland, 1961). Diese Idee führte später zur Aufstellung des Elaboration-Likelihood-Models (Petty & Cacioppo, 1986).

Wie auch andere in diesem Kapitel diskutierte Konzepte war das Involvement-Konzept besonders in seinen Anfängen konzeptionellen und methodischen Grabenkämpfen ausgesetzt (Petty et al., 1983; Rothschild, 1984). Dies resultierte in unterschiedlichsten Definitionen und Formulierungen von Subkomponenten (etwa kognitive, affektive oder konative).

Die Medienwirkungsforschung konzeptualisiert Involvement heute als Reaktion auf die Mediennutzung: So stellten Liebes und Katz (1986) fest, dass Fernsehzuschauer fiktionale Figuren während einer involvierten Rezeption als reale Personen erleben. Vorderer (1992) identifizierte zwei verschiedene Rezeptionsmodi beim Fernsehen, und zwar einerseits eine involvierte und andererseits eine analysierende Rezeption. In Vorderers Sinne resultiert Involvement in einem Erlebnis, dass Zuschauern eine kognitive Flucht aus der Realität ermöglicht, um stattdessen virtuelle Erlebnisse zu erfahren (S. 84).

Witmer und Singer (1998) brachten schließlich Involvement als Dimension von Presence in die Virtual-Reality-Forschung ein. Sie definieren Involvement als Konsequenz, wenn die Energie und Aufmerksamkeit eines Nutzers auf einen kohärenten Satz von Stimuli oder bedeutsamen damit verbundenen Aktivitäten und Ereignissen gerichtet ist. Grundsätzlich hängt der Zustand vom Grad der Bedeutung ab, die ein Nutzer entsprechenden Stimuli, Aktivitäten oder Ereignissen zuschreibt (Witmer & Singer, 1998, S. 227). Auf Basis dieser Definition verstehen die Autoren hohes Involvement als Synonym für die fokussierte Aufmerksamkeit eines Nutzers auf virtuelle Stimuli und damit als Voraussetzung von Presence. Wirth (2006) warnt davor, Involvement als zu breites Konzept zu verstehen. Er unterstreicht, dass Involvement weder Aufmerksamkeitsprozesse, noch Informationsabrufe beinhalten sollte, da diese zu viele

externe Faktoren in das Konzept bringen, die bereits durch andere Konzepte gut erklärt werden können. Es ist immer ein Referenzobjekt notwendig, auf das sich Involvement beziehen kann. Das Konzept macht Aussagen darüber, ob Botschaften oder Stimuli persönliche Relevanz für ein Individuum besitzen, und verknüpft kognitive oder affektive Attributionen entsprechend mit positiven oder negativen Beurteilungen.

Involvement wird durch Aufmerksamkeitsprozesse beeinflusst und bestimmt wiederum selbst die zukünftige Verteilung von Aufmerksamkeit auf Basis der im Konzept getroffenen Beurteilungen. So führt ein hohes Involvement (also eine positive Beurteilung eines Referenzobjekts) dazu, dass Nutzer dem Referenzobjekt in Zukunft wahrscheinlicher ihre Aufmerksamkeit schenken werden. Streng genommen lässt sich für Involvement aus Sicht der User Experience nur ableiten, ob ein zu betrachtender Gegenstand überhaupt positive oder negative Beurteilungen auslösen konnte und wie diese Urteile ausfallen.

2.3 Immersion

Der Begriff Immersion zur Beschreibung einer intensiven Spielerfahrung wird in Bezug auf Computerspiele regelmäßig verwendet, vor allem innerhalb der Videospielindustrie (Adams, 2004; Bartle, 2004; Clark, 2010; Remo, 2010). Immersion ist dabei eine Metapher für das Eintauchen bzw. Versinkens in Wasser (Latein: „immersio“). Das Konzept wurde auf Medien übertragen, wo es die medial transformierte Wahrnehmung des Rezipienten beschreibt (Murray, 1997; Ryan, M.-L., 1994). Dabei wird oft davon gesprochen, dass die physische Welt während der Rezeption ausgeblendet wird (Biocca, 1992).

Dieses Konzept geht in der Literaturwissenschaft mehrere Jahrhunderte zurück, z.B. in Form von willentlicher Aussetzung der Ungläubigkeit (Willing Suspension of Disbelief; Coleridge, 1817) oder der Theorie möglicher Welten (Possible Worlds Theory of Fiction; Lewis, D., 1978; Ryan, M.-L., 1991). Am Beispiel moderner IMAX-Kinos diskutiert Murray (1997) die Rolle von Technik auf diesen Prozess. Eine große Bildschirmfläche führt dabei zu einer reichhaltigeren und überzeugenderen visuellen Illusion, bereichert aber nicht die Inhalte eines Films. Die relevante Frage ist demnach nicht, ob eine virtuelle Welt genauso real wie die wirkliche Welt ist, sondern ob die erschaffene Welt real genug erscheint, dass Rezipienten ihre Ungläubigkeit aussetzen (Pimentel & Teixeira, 1993). Murray (1997) definiert Immersion als Zustand, bei

dem ein Rezipient von einer anderen Realität komplett umgeben ist, sodass diese dessen komplette Aufmerksamkeit bzw. dessen vollständigen Wahrnehmungsapparat beansprucht (S. 98).

Auch Witmer und Singer (1998) betonen die Relevanz eines kontinuierlichen Stroms von Stimuli und Erfahrungen innerhalb virtueller Umgebungen und verstehen Immersion daher als wichtigste Voraussetzung für das Erleben von Presence. Im Gegensatz zur Konzeptualisierung als Nutzervariable versteht die Forschergruppe um Slater (Draper, Kaber & Usher, 1998; Slater & Wilbur, 1997) Immersion als technische Charakteristik eines VR-Systems. Eine immersive virtuelle Umgebung (IVE) besitzt Technik, die eine qualitativ hochwertige, glaubhafte und lebendige Illusion der Realität zu erzeugen vermag. Slater und Wilbur (1997) sehen Presence als Konsequenz einer solchen immersiven Technik: Je höher die Immersion des Systems, desto wahrscheinlicher erleben Nutzer Presence. Diese Vorstellung führt zu einer Doppeldeutigkeit des Immersionsbegriffs. Um diese aufzulösen, ergänzte Slater (1999, 2009) sein Konzept und bezeichnete die technischen Eigenschaften eines Systems nun als systemische Immersion. Diese Form der Immersion wird im deutschsprachigen Raum auch Immersivität eines Systems genannt (z.B. Reich, 2013; Wildt, 2012). Mithilfe von (technischen) Komponenten dieser systemischen Immersion verschiedener IVE-Systeme ist es möglich, die Systeme anwendungsspezifisch miteinander zu vergleichen (Slater, Spanlang & Corominas, 2010).

Abgesehen von Slaters systemischer Immersion wird in der Regel Murrays (1997) Definition von Immersion heute mehrheitlich verwendet. Von der Literatur- und Filmwissenschaft wanderte das Konzept in die Digital Game Studies. Brown, E. und Cairns (2004) verstehen Immersion als Grad der Involvierung mit einem Computerspiel. Jennett et al. (2008) knüpfen an diese Vorstellung an und verstehen Immersion als Schlüssel für eine gute Spielerfahrung (S. 8) und gleichzeitig als das geeignetste Konzept zur Modellierung des Nutzererlebens in Computerspielen.

Die Rolle der sensorischen Stimuli ist dabei umstritten. Gander (1999) beispielsweise argumentiert, dass eine höhere Anzahl und Qualität sensorischer Informationen nicht automatisch zu einer hoch immersiven Erfahrung führen. Auch mentale Vorstellungen eines Rezipienten können die Sinne komplett beanspruchen. Er führt als Beispiel das Buch an, das ohne

multimodale Stimuli auskommt und damit im Sinne von Slater als Medium mit niedriger systemischer Immersion gilt. Dennoch werden beim Lesen eines Buches dieselben kognitiven Mechanismen und Verarbeitungsprozesse wie in der Realität und bei virtuellen Umgebungen aktiviert. Der Unterschied ist dabei nur, dass die Stimuli nicht durch Technologie erzeugt wurden, sondern durch die Gedanken des Nutzers. Dasselbe Argument („Book-Problem“) findet sich auch im Presence-Konzept. Dieser vermeintliche Widerspruch immersiver Medien ist im Prinzip semantischer Natur: Die Sinne eines Mediennutzers werden von einer anderen Realität als der eigenen beansprucht, wobei nicht nur die Form, sondern auch die Glaubwürdigkeit des Inhalts herangezogen wird (Stichwort: Suspension of Disbelief). Letztlich ist Immersion damit eine Form fokussierter Aufmerksamkeit auf einen Gegenstand bzw. eine Umgebung.

2.4 Engagement

Ein weiteres Konzept für fokussierte Aufmerksamkeit ist Engagement. Auf dem theoretischen Fundament der Schema Theorie (Anderson, R. C., 1977) beschreibt es narrative Medienerfahrungen. Dabei kann Engagement als komplementäres Konzept zur Immersion aufgefasst werden. Vorderer (1992) beschreibt zwei Modi der Fernsehrezeption und unterscheidet dabei zwischen einem involvierten und einem analytischen Modus. Dieser Annahme folgend kann Immersion als eher passiver, involvierter Modus der Medienrezeption betrachtet werden, der nicht zwingend eine Interaktion mit dem Medium erfordert. Selbst während einer Interaktion (z.B. in Computerspielen) wird Immersion immer dann hervorgerufen, wenn der Nutzer die mediale Erfahrung nicht hinterfragt und seine Ungläubigkeit aussetzt (Douglas & Hargadon, 2000; Pietschmann, 2009). Bei jeder (medialen) Erfahrung werden kognitive Modelle und Schemata abgerufen, die eine Kontextzuschreibung von erlebten Situationen erlauben. Wenn eine Situation nur wenige Modelle aktiviert, werden diese unbewusst verarbeitet und nicht weiter elaboriert oder hinterfragt. Wenn hingegen konfligierende Modelle aktiviert werden oder keine situativ passenden Modelle existieren, sind Nutzer gezwungen die Situation zu analysieren und reflektieren. Dies resultiert in einen Wechsel vom involvierten, passiven Modus zu einem analytischen Modus. Immersion (passiver, involvierter Modus) und Engagement (aktiver, analytischer Modus) sind dementsprechend Zustände auf einem gemeinsamen Kontinuum, die je nach Situation während der Mediennutzung auftreten (Douglas & Hargadon, 2000; Pietschmann, 2009). Engagement tritt dann auf, wenn Rezipienten eine Aufgabe oder

Information präsentiert wird, die komplex genug ist, um kritisches Denken auszulösen. Eine typische Mediennutzung beinhaltet den Wechsel zwischen beiden Modi während des Rezeptionsverlaufs (Carr & Oliver, 2010).

Engagement ist also eine aktive Form der User Experience, bei der Nutzer komplexe Informationen oder Problemlösungsprozesse bearbeiten. Die Aufmerksamkeit ist dabei auf die auslösende Situation gerichtet.

2.5 Transportation

Transportation bezieht sich auf den subjektiven Eindruck, in die Welt einer Geschichte einzutauchen und die reale Welt hinter sich zu lassen (Gerrig, 1993). Das Konzept beschreibt die Eigenschaft von Geschichten, ihre Zuhörer in den Raum und die Zeit zu versetzen, wo die Geschichte spielt. Transportation folgt damit dasselbe Grundprinzip wie die erste Presence-Konzeption („being there“), die davon ausgeht, dass sich Nutzer durch immersive VR-Systeme an einen anderen Ort versetzt fühlen (Lombard & Ditton, 1997). Der Unterschied liegt darin, dass nicht technische Illusionen für den Transport verantwortlich sind, sondern Narration.

Das Transportation-Konzept hängt vom Aufmerksamkeitsfokus des Rezipienten und seinen Emotionen während der Rezeption ab (Green & Brock, 2000; Green, Brock & Kaufman, 2004). Diese Komponenten finden sich auch bei Flow (Csikszentmihalyi, 1975) oder Absorption (Tellegen & Atkinson, 1974). Flow stellt dahingegen ein sehr allgemeines Konzept dar, da Individuen durch eine Reihe verschiedener Aktivitäten Flow-Erlebnisse haben können, ohne dass Medien oder Geschichten involviert sind (z.B. beim Sport oder auch beim Arbeiten). Absorption ist eine Persönlichkeitsvariable und bestimmt die Disposition, leichter einen hohen Grad an Involvement gegenüber bestimmten Referenzobjekten aufzubauen. Transportation ist hingegen eng mit medialer Unterhaltung verknüpft, da es durch positive Emotionen begleitet wird. Dies ist selbst dann der Fall, wenn Rezipienten durch Geschichten transportiert werden, die negative Emotionen (z.B. Trauer) thematisieren. Nicht die durch die Geschichte ausgelösten Emotionen, sondern das Zurücklassen der eigenen Alltagsrealität (Eskapismus; Katz & Foulkes, 1962; Klimmt, 2008) ist für die resultierenden positiven Emotionen und das Unterhaltungserleben verantwortlich (Sad Film Paradoxon; Oliver, 1993; Schramm & Wirth, 2010). Im Gegensatz zu Involvement, Immersion oder Engagement ist das Transportation-

Konzept auf narrative Erfahrungen beschränkt. Es wird ähnlich zu Involvement in der Persuasionsforschung verwendet, um Meinungsänderungen durch mediale Botschaften zu erklären. Im Rahmen einer User Experience-Betrachtung ist Transportation daher eher ein spezialisiertes Teilkonzept.

2.6 Cognitive Absorption

Agarwal und Karahanna (2000) definieren Cognitive Absorption (CA) als intrinsisch motivierten Zustand, der ein hohes Involvement mit Software beschreibt. Das Konzept basiert auf theoretischen Vorarbeiten zu Trait Absorption (Tellegen & Atkinson, 1974), Flow (Csikszentmihalyi, 1975) und Cognitive Engagement (Webster & Ho, 1997). Das Konzept soll eine Erklärung des Nutzerverhaltens während Technikerfahrungen ermöglichen. Dazu werden fünf Dimensionen angenommen: temporale Dissoziation, Aufmerksamkeitsfokus, Unterhaltungserleben, Kontrolle und Neugier. Cognitive Absorption betrachtet den Einfluss, den ein bestimmtes System auf den vom Nutzer wahrgenommenen Bedienkomfort und die wahrgenommene Alltagstauglichkeit hat. Wenn Nutzer temporale Dissoziation erleben, z.B. in Form von Flow, haben sie den Eindruck, dass ihnen genügend Zeit für eine zu bearbeitende Aufgabe zur Verfügung steht. Sie gehen in der Aufgabe auf und haben diese unter Kontrolle. Eine hohe Absorption sorgt dafür, dass sie ihre Aufmerksamkeit leichter auf die gestellte Aufgabe richten können und im Resultat der Bedienkomfort als höher wahrgenommen wird.

CA bedient sich also an Flow und Absorption, um fokussierte Aufmerksamkeit auf Software zu erklären. Anders als Involvement, Immersion oder Engagement ist Cognitive Absorption nur auf Informationstechnologie ausgerichtet, die für bestimmte Ziele bzw. Aufgaben eingesetzt wird (wahrgenommene Nützlichkeit). Eine Anwendung auf Unterhaltungssoftware bzw. Unterhaltung allgemein ist damit gar nicht vorgesehen. CA beinhaltet zusätzlich Mediennutzungsmotive (Dimension Neugier) und Interaktivität mit dem Medium (Dimension Kontrolle), die bei den anderen vorgestellten Konzepten ausgeklammert werden. Cognitive Absorption kann im Kontext produktiver Software zwar User Experience abbilden, ist jedoch nicht auf allgemeine Mediennutzungskontexte übertragbar.

2.7 Presence

Das Konzept stammt ursprünglich aus der Technikforschung und den Anfängen der Virtual Reality in den 1970er Jahren und wurde als Telepresence bei der Fernsteuerung von Robotern durch Minsky (1980) geprägt. Presence wurde seitdem typischerweise als das Nutzererleben bei Virtual-Reality-Erfahrungen verstanden (Barfield, Zeltzer, Sheridan & Slater, 1995; Slater, Usoh & Steed, 1994; Slater & Wilbur, 1997), welches durch technische Merkmale der immersiven Umgebung entsteht (Steuer, 1992). Presence ist das einflussreichste und meistbeforschte der vorgestellten Konzepte im Bereich virtueller Umgebungen, weshalb es an dieser Stelle detaillierter betrachtet wird.²

2.7.1 Presence-Konzept

Eine oft zitierte Definition von Presence („being there“) ist der Eindruck eines Nutzers, er würde sich tatsächlich an dem dargestellten Ort befinden (Biocca, 1997; Heeter, 1992). Eine spätere, allgemeinere Definition beschreibt den Eindruck eine medial vermittelte oder virtuelle Umgebung so zu erleben, als wäre sie real und unvermittelt (Lombard & Ditton, 1997). Slater (2003) und auch Lee, K. M. (2004) argumentieren, dass die Wahrnehmung des Nutzers ähnlich angesprochen wird wie bei vergleichbaren Situationen der physischen Welt und der Nutzer daher unbewusst auf die virtuellen Stimuli wie auf reale reagiert.

Die International Society for Presence Research (ISPR) definiert Presence wie folgt:

“Presence is a psychological state or subjective perception in which even though part or all of an individual’s current experience is generated by and/or filtered through human-made technology, part or all of the individual’s perception fails to accurately acknowledge the role of the technology in the experience. [...] Experience is defined as a person’s observation of and/or interaction with objects, entities, and/or events in her/his environment; perception, the result of perceiving, is defined as a meaningful interpretation of experience.” (International Society for Presence Research, 2000)

² Die Konzepte und Praktiken von Presence und Teleoperation haben viele Impulse aus klassischer Science Fiction erfahren, die teilweise maßgebliche Ziele für die Forschung formulierte. Einen anschaulichen Überblick zum Zusammenhang von Fiktion und Presence gibt beispielsweise Mair (2013).

Presence wird allgemein hin als Nutzervariable und nicht als Eigenschaft von Technik verstanden. Die ISPR schlägt als Methode für die Presence-Forschung Vergleiche des Nutzerverhaltens in medialen und non-medialen Umgebungen vor. Abhängig davon, wie stark sich die Verhaltensmuster ähneln, soll demzufolge erfassbar sein, ob ein Nutzer präsent ist, oder nicht. Presence ist demzufolge dann besonders ausgeprägt, wenn die wahrgenommene Umgebung möglichst glaubwürdig bzw. real erscheint.

Die Rolle der Aufmerksamkeit bei der Entstehung von Presence wird in großen Teilen der Literatur diskutiert. Dabei herrscht jedoch nur Einigkeit darüber, dass Aufmerksamkeit eine essenzielle Voraussetzung von Presence darstellt (Tamborini & Skalski, 2006; Wirth et al., 2007; Witmer & Singer, 1998). Die genaue Art und Weise, wie Aufmerksamkeit den Prozess beeinflusst, wird seltener diskutiert. Bereits Anfang der 1990er Jahre sah Fontaine (1992) in Presence einen Zustand der Aufmerksamkeitszuwendung auf eine Vielzahl neuartiger Stimuli einer Umgebung. Er grenzte damit Presence von Flow (Csikszentmihalyi, 1975) ab, welches er als Zustand der Aufmerksamkeitszuwendung auf bekannte Stimuli charakterisiert.

Slater (2003) sowie Witmer und Singer (1998) gehen davon aus, dass eine auf die mediale Umgebung gerichtete Aufmerksamkeit zu Involvement führt. Slater argumentiert, dass Involvement sich auf den medialen Inhalt richtet und nicht auf die Art der medialen Form bzw. technischen Vermittlung des Inhaltes. Damit stünde Involvement diametrisch zu Presence, die er als Fokus auf die mediale Form sieht. Witmer und Singer (1998) hingegen verstehen Involvement als direkten Prädiktor für Presence. In der gängigen Konzeption von Involvement (siehe 2.2) wird zwar ein Referenzobjekt vorausgesetzt, jedoch kann dies theoretisch sowohl der Inhalt als auch die Form des Mediums sein.

Im Modell von Wirth und Kollegen (2007) werden sowohl bewusste als auch unbewusste Aufmerksamkeitsprozesse für die Entstehung von Presence betrachtet. Diese Prozesse führen zur Konstruktion eines räumlichen Situationsmodells der wahrgenommenen Umgebung, dessen Qualität stark von der Aufmerksamkeit abhängt, die ein Nutzer auf die Stimuli gerichtet hat. Erst in einem zweiten Schritt und auf Basis dieses Spatial Situation Models entsteht schließlich Presence. Das Modell wird in Kapitel 3 im Detail diskutiert.

Presence-Theorien unterscheiden sich stark bei verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen disziplinären Hintergründen. So sind in der Literatur zahlreiche Typologien zu vorgeschlagenen Subkomponenten und Voraussetzungen von Presence zu finden. Eine gängige Gliederung (siehe z.B. Tamborini & Skalski, 2006) in die drei Teilkomponenten Spatial Presence, Social Presence und Self-Presence zeigt Abbildung 3.

Abbildung 3. Übersicht Presence Subkomponenten (eigene Darstellung)

Es lassen sich in der Literatur viele weitere Formen finden, die jedoch gemeinsame Muster aufweisen (Freeman, 2004; International Society for Presence Research, 2000; Lombard & Ditton, 1997). Die wesentlichen Komponenten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) **Komponenten bezogen auf die physikalische Umgebung vs. die wahrgenommene Umgebung** („Spatial Presence“, „Physical Presence“, „Perceptual Immersion“, „Transportation“, „sense of being there“)

- 2) **Komponenten bezogen auf den wahrgenommenen Realismusgrad der Umgebung** („Sensory Presence“, „Perceptual Realism“, „Naturalness“, „Ecological Validity“, „Tactile Engagement“)
- 3) **Komponenten bezogen auf den Aufmerksamkeitsbezug der Umgebung** („Engagement“, „Attention Focus“, „Involvement“, „Psychological Immersion“)
- 4) **Komponenten bezogen auf die soziale Wahrnehmung innerhalb der Umgebung** („Social Presence“, „Social Actor within the Medium“, „Parasocial Interaction“, „Co-Presence, „Transportation: Shared Space“)

Eine Übersicht zu zahlreichen Subkomponenten und Typisierungen innerhalb der Presence-Literatur geben Lombard und Jones (2007) in einem umfangreichen Literatur-Review zu über 1800 wissenschaftlichen Artikeln.

Über die Jahre identifizierten Theoretiker wie Slater (2002), Biocca (2003), Lee, K. M. (2004) oder Nunez (2007) relevante Komponenten und Zusammenhänge des Presence-Phänomens und lieferten wichtige Bausteine einer einheitlichen Presence-Konzeption. Slaters (2003) Verständnis von Presence als Auswirkung der Immersion eines Systems (systemische Immersion) auf den Nutzer spiegelt sich in der ISPR-Definition als aktuelles Paradigma im Feld wider. Presence kommt dann auf, wenn der Nutzer seine Aufmerksamkeit auf Stimuli eines immersiven Systems richtet, anstatt auf Stimuli der dazu konkurrierenden Realität.

Es gibt viele Diskussionen darüber, ob die Presence als gradueller (Witmer, Jerome & Singer, 2005; Witmer & Singer, 1998) oder binärer Zustand (Haans, 2014; Haans & Ijsselstein, 2012; Slater, 2002; Wirth et al., 2007) zu verstehen ist. Besonders in der frühen Presence-Forschung wurde das Konzept ähnlich zu kognitiver Belastung (Sheridan, 1992) und Situationsbewusstsein (Prothero, Parker, Furness & Wells, 1995) als kontinuierlicher Zustand verstanden. Dabei befindet sich ein Nutzer ständig innerhalb des Kontinuums verschiedener Umgebungen, die für ihn handlungsrelevant sind. Je nach Presence-Modell sind das beispielsweise die reale und virtuelle Umgebung bzw. die mentale Umgebung aus den Vorstellungen eines Nutzers. Wenn Nutzer sich z.B. bei der Wegfindung im Straßenverkehr den zu navigierenden Raum mental vor Auge führen, wären sie für diesen Moment entsprechend sowohl in der mentalen als auch realen Umgebung präsent. Dem entgegen steht die Konzeption von Presence als Wahrnehmungssillusion (Lombard & Ditton, 1997). Wenn Presence dann eintritt, wenn eine mediale

Umgebung als non-medial wahrgenommen wird, kann sie prinzipiell nur zwei Zustände haben. Slater (2002) bezeichnet den Moment, in dem ein Nutzer die mediale Umgebung als solche identifiziert, als Bruch („Break in Presence“). Auch im Presence-Modell von Wirth et al. (2007) wird angenommen, dass ein Nutzer in einer wahrgenommenen Umgebung präsent ist, solange ihm keine widersprüchlichen sensorischen Informationen vorliegen. Auch wenn die ISPR-Definition Presence als graduellen Zustand beschreibt (2002), sind sich die meisten Presence-Forscher heute einig, dass Presence an einem beliebigen betrachteten Zeitpunkt in Bezug auf ein Zielmedium entweder gegeben ist oder eben nicht (Felnhofer & Kothgassner, 2014). Bezogen auf den gesamten Nutzungszeitraum erfassen postrezeptive Messinstrumente ein intervallskaliertes Maß an Presence als Summe bzw. Gesamthäufigkeit der einzelnen Presence-Episoden.

Zur Messung von Presence wurden in der Vergangenheit besonders Fragebögen, seltener auch Verhaltensbeobachtung bzw. physiologische Maße eingesetzt (z.B. Freeman, Avons, Meddis, Pearson & Ijsselsteijn, 2000). Einige neuere Ansätze arbeiten mit qualitativen Methoden (z.B. Spagnoli, 2014), bei denen nicht die Intensität, sondern die Zusammensetzung von Presence-Erlebnissen im Vordergrund steht.

Die ISPR listet insgesamt 29 Fragebögen, 11 qualitative Verfahren und vier psychophysiologische Ansätze zur Messung von Presence sowie zusätzlich eine Vielzahl verwandter Konstrukte (Baren & Ijsselsteijn, 2004). Ein ausführliches Review zu verschiedenen Messverfahren geben beispielsweise Nunez (2007) und Youngblut (2003). In einer Analyse der größten Publikationsorgane innerhalb der Presence-Forschung (Journals *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* und *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* sowie die jährliche ISPR Konferenz) identifizierten Rosenkranz und Oh (2014) fünf Fragebögen, die im Zeitraum von 1998 bis 2012 am häufigsten eingesetzt wurden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über diese fünf Fragebögen mit den zugehörigen Subskalen und der Itemanzahl. Zusätzlich enthält die Tabelle mit dem MEC-SPQ (Vorderer et al., 2004) einen Spatial-Presence-Fragebogen, der im nächsten Kapitel im Detail vorgestellt wird.

Tabelle 2. *Standardisierte Fragebögen zur Erfassung von Presence*

Fragebogen	Quelle	Faktoren	Itemzahl
Igroup Presence Questionnaire (IPQ)	Schubert, Friedmann und Regenbrecht (2001)	Spatial Presence Involvement Realness	14 Items
Independent Television Commission Sense of Presence Inventory (ITC-SOPI)	Lessiter, Freeman, Keogh und Davidoff (2001)	Sense of Physical Space Engagement Naturalness/Ecological Validity Negative Effects	44 Items
MEC Spatial Presence Questionnaire (MEC-SPQ)	Vorderer et al. (2004)	Attention Allocation Spatial Situation Model Spatial Presence: Self Location Spatial Presence: Possible Actions Higher Cognitive Involvement Suspension of Disbelief Domain Specific Interest Visual-Spatial Imagery	Variante mit 32, 48 oder 64 Items
Presence Questionnaire (PQ)	Witmer et al. (2005); Witmer und Singer (1998)	Involvement/Control Visual Fidelity Adaptation/Immersion Interface Quality	32 Items
Slater, Usoh and Steed Questionnaire (SUS)	Slater et al. (1994)	Spatial Presence	6 Items
Temple Presence Inventory (TPI)	Lombard, Ditton und Weinstein (2009); Lombard, Weinstein und Ditton (2011)	Spatial Presence Social Actor within Medium Passive Social Presence Active Social Presence Engagement Social Richness Social Realism Perceptual Realism	42 Items

2.7.2 Presence-Modelle

Im Folgenden werden grundlegende Presence-Modelle aus der Literatur erläutert. Die Modelle erfordern unterschiedliche Rahmenbedingungen und Operationalisierungen von Presence für die empirische Forschung. Die in Tabelle 2 vorgestellten Fragebögen stehen teilweise mit verschiedenen Presence-Modellen in Verbindung. Wenn also ein bestimmter Fragebogen eingesetzt werden soll, ist es essenziell die dahinter stehende Modellierung des Konzepts zu kennen.

2.7.2.1 Two-Pole-Model

Ältere Presence-Modelle wie das zweipolige Modell (Two-Pole-Model; Biocca, 2003) basieren auf der Annahme klassischer Telepresence-Forschung. Dabei haben Nutzer bei Teleoperationen den Eindruck, selbst am entfernt dargestellten (virtuellen) Ort anwesend zu sein (Sheridan, 1992). Die beiden Pole des Modells stellen die Präsenz des Nutzers als Kontinuum zwischen der physischen und der virtuellen Umgebung dar (siehe Abbildung 4).

Das Modell wird vor allem dafür kritisiert, dass es mentale Umgebungen ausschließt und ausschließlich für immersive Medien funktioniert. Biocca (2003) begründet dies damit, dass man an keinem physischen Ort präsent ist, wenn man beispielsweise in den eigenen Gedanken verloren ist. Zudem kann das Modell Presence bei nicht-immersiven Medien (z.B. Büchern; „Book-Problem“) nicht erklären, da dort ebenfalls die mentale Umgebung des Lesers im Vordergrund steht. Der SUS-Questionnaire (Slater et al., 1994) und Presence Questionnaire (Witmer et al., 2005) basieren auf dem Two-Pole-Model.

Abbildung 4. Two-Pole Presence Model (eigene Darstellung)

2.7.2.2 Two-Pole-Model mit Prüfung von Wahrnehmungshypothesen

Neuere Iterationen des Two-Pole-Modells erweitern es durch die Verarbeitung von Erwartungen des Nutzers: Wenn Nutzer eine virtuelle Umgebung betreten, stellen sie Erwartungen an die Stimuli der Umgebung. Ihre sensorischen Eindrücke werden mit den Erwartungen verglichen. Neben dem bewussten Abgleich der Erwartungen, mit beispielsweise den medialen Inhalten oder technischen Aspekten der Darstellung, laufen auch unbewusste Wahrnehmungsprozesse ab. Die Erwartungen haben dabei die Form einer Wahrnehmungshypothese über die Umgebung, die permanent durch sensorische Stimuli verifiziert wird.

Werden die Erwartungen nicht erfüllt, wird die Wahrnehmungshypothese falsifiziert, was in einem Bruch resultiert („Breaks in Presence“; Slater, 2002). Slater argumentiert, dass eigentlich nicht Presence, sondern nur die Brüche von Presence messbar sind (siehe Abbildung 5).

Der Vorteil liegt darin, dass keine subjektiven Fragebögen eingesetzt werden müssen, sondern Probanden nur den Moment angeben, an dem sie einen Bruch erleben (Slater & Steed, 2000).

Abbildung 5. Erweitertes Two-Pole Model mit Prüfung von Wahrnehmungshypothesen und Breaks in Presence (eigene Darstellung)

2.7.2.3 Three-Pole-Model

Ein dreipoliges Modell (Biocca, 1997, 2003) stellt eine Erweiterung des zweipoligen Modells dar und betrachtet neben physischen und virtuellen auch mentale Eindrücke (z.B. Träume). Die drei Quellen von Eindrücken interagieren dabei aufgrund von Aufmerksamkeitsprozessen, sodass Presence als oszillierendes Phänomen zwischen den drei Polen verstanden wird. Biocca (2003) nennt Spatial Attention und Spatial Updating als zentrale Mechanismen im Modell. Spatial Attention bezeichnet dabei den Anteil der Aufmerksamkeit auf die Raumwahrnehmung, Spatial Updating das mentale Raummodell der Umgebung des Nutzers. Der Nutzer ist dann präsent, wenn sich sein momentaner Zustand im Modell nah an einem der drei Pole befindet (siehe Abbildung 6). Das Modell ermöglicht es, Presence auch bei non-immersiven Medien und in der Realität zu erklären.

Abbildung 6. Three-Pole Model (in Anlehnung an Biocca, 1997)

2.7.2.4 CLCC-Model

In einem „Capacity Limited, Cognitive Constructivist Model of Virtual Presence“ (CLCC) integriert Nunez (2007) existierende Ansätze. Neu ist dabei die Modellierung auf Basis bewährter Theorien des Arbeitsgedächtnisses und zu Aufmerksamkeitsprozessen. Damit setzt das CLCC im Gegensatz zu anderen Konzeptionen nicht voraus, dass Presence ein einzigartiges Phänomen medialer Umgebungen sei. Presence ist hier das Nebenprodukt der Verarbeitung der gegenwärtigen Umgebungssituation im Arbeitsgedächtnis. Wenn die Aufmerksamkeit eines Nutzers auf virtuellen Stimuli liegt und diese seine Kognitionen und sein Verhalten bestimmen, dann ist er in dieser Situation präsent. Nunez sieht dies jedoch nicht als automatischen Wahrnehmungsprozess, sondern als Interaktion von Top-Down- und Bottom-Up-Prozessen: Die Nutzungsdauer und Erfahrung mit einem Stimulus bestimmen die Fokussierung kognitiver Ressourcen auf die Inhalte und lenken von Darstellungsmodalitäten (z.B. der Anzeige auf einem Display) ab. Der Präsentationsmodus des Stimulus wird schließlich irrelevant

und die „illusion of non-mediation“ entsteht (Nunez, 2007, S. 127-128). Das finale Modell ermöglicht Rückschlüsse auf die Task Performance sowie Voraussagen von Einflüssen des medialen Inhalts auf Presence (siehe Abbildung 7). Weiterhin vermag Nunez' Modell Presence in immersiven als auch non-immersiven Medien sowie in realen und virtuellen Umgebungen zu erklären.

Abbildung 7. CLCC Presence-Model. Die hell markierte Fläche beinhaltet tatsächlich messbare Konstrukte (in Anlehnung an Nunez, 2010)

2.7.2.5 Embodiment -Presence-Framework

Das Framework von Haans und Ijsselstein (2012) versteht sich als neuer Ansatz, um Embodiment-Konzepte und Presence zusammen zu bringen. Bisher resultierte daraus jedoch noch kein vollständiges Modell. Embodiment bzw. Embodied Cognition ist ein in den vergangenen

Jahren populär gewordenen Konzept der menschlichen Verkörperung in der Kognitionswissenschaft, das auf phänomenologische Philosophie zurückgeht. Die Wahrnehmung ist dabei nicht nur ein Abbildungsprozess von externen Stimuli auf ein mentales Weltmodell, sondern erfordert eine sensomotorische Koordination des ganzen Körpers. Der Fokus liegt auf der Wechselwirkung zwischen körperlichen und mentalen Zuständen als Gesamtsystem.³

In der Mensch-Computer-Interaktion betrachtet Embodied Interaction (Dourish, 2001) die Interaktion zwischen Nutzern und Technik, die physische und virtuelle Objekte kombiniert (z.B. Tangible Interfaces, Natural User Interfaces). Der Mensch rückt mit seinen Alltagshandlungen damit in den Fokus der Interaktion (User Centered Design). Im Modell von Haans und Ijsselstein (2012) werden drei Ordnungen der Verkörperung auf Basis der Ordnungen von Metzinger (2006) angenommen und mit Technik kombiniert:

- 1. Ordnung:** Morphologie
- 2. Ordnung:** Morphologie und Körperschema
- 3. Ordnung:** Morphologie, Körperschema und Körperbild

Morphologie bedeutet, dass eine spezielle Körper-Charakteristik vorliegt, z.B. die Anzahl, Art und Platzierung von Gliedmaßen und Sensororganen. Wenn ein Körper beispielsweise Flügel hat, könnte er fliegen. Wenn er Augen hat, ist er in der Lage zu sehen. Diese einfachste Form der Verkörperung wird beispielsweise durch ein Braitenberg-Vehikel erfüllt (Braitenberg, 1984), das optische Sensoren besitzt, um Lichtquellen zu identifizieren. Die menschliche Morphologie wird durch technische Artefakte erweitert, um die Wahrnehmung oder motorische Fähigkeiten zu verbessern. Dies geschieht beispielsweise durch die Benutzung eines Hammers, oder durch das Ersetzen von verlorenen Gliedmaßen durch Prothesen.

Das Körperschema bezeichnet unbewusste Körperfunktionen, um ein Ziel zu erreichen. Dies umfasst Greifbewegungen oder das menschliche Gehen, zwei in ihren Einzelabläufen sehr komplexe Handlungen, die jedoch beim Menschen in der Regel unbewusst und automatisiert

³ An dieser Stelle sei auf die umfangreiche Literatur zum Thema verwiesen (Benford, Bowers, Fahl, Greenhalgh & Snowden, 1995; Haber & Weiss, 1999; Shapiro, 2011). Einen anschaulichen Überblick zu Embodied Cognition in der VR-Forschung geben beispielsweise Costa, Kim und Biocca (2013).

ablaufen. Erweiterungen des Körpers, etwa ein Gehstock oder virtuelle Greifwerkzeuge werden als funktionaler Teil des eigenen Körpers wahrgenommen und fließen damit in das Körperschema ein.

Das Körperbild ist die eigene Wahrnehmung über den Körper, das Körperbewusstsein. Bei Tieren wird dies in der Regel durch den Rouge Test (Gallup, 1970) überprüft. Bewusstlose Tiere erhalten an einer Stelle ihrer Haut eine Farbmarkierung, später wird Ihnen ein Spiegel gegenübergestellt. Erkennen die Tiere die Markierung und versuchen danach zu „greifen“, wird ihnen ein Körperbild zugeschrieben. Phänomenologische Erweiterungen des Körpers erfordern, dass das Nervensystem ein Objekt als körpereigen interpretiert. Ein bekanntes Beispiel sind die Experimente zur Gummihand-Illusion, die in VR repliziert wurden (Botvinick & Cohen, 1998; Costantini & Haggard, 2007; Slater, Perez-Marcos, Ehrsson & Sanchez-Vives, 2008). Dafür wird zunächst die (verdeckte) Hand des Nutzers synchron zu einer virtuellen bzw. einer künstlichen Hand mehrfach berührt. Auf Basis von wiederholten Erfahrungen (Prüfung von Wahrnehmungshypothesen bei konsistenten Stimuli) kommt der Körper bereits nach ein paar Minuten zum Schluss, die virtuelle Hand sei die eigene.

Im Modell von Haans und Ijsselsteijn (2012) wird Presence als Resultat der erfolgreichen Integration von medialer Technik in das Körperschema verstanden (siehe Abbildung 8). Eine virtuelle Umgebung liefert dabei eine ausreichende Anzahl qualitativ hochwertiger Stimuli, die sensomotorische Interaktionen mit der Umgebung erlauben. Der Nutzer erlebt die Umgebung, ohne die vermittelnde Technologie als störend zu empfinden.

Das Embodiment-Presence-Framework bietet eine neue Sichtweise auf Presence, die nicht nur sensorische Stimuli, sondern komplexe sensomotorische Interaktionen betrachtet. Eine aktuelle Weiterentwicklung des Modells wird von Haans (2014) derzeit zur Entwicklung von verhaltensbasierten Messinstrumenten für Presence eingesetzt, mit dem Ziel, Fixpunkte für die Presence-Messung zu identifizieren.

Gerade im Zusammenhang von virtuellen Umgebungen und Natural Mapping liefert Embodied Cognition passende Grundlagen für die zukünftige Forschung. Die Konzeption von Spatial Mapping ist konzeptionell nah an den Prinzipien von Embodiment angesiedelt, sodass das Framework von Haans und Ijsselsteijn (2012) als Erklärungsansatz dienen kann (siehe Kapitel 6).

Abbildung 8. Embodiment-Presence-Framework (eigene Darstellung)

2.7.2.6 Self-Presence-Framework

In virtuellen Umgebungen werden Nutzer oft durch anthropomorphe Repräsentationen (Avatare) dargestellt. Diese sind nicht bei allen Typen von virtuellen Umgebungen sichtbar oder relevant. Beispielsweise reicht es für viele Navigationsaufgaben aus, nur die wahrgenommene Umgebung darzustellen (disembodied first-person point of view). Wenn eine Interaktion mit Objekten, Agenten oder anderen Nutzern stattfinden soll, ist es oft notwendig, beispielsweise Gliedmaßen oder einen kompletten virtuellen Körper des Nutzers darzustellen (embodied first-person point of view). Bei detaillierten Koordinationsaufgaben hilft ein Avatar, die eigene Position besser bestimmen zu können. Besonders bei Computerspielen werden Avatare eingesetzt, die entweder aus einer egozentrischen First-Person-Perspektive gesteuert werden (in dem Fall sind beispielsweise die Gliedmaßen sichtbar) oder einer Third-Person-Perspektive (der komplette Avatar ist sichtbar).

Ein Teilaspekt von Presence ist der Eindruck eines Nutzers, den Avatar als Teil des eigenen Körpers zu erleben. Auf Basis des Embodiment-Konzepts (Damasio, 1994) entwickelte Ratan (2012) ein Self-Presence-Framework, um die Self-Presence-Erlebnisse zu beschreiben. Er modellierte dabei ähnlich wie Haans und Ijsselsteijn (2012) drei aufeinander aufbauende Komponenten der holistischen Selbstwahrnehmung:

- 1) **Proto-Self** (Körperschema)
- 2) **Core-Self** (Emotionen)
- 3) **Extended-Self** (Identität)

Ratan verzichtet auf die Beschreibung der Morphologie und beginnt mit dem Körperschema als erste Ebene. Im Gegensatz zu Haans und Ijsselsteijn (2012) geht er jedoch weiter und ergänzt als oberste Ebene die Identität des Nutzers.

Wie auch bei Haans und Ijsselsteijn (2012) beschreibt Self-Presence auf der Ebene des Körperschemas das Ausmaß, in dem eine virtuelle Repräsentation des Nutzers in das eigene Körperschema integriert wird (z.B. Werkzeuge und Prothesen). Self-Presence auf dieser Stufe basiert auf der Wahrnehmung des eigenen Körpers und einer Abgrenzung zur Umgebung (Ratan & Sah, 2014).

Self-Presence auf der Ebene der Emotionen beschreibt das Ausmaß, inwieweit Interaktionen der virtuellen Repräsentation mit Objekten physiologische Reaktionen beim Nutzer auslösen. Dies bezieht sich vor allem auf plötzliche physiologische Reaktionen auf virtuelle Reize, beispielsweise der Anstieg des Erregungszustandes, wenn virtuelle Körperteile verletzt werden (Ratan & Hasler, 2010, S. 15).

Self-Presence auf der Ebene der Identität beschreibt das Ausmaß, inwieweit die Selbstrepräsentation die persönliche Identität eines Nutzers berührt. Ratan bezieht dies vor allem auf das Selbstbild des Nutzers und der Art und Weise, wie er sich anderen gegenüber darstellen möchte. Nutzer wählen beispielsweise einen Avatar mit schwarzen Haaren, weil sie selbst schwarze Haare besitzen. Alternativ könnte er aber auch eine andere Haarfarbe oder Körperstatur wählen, die eher seinem Selbstbild entsprechen als seine eigentliche Haarfarbe oder Statur (Ratan & Hasler, 2010, S. 16).

Self-Presence (siehe Abbildung 9) stellt demzufolge das Ausmaß dar, wie stark 1) ein Avatar als integrierter Teil des Körperschemas wahrgenommen wird, 2) physiologische Reaktionen bzw. Emotionen durch die Interaktion des Avatars mit der Umgebung ausgelöst werden und 3) der Avatar das Selbstbild des Nutzers reflektieren (Ratan & Sah, 2014).

Abbildung 9. Self-Presence-Framework (in Anlehnung an Ratan, 2012)

Auf Basis des Self-Presence-Frameworks wurde ein Fragebogen (Self-Presence-Questionnaire; Ratan, 2009) zur Erfassung der Modellzustände entwickelt, der in mehreren Studien Anwendung findet (z.B. Aymerich-Franch, Karutz & Bailenson, 2012; Mazlan & Bakar, 2013; Ratan & Hasler, 2009; Ratan & Sah, 2014).

Self-Presence beschreibt die Verbindung eines Nutzers mit seiner virtuellen Repräsentation. Bei Spatial-Mapping-Prozessen sind die relative und absolute räumliche Wahrnehmung des eigenen Körpers innerhalb der virtuellen Umgebung sowie die verwendeten Transformationen bei Bewegungen relevant. Die Wahrnehmung von virtuellen Stellvertretern in Form von Avataren kann dies entscheidend beeinflussen, indem Eigenschaften des Avatars vom Nutzer als körpereigen wahrgenommen werden. Self-Presence ist daher möglicherweise eine relevante Einflussvariable bei der Wahrnehmung von Spatial Mapping.

2.8 Zusammenfassung: UX und Zustände fokussierter Aufmerksamkeit

Die Erfahrungen, die Nutzer während der Medienrezeption haben, werden von unterschiedlichen Disziplinen mit einer Vielzahl von Konzepten beschrieben. In diesem Kapitel wurden die gängigsten Konzepte diskutiert und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede herausgestellt. User Experience im Sinne der HCI bezieht sich als Gesamtkonzept auf alle subjektiven Erwartungen, Wahrnehmungen, Emotionen und psychologische sowie physiologische Reaktionen, die vor, während und nach der Mediennutzung auftreten. Damit wird ein großes Feld unterschiedlichster Einzelaspekte aufgespannt, wodurch die Operationalisierung und Anwendung des Konzepts für eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Erfahrungen erschwert wird. Es existieren zwar verschiedene Instrumente, um die UX bei Anwendungssoftware und technischen Interaktionen zu erfassen, oft sind diese aber zu eng gefasst (z.B. auf Usability oder Zufriedenheit) oder nicht hinreichend durch psychologischen Theorien für vermutete Wirkzusammenhänge gestützt.

Zur Modellierung des Nutzererlebens werden zahlreiche weitere Konzepte herangezogen. Involvement beschreibt beispielsweise die intrinsische Relevanz oder persönliche Bedeutung eines Referenzobjekts für ein Individuum. Eine positive Beurteilung des Referenzobjekts resultiert in hohem Involvement, das wiederum eine zukünftige Auseinandersetzung mit dem-

selben Referenzobjekt wahrscheinlicher macht. Involvement kann damit als Prädiktor für Aufmerksamkeitszuwendung verstanden werden und als Resultat einer Mediennutzung, deckt jedoch zu wenige Aspekte des medialen Erlebens ab.

Immersion beschreibt einen Zustand der Überlagerung der realen Stimuli durch mediale, so dass die realen Stimuli nicht mehr wahrgenommen werden. Immersion kann im Rahmen der Schema-Theorie als unkritischer bzw. kognitiv passiver rezipierender Modus aufgefasst werden, bei dem primär Schemata abgerufen werden. Dem gegenüber steht Engagement als kritischer bzw. kognitiv aktiver, analytischer Modus, bei dem unterschiedliche Schemata verknüpft oder neue erstellt werden (Pietschmann, 2009, S. 73). Sowohl Immersion als auch Engagement stellen eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf künstliche Stimuli dar, sodass diese vorrangig gegenüber realen im kognitiven Apparat bearbeitet werden. Man spricht von immersiven Medien, wenn diese eine Vielzahl von künstlichen Stimuli einsetzen (z.B. Bildschirmgröße, Töne), und damit reale Stimuli erfolgreich überlagern (z.B. durch Verdunklung des Raumes im Kino oder Videobrillen). Das Nutzererleben ist in diesem Fall als fokussierte Aufmerksamkeit auf künstliche Stimuli modelliert.

Transportation bezieht sich auf das mentale Versetzen des Rezipienten in eine Geschichte und wird von einem Aufmerksamkeitsfokus und positiven Emotionen begleitet. Es ist damit prinzipiell eine Sonderform fokussierter Aufmerksamkeit für narrative Medien. Ebenso wird Cognitive Absorption als fokussierte Aufmerksamkeit verstanden, das jedoch nur spezifisch auf Informationstechnologie ausgerichtet ist.

Es wird schnell deutlich, dass die meisten dieser Konzepte beliebig ausgetauscht werden könnten, da sie nur verschiedene Schwerpunkte setzen, prinzipiell aber auf einen Aufmerksamkeitsfokus hinauslaufen. Die Übertragung von Alltagsbegriffen wie „eintauchen“, „transportieren“, „involvieren“, „auf etwas einlassen“ (bzw. den englischen Konterparts „immerse“, „transport“, „involve“, „engage“, „absorb“) als metaphorische Termini für unterschiedliche Forschungskonzepte trägt dabei nur zur Verwirrung bei. Prinzipiell stellen diese Verben Synonyme dar und doch wird damit die Integration verschiedener Forschungsergebnisse unterschiedlicher Disziplinen behindert. Gerade im interdisziplinären Feld virtueller Umgebungen werden regelmäßig alle genannten Konzepte einzeln angewendet. Es existieren inzwischen

jedoch auch zahlreiche Ansätze, die die Gemeinsamkeiten nutzen und Konzepte bzw. Erkenntnisse kombinieren.

Das Presence-Konzept ist das komplexeste der vorgestellten Modelle zur Beschreibung des Nutzererlebens und gleichzeitig das einzige Konzept, dass seine Wurzeln originär in der VR-Forschung hat und nicht aus anderen Disziplinen übertragen wurde. Presence wird primär als Illusion des Nutzers verstanden, eine mediale Umgebung so zu erleben, als wäre sie real. Dieses Phänomen kann durch einen Aufmerksamkeitsfokus auf die künstlichen Stimuli einer virtuellen Umgebung erklärt werden, sodass reale Stimuli ausgeblendet werden. Tatsächlich werden Immersion, Engagement, Transportation oder Involvement in einigen Presence-Konzeptionen als indikative Variablen für Presence oder gar als deren Teilkomponenten verstanden.

Bei der Vorstellung unterschiedlicher Presence-Modelle wurden jeweils Vor- und Nachteile der Konzeptionen deutlich. Besonders allgemeine Konzeptionen (z.B. Two-Pole-Modelle) versuchen zwar Presence zu beschreiben, erlauben aber keine Vorhersagen über Effekte. Nunez' (2007) Modell betrachtet eine Reihe zusätzlicher Faktoren, die für die Entstehung von Presence verantwortlich sind. Dazu gehören Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis. Slaters (2003) Konzeption von Presence-Brüchen bei der Stimulusrezeption durch Falsifikation von Wahrnehmungshypothesen ermöglicht zudem eine bessere Operationalisierung des Konstrukts durch die Messbarkeit der Brüche, ohne auf subjektive Fragebögen zurückgreifen zu müssen.

Aktuelle Ansätze wie Embodied Cognition und Embodied Interaction werden ebenfalls mit Presence in Verbindung gebracht und dienen wie Aufmerksamkeit als konzeptionelle Brücken, um die Wahrnehmungs- und Verhaltensprozesse in virtuellen Umgebungen besser verstehen zu können. Die meisten Presence-Konzeptionen beziehen sich entweder darauf, ob eine wahrgenommene Umgebung (Spatial Presence) oder wahrgenommene soziale Entitäten (Social Presence) als medial unvermittelt wahrgenommen werden. Das Nutzererleben ist mit diesen spezialisierten Ansätzen besser modellierbar als mit dem allgemeinen User-Experience-Ansatz aus der HCI-Forschung. Gerade wenn der Fokus auf räumlicher Wahrnehmung liegt, liefern Embodiment und Spatial Presence valide Erklärungsansätze.

In Kapitel 3 wird daher ein weiteres Presence-Modell im Detail diskutiert. Das als „MEC-Modell“ bekannte zweistufige Prozessmodell von Wirth et al. (2007) ist spezifisch auf Spatial Presence ausgerichtet und verbindet die Ansätze der Prüfung von Wahrnehmungshypothesen mit mentalen Modellen einer wahrgenommenen Umgebung und nutzerseitigen Faktoren. Als Prozessmodell zielt es darauf ab, die Entstehung des Presence-Zustandes und vorhandene Einflussvariablen zu erklären. Der MEC-SPQ (Vorderer et al., 2004) wurde auf Basis dieses Modells entwickelt.

3 Two Step Process Model of Spatial Presence Formation

In Kapitel 2 wurden verschiedene Konzepte zur Modellierung von User Experience in virtuellen Umgebungen diskutiert. Dabei wurde Presence als das komplexeste und gleichzeitig in der VR-Forschung am meisten verbreitete Konzept im Detail vorgestellt. Presence wird als subjektiver Zustand verstanden, bei dem die technische Vermittlung sensorischer Stimuli nicht wahrgenommen wird, sondern die Situation so verarbeitet wird, als wäre sie real. Natural Mapping und Spatial Mapping zielen darauf ab, Interaktionen innerhalb einer virtuellen Umgebung möglichst authentisch zu realen Bezugsobjekten zu gestalten, sodass die Qualität der Wirklichkeitsillusion (also die Immersivität des Systems) erhöht wird. Die Wahrnehmung eines Interaktionsraumes ist dabei für Mapping-Prozesse zentral (siehe Kapitel 5 und 6).

Das *Two Step Process Model of Spatial Presence Formation* (kurz: MEC-Modell) von Wirth et al. (2007) stellt eine Integration existierender Theorien aus Psychologie und Kommunikationswissenschaft in das Presence-Konzept dar.

Das MEC-Modell beschränkt Presence nicht nur auf virtuelle Umgebungen, sondern schließt konventionelle Medien (z.B. Bücher oder Fernsehen) mit ein. Es erweitert bestehende Konzeptionen von Spatial Presence durch seinen Prozesscharakter und ermöglicht die Erklärung und Vorhersage des Zustands. Im Modell werden sowohl eine Reihe von Nutzervariablen (z.B. domänenspezifisches Interesse, kognitives Involvement, räumliches Vorstellungsvermögen, Trait-Absorption) als auch mediale Faktoren (z.B. Konsistenz und Qualität sensorischer Stimuli) als Einflussfaktoren betrachtet. Das Modell geht dabei zweistufig vor: Presence ist im MEC-Modell die Folge von Aufmerksamkeitsprozessen, die zuerst in der Konstruktion mentaler Modelle des wahrgenommenen Raumes (Spatial Situation Models) resultieren und auf deren Basis schließlich Presence ausgelöst wird. Analog zu Slaters (2003) erweitertem Two-Pole-Modell werden Wahrnehmungshypothesen genutzt, um Brüche von Presence zu erklären. Solange keine Brüche vorliegen, ist Presence vorhanden.

Das MEC-Modell wurde gemeinsam mit einem Spatial Presence Questionnaire (Vorderer et al., 2004) entwickelt, der die modellierten Faktoren postrezeptiv erfassen kann. Aufgrund einer hohen Verbreitung dieses Fragebogens stehen viele Forschungsergebnisse zur Verfügung, die einen Vergleich der Modellfaktoren bei unterschiedlichsten Medientypen ermöglichen.

In diesem Kapitel wird das MEC-Modell mit seinen beiden Prozessschritten im Detail vorgestellt und die damit verbunden Grundannahmen diskutiert. Spatial Situation Models stellen die wesentlichste Grundlage dafür dar. Die Idee von derartigen mentalen Modellen ist jedoch bereits viel älter als das MEC-Modell und wird ebenfalls im Kapitel detailliert beleuchtet. Spatial Situation Models werden auch für die Modellierung des Spatial-Mapping-Konzepts in dieser Arbeit herangezogen, weshalb eine theoretisch fundierte Konzeption und Operationalisierung zur Erfassung der Qualität dieser mentalen Modelle bei individuellen Nutzern erforderlich ist. Der Autor stellt dazu Ergebnisse alternativer Erhebungsverfahren aus eigenen Voruntersuchungen vor.

Das MEC-Modell betrachtet zahlreiche vermutete Einflussvariablen, deren tatsächlicher Einfluss in verschiedenen Studien untersucht wurde. Ergebnisse dieser Studien werden ebenfalls betrachtet, um die Validität des Modells zu beurteilen.

3.1 Grundannahmen des Modells

Das MEC-Modell umfasst zwei wesentliche Schritte für die Entstehung von Spatial Presence. Im ersten Schritt wird ein mentales Modell der wahrgenommenen Umgebung konstruiert. Dieses Spatial Situation Model (SSM) beinhaltet alle relevanten Informationen, die einen Stimulus als Raum kennzeichnen. Der Nutzer wendet dem Stimulus dafür seine Aufmerksamkeit zu (Attention Allocation), sodass kognitive Ressourcen dafür gebunden werden. Die Qualität des erzeugten SSM wird von medialen Faktoren (z.B. Qualität und Anzahl sensorischer Stimuli) und Nutzervariablen (z.B. domänenspezifisches Interesse, räumliches Vorstellungsvermögen) beeinflusst.

Im zweiten Schritt des Modells werden weitere kontinuierlich eintreffende Stimuli mit dem SSM verglichen. Ähnlich wie in Slaters (2003) Modell werden (unbewusst und automatisch) Wahrnehmungshypothesen geprüft. Im MEC-Modell wird dies als „Medium-as-PERF-Hypothesis“ bezeichnet, also die Annahme, dass die Stimuli der medialen Umgebung den primären Handlungsrahmen des Nutzers bilden. Ist das der Fall, basieren die wahrgenommenen Handlungsmöglichkeiten auf der medialen und nicht auf der realen Umgebung. Als Konsequenz nimmt der Nutzer eine räumliche Verortung innerhalb der medialen Umgebung wahr und erlebt damit Spatial Presence. Auch im zweiten Schritt des Modells unterstützen bzw. behindern

mediale Faktoren und Nutzervariablen die Bildung des Zielkonstrukts. Wird durch inkonsistente, fehlende oder widersprüchliche Stimuli die „Medium-as-PERF-Hypothese“ falsifiziert, resultiert dies in einen Bruch („Break in Presence“).

Abbildung 10 zeigt das MEC-Modell im Überblick. Im Folgenden werden einzelne Grundannahmen des Modells erläutert und die beiden Schritte im Detail dargestellt.

Abbildung 10. Two Step Model of Spatial Presence Formation (in Anlehnung an Wirth et al., 2007)

3.1.1 Spatial Presence Konzeption

Spatial Presence ist im MEC-Modell der Eindruck räumlicher Anwesenheit eines Nutzers in einer mediatisierten Umgebung. Damit bezieht sich die Konzeption auf die ursprüngliche Telepresence-Definition von Minsky (1980). Spatial Presence bedeutet hier, dass der Nutzer das Gefühl hat, innerhalb einer mediatisierten Umgebung zu sein und darin handeln zu können (Schubert et al., 2001; Wirth et al., 2007). Andere, damit in Verbindung stehende Phänomene wie die soziale Natur der Erfahrung, werden ausgeblendet. Dieses Wahrnehmungsverständnis steht in der Tradition des ökologischen Ansatzes der Wahrnehmung von Gibson

(1979), welcher Wahrnehmung und Handeln untrennbar miteinander koppelt und in Umweltinformationen Handlungsangebote (Affordanzen) sieht.

Im Gegensatz zur ISPR-Definition erfordert das MEC-Modell nicht, dass die mediatisierte Umgebung als unvermittelt (nonmediated) empfunden wird. Nutzer, die Spatial Presence erleben, nehmen nur die Handlungsmöglichkeiten der medialen Umgebung als relevant wahr; die realen Handlungsmöglichkeiten sind den Nutzern in dem Moment nicht bewusst. Der Eindruck der Non-Mediation ist dabei unabhängig von der räumlichen Informationsverarbeitung, kann jedoch als Resultat von Spatial Presence eintreten (Wirth et al., 2007, S. 497).

Spatial Presence ist im MEC-Modell ein zweidimensionales Konstrukt. Es bezieht sich zum einen auf den Eindruck, sich körperlich in einer räumlichen Umgebung anwesend zu fühlen („Self-Location“) und andererseits darauf, relevante Möglichkeiten innerhalb der Umgebung wahrzunehmen, mit denen man interagieren kann („Possible Actions“). Spatial Presence wird zudem als dichotomer Zustand verstanden, der diese beiden Dimensionen („Self-Location“ und „Possible Actions“) vereint (S. 497). Presence ist im MEC-Modell also keine graduelle Erfahrung, sondern herrscht zu einem gegebenen Zeitpunkt entweder vor oder nicht vor.

Die beiden Dimensionen sind im Zusammenhang mit Erfahrungen wie Presence nicht neu. Das Embodied-Cognition-Framework von Glenberg (1997) beinhaltet ebenfalls mentale Modelle von Umgebungen und damit verbundene, mögliche Handlungen. Ein mediales Angebot muss zudem nicht zwangsläufig hoch immersiv sein. Mentale Prozesse können externe Stimuli kompensieren und somit Presence auch bei gering immersiven Medien auslösen (Biocca, 1997; Lee, K. M., 2004). Das MEC-Modell schließt Spatial Presence bei gering immersiven Medien ausdrücklich mit ein (Wirth et al., 2007, S. 496).

Zusammenfassend definieren Wirth et al. (2007) Spatial Presence folgendermaßen:

„Spatial Presence is a binary experience, during which perceived self-location and, in most cases, perceived action possibilities are connected to a mediated spatial environment, and mental capacities are bound by the mediated environment instead of reality.“
(S. 497)

3.1.2 Intentionale und reflexive Aufmerksamkeitsorientierung

Ähnlich zu Nunez' CLCC-Modell (2010) spielen Aufmerksamkeit und daraus resultierende kognitive Ressourcen eine entscheidende Rolle im MEC-Modell (Wirth et al., 2007, S. 499). Nur Nutzer, die ihre Aufmerksamkeit auf die mediatisierte Umgebung richten, werden in die Lage versetzt Spatial Presence erleben zu können. Bei der Aufmerksamkeitsallokation gibt es zwei Möglichkeiten (Müller & Rabbitt, 1989): Entweder zieht das Medium die Aufmerksamkeit des Nutzers auf sich (exogene bzw. durch Reize ausgelöste, reflexive Aufmerksamkeitsorientierung) oder der Nutzer schenkt dem Medium gezielt seine Aufmerksamkeit (endogene bzw. intentionale Orientierung).

Die Aufmerksamkeit eines Nutzers dient zur Steuerung der begrenzten kognitiven Ressourcen (grundlegend dazu siehe z.B. Broadbent, 1958; Craik, F. I. & Byrd, 1982; Kahneman, 1973). Die dynamische Wirkung automatisierter und kontrollierter Aufmerksamkeitsprozesse bei der Mediennutzung wird dabei analog zum „Limited Capacity Model of Mediated Message Processing“ (kurz: LC4MP; Lang, A., 2000) verstanden, bei dem Interaktionen zwischen inhaltlichen und formalen Gesichtspunkten eines Mediums und die Auswirkung auf die Aufmerksamkeit beschrieben werden. Lang beschreibt im LC4MP die drei Subprozesse „encoding“, „storage“ und „retrieval“. Die Aufmerksamkeitsorientierung ist ein wesentlicher Bestandteil des Enkodierens, bei dem Informationen mit neuartigen bzw. salienten Stimuli sowie emotional oder motivational relevante Informationen eine dominante Rolle spielen.

Im Gegensatz zur Konzeption der Aufmerksamkeitsprozesse bei Wirth et al. (2007) geht beispielsweise Tans (2008) „Dual Awareness Model“ zusätzlich auf den Einfluss von emotionalen Faktoren und Fiktivität des wahrgenommenen Inhalts bei Aufmerksamkeitsprozessen während der Rezeption narrativer Medien ein.

Im MEC-Modell können sowohl inhaltliche als auch formale Aspekte eines medialen Produkts automatische Aufmerksamkeitsprozesse auslösen. Dies kann etwa durch Orientierungsreaktionen als Folge kontrastreicher, schneller, überraschender oder neuartiger Stimuli geschehen (Posner, Snyder & Davidson, 1980) oder aufgrund der Erfüllung von Nutzermotiven bzw. -interessen. Der Nutzer reagiert mit Augen- bzw. Kopfbewegungen zur Quelle des Stimulus und startet ein Explorationsverhalten, um den Stimulus einzuordnen. Formale Aspekte führen

eher zu kurzfristigen Orientierungsreaktionen, während inhaltliche Aspekte zunächst interpretiert werden müssen und längerfristig Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Im MEC-Modell spielt diese Unterscheidung dennoch keine übergeordnete Rolle, da beide Formen für eine kontinuierliche Bindung der Aufmerksamkeit auf die Stimuli relevant sind (Wirth et al., 2007, S. 500). Je mehr sensorische Informationen ein Medium jedoch besitzt, desto wahrscheinlicher ist es, dass damit große Teile des Wahrnehmungsbereichs eines Nutzers ausgefüllt werden (Reeves, Lang, Kim & Tatar, 1999). Ein kontinuierlicher Strom hoch detaillierter Stimuli erhält die automatische Wahrnehmung eines Nutzers einfacher als ein unterbrochener oder detailarmer Strom von Stimuli. Widersprüchliche oder zu komplexe Stimuli lösen hingegen einen analytischen Modus der Informationsverarbeitung aus und verlagern damit die Aufmerksamkeit, sodass die mediale Vermittlung bewusster reflektiert wird.

Neben automatischen Prozessen können Nutzer medialen Angeboten auch kontrollierte Aufmerksamkeit schenken. Domänenspezifisches Interesse eines Nutzers sorgt dafür, dass er sich dem Medienangebot auch ohne externe Motivation zuwendet (Krapp, 1993). Zusätzlich lassen sich beliebig auch weitere situative Faktoren betrachten, die einen Einfluss auf die kontrollierte Aufmerksamkeit haben, beispielsweise die Rezeptionssituation bzw. externe Motivation. Zustände wie Müdigkeit oder Stimmungen spielen hierbei ebenfalls eine Rolle (Soetens, Deboeck & Hueting, 1984). Im MEC-Modell wird sich auf domänenspezifisches Interesse als wichtigster Faktor kontrollierter Aufmerksamkeit beschränkt.

Wirth et al. (2007) fassen zusammen, dass sowohl automatische als auch kontrollierte Aufmerksamkeit für die Entstehung von Spatial Presence relevant sind. Die jeweiligen Anteile am Prozess sind allerdings stets verschieden. Die Autoren gehen davon aus, dass besonders bei wenig immersiven Medien wie Büchern ein höherer Teil kontrollierter Aufmerksamkeitsprozesse zu Presence beitragen, da z.B. Lesen als aktiver Prozess davon abhängig ist, dass der Nutzer motiviert ist. Bei hoch immersiven Medien werden hingegen automatische Aufmerksamkeitsprozesse durch eine Vielzahl von Stimuli angeregt, sodass der motivationale Anteil geringer ausfallen kann (S. 501).

3.1.3 Die Rolle von Nutzervariablen

Im MEC-Modell werden neben medialen Faktoren auch beeinflussende Nutzervariablen betrachtet. Dabei wird zwischen State- und Trait-Variablen unterschieden. Wirth et al. (2007) ziehen im ersten Schritt des Modells Eigenschaften des Nutzers heran, die einerseits die Qualität des Spatial Situation Models verbessern und andererseits Aufmerksamkeit induzieren. Neben domänenspezifischem Interesse sind weitere Einflüsse auf die kontrollierte Aufmerksamkeitsorientierung durchaus denkbar (z.B. Intelligenz oder Alter), werden aber für das Modell aufgrund zu kleiner vermuteter Effekt vernachlässigt.

Das räumliche Vorstellungsvermögen eines Nutzers (spatial visual imagery bzw. spatial ability) beeinflusst die Reichhaltigkeit der mentalen Repräsentationen von wahrgenommenen räumlichen Anordnungen (Farah, Hammond, Levine & Calvanio, 1988; Koslow, 1987). Wirth und Kollegen argumentieren, dass Nutzer mit gutem räumlichen Vorstellungsvermögen ein hochwertigeres SSM konstruieren sollten, da es ihnen leichter fällt, die wahrgenommenen räumlichen Hinweisreize zusammenzufügen und fehlende Informationen auf Basis eigener Erfahrungen und Erinnerungen zu ergänzen (Dean & Morris, 2003).

Auf Basis eines reichhaltigen SSM werden Erwartungshypothesen bei der Wahrnehmung virtueller Umgebungen mit den verarbeiteten Stimuli verglichen. Eine Spatial-Presence-Episode tritt dann ein, wenn die medial vermittelte Umgebung als primärer egozentrischer Referenzrahmen akzeptiert wird. Dieser Prozess wird ebenfalls von medialen Faktoren beeinflusst, die bereits das zugrunde liegende SSM gebildet haben. Dies umfasst vor allem konsistente und überzeugende, multimodale Stimuli. Wird der Informationsstrom unterbrochen (z.B. durch Ladezeiten bzw. Übergänge verschiedener dargestellter Umgebungsteile), richtet sich die Aufmerksamkeit auf diese neuen Informationen und führt möglicherweise dazu, dass die medial vermittelte Umgebung nicht mehr als Referenzrahmen akzeptiert wird. Einen weiteren Faktor stellen die medialen Inhalte dar. So wurden beispielsweise Narration, Drama und Plot als Einflussfaktoren für Presence identifiziert (Klimmt & Vorderer, 2003). Da Spannung das Interesse von Rezipienten an das Medium bindet, sollte narrativer Inhalt durch motivationale Komponenten zur Stabilität des medialen egozentrischen Referenzrahmens beitragen. Im MEC-Modell wird dies durch die Nutzerzustände Suspension of Disbelief (Böcking & Wirth,

2009; Coleridge, 1817; Lombard & Ditton, 1997) und Cognitive Involvement (Schubert et al., 2001; Witmer & Singer, 1998) eingebracht.

Sacau, Laarni und Hartmann (2008) betrachteten in einem Review weitere individuelle Einflussfaktoren für das MEC-Modell. Der Einfluss von Persönlichkeitsvariablen wurde experimentell von Laarni, Ravaja, Saari und Hartmann (2004) überprüft. Dabei zeigten sich Extraversion, Impulsivität, Selbstvergessenheit und Konzentrationsfähigkeit als signifikante Prädiktoren für Spatial Presence. In einer Folgestudie konnten von Wirth, Hofer und Schramm (2012) weiterhin emotionales Involvement und Trait Absorption (Tellegen & Atkinson, 1974) als stabile Faktoren für Spatial Presence identifiziert werden. Der Einfluss verschiedener Faktoren im MEC-Modell wurde von Hofer, Wirth, Kuehne, Schramm und Sacau (2012) in Form von Strukturgleichungsmodellen bestätigt (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Hofer et al. (2012)

3.2 Schritt 1: Konstruktion eines Spatial Situation Models

Im ersten Schritt des MEC-Models wird ein Spatial Situation Model (SSM) konstruiert. Spatial Situation Models sind dabei spezielle mentale Modelle, die Informationen über eine räumliche Umgebung beinhalten. Die Qualität des SSM hängt dabei von medialen und persönlichen Faktoren ab. Einflussvariablen wirken auf die Aufmerksamkeitsprozesse und direkt auf den Konstruktionsprozess des SSM. So bestimmt die Qualität und Konsistenz sogenannter Spatial Cues schließlich, ob ein reichhaltiges SSM der Umgebung konstruiert werden kann.

3.2.1 Mentale Modelle

Mentale Modelle sind „subjektive Funktionsmodelle für technische, physikalische und auch soziale Prozesse für komplexe Gegebenheiten (z.B. syllogistische Schlussfolgerungsregeln)“ (Häcker & Stapf, 2009). Quantitative Beziehungen werden in den modellierten Prozessen auf qualitative Relationen reduziert, und es wird mittels Analogiebildung auf bekannte Sachverhalte zurückgegriffen. Craik, K. (1943) beschrieb bereits Miniaturmodelle der Realität, die in unseren Köpfen gebildet werden, um die externe Realität und die eigenen möglichen Handlungen in dieser Realität zu simulieren. Sie ermöglichen es, Handlungsalternativen zu planen und auf zukünftige Situationen reagieren zu können, bevor diese eintreffen. Das Konzept dieser Modelltheorie geht allerdings weit bis in das 19. Jahrhundert zurück (z.B. Lord Kelvin und Charles Sanders Peirce; für einen historischen Überblick siehe Johnson-Laird, 2004).

Mentale Modelle beinhalten nur auf den Kern reduzierte Teilaspekte einer Situation, sie sind also interne Quasi-Objekte, die in einer Struktur- oder Funktionsanalogie zu einem dargestellten Gegenstand stehen (Johnson-Laird, 1983). Sie werden situationsabhängig aufgebaut und bestimmen, wie Objekte, Ereignisse oder mediale Inhalte mental repräsentiert und enkodiert werden. Mentale Modelle dienen daher primär der Strukturierung und Organisation von Wissen durch die Verarbeitung von Erfahrungen. Schemata, Frames oder Skripte stellen hierbei verwandte Konzepte dar. Mentale Modelle stellen wahrnehmungsnahe mentale Repräsentationen (Perner, 1993) aufgenommener Umweltinformationen dar und ermöglichen es uns Annahmen über die Auswirkung möglicher Handlungen zu treffen.⁴ Im Gegensatz dazu umfassen

⁴ Siehe dazu auch kognitive Karten unter 6.1.1.

kognitive Schemata beispielsweise abstraktere Repräsentationsformen stereotypischer Situationen (z.B. Restaurant-Skript; Schank & Abelson, 1977), die jedoch zur Konstruktion von mentalen Modellen herangezogen werden können (Van Dijk & Kintsch, 1983). Eine weitere Besonderheit ist, dass sich mentale Modelle während der Wahrnehmung und Verarbeitung neuer Situationen oder Umgebungen schrittweise entwickeln. Ein Modell ist zu jedem Zeitpunkt vollständig, es wird jedoch durch neue Informationen fortlaufend aktualisiert oder verworfen (Schnortz, 1988).

Zwei verschiedene Mechanismen liefern Informationen zur Konstruktion mentaler Modelle: Zum einen werden bisherige Erfahrungen oder Wissen aus anderen Wissensdomänen herangezogen, um die Basis des Modells zu bilden (Top-Down-Prozess). Zum anderen werden Informationen zur wahrgenommenen Situation in das Modell integriert (Bottom-Up-Prozess). Sobald hingegen neue situative Informationen verfügbar sind, wird das mentale Modell aktualisiert und an die neuen Begebenheiten angepasst. Sowohl die kognitiven Verarbeitungsprozesse als auch die Konstruktion der mentalen Modelle laufen unbewusst ab.

Die Anzahl verfügbarer Informationen in mentalen Modellen ist indessen nicht beliebig. Da kognitive Ressourcen nur begrenzt zur Verfügung stehen, werden nur Teile davon für mentale Modelle aufgewendet. Die Komplexität der mentalen Modelle wird daher entsprechend reduziert.

In der Medienrezeptionsforschung wurden mentale Modelle z.B. in einem Modell für Textverständnis von Van Dijk und Kintsch (1983) angewendet. Dort werden verbale und visuelle Informationen zunächst im Kurzzeitgedächtnis repräsentiert und mit vorhandenen kognitiven Schemata kombiniert. Im Resultat wird während dieses Verständnisprozesses ein Situationsmodell zum Text gebildet. Der Begriff „Situationsmodell“ ist dabei synonym zum Begriff „mentales Modell“ zu verstehen. Auf Basis dieser Theorie wurden zahlreiche Untersuchungen zu Textverständnis und Erinnerungsleistung durchgeführt (Glenberg, Meyer & Lindem, 1987; Graesser, Singer & Trabasso, 1994; Zwaan & van Oostendorp, 1993).

Das Konzept der mentalen Modelle wurde schließlich auch auf andere Medienrezeptionsprozesse übertragen. Ohler (1994) erklärt mithilfe von Situationsmodellen den Verständnisprozess narrativer Filminhalte. Auch hier werden mediale Inhalte mit vorhandenem Wissen in ein Situationsmodell integriert. Das Vorwissen ist dabei interindividuell verschieden. In einigen

Filmen bzw. Filmgenres wird dieser Umstand gezielt ausgenutzt: Ein Film liefert im Laufe der Filmhandlung einzelne Informationen, die in ein Situationsmodell einfließen. Das Vorwissen über Genre-Konventionen unterstützt Rezipienten dabei, Vermutungen über den Fortgang der Geschichte anzustellen. Anschließend setzen Filmproduzenten unerwartete bzw. widersprüchliche narrativen Informationen an, die nicht in das existierende Situationsmodell passen. Es wird eine Aktualisierung des Situationsmodells erzwungen, was sich in Form von spannungsinduzierten Unterhaltungserfahrungen auswirkt (Ohler & Nieding, 1996).

Zusammenfassend lassen sich auf Basis von Van Dijk und Kintsch (1983) verschiedene Gründe nennen, warum Situationsmodelle als theoretische Grundlage für das Verständnis medialer Botschaften eingesetzt werden sollten:

- 1) Situationsmodelle erlauben die Integration von Informationen aus unterschiedlichen Teilen des medialen Angebots (z.B. verschiedenen Textabschnitten oder temporaler Abfolge bei Filmen).
- 2) Situationsmodelle erklären die Ähnlichkeit von Verständnisprozessen über verschiedene Modalitäten hinweg.
- 3) Situationsmodelle erklären den Einfluss domänenspezifischen Wissens auf Verständnisprozesse.
- 4) Situationsmodelle erklären den kombinierten Einsatz mehrerer Medienangebote zum medialen Lernen (z.B. mehrere Texte oder Filme und Bücher).

3.2.2 Spatial Cues

Spatial Cues sind im MEC-Modell die zentralen Bausteine eines Spatial Situation Models. Der Begriff beschreibt multisensorische Stimuli, die ein räumliches Arrangement erzeugen (Gibson, 1979; Wirth et al., 2007).⁵ Gleichzeitig stellen die Spatial Cues Tiefeninformationen dar, die eine räumliche Darstellung der Umgebung erst ermöglichen.

⁵ Im Spatial-Cueing-Paradigma (Posner et al., 1980) werden Spatial Cues als ortsbezogene Hinweisreize definiert, d.h. Hinweisreize, die die Position eines nachfolgenden Zielreizes mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit bestimmen. Das Paradigma stellt einen ortsbasierten Erklärungsansatz zur selektiven Aufmerksamkeit dar, bei dem Spatial Cues die Aufmerksamkeit regeln, modelliert in Form eines Lichtkegels (Spotlights).

In der Literatur wurden zahlreiche verschiedene Typen von Spatial Cues identifiziert (Cutting, J. E., 1997; Gibson, 1979; Riecke, von der Heyde & Bülthoff, 2001; Surdick, Davis, King & Hodges, 1997). Tabelle 3 gibt einen Überblick zu individuellen Typen visueller Spatial Cues.

Monokulare Cues umfassen Stimuli, die mit einem Auge wahrgenommen bzw. aus einer zweidimensionalen Darstellung abgeleitet werden können.

Binokulare Cues umfassen Stimuli, bei denen beide Augen benötigt werden bzw. eine dreidimensionale Umgebung notwendig ist.

Tabelle 3. *Übersicht visueller Spatial Cues*

Statische monokulare Spatial Cues	Dynamische monokulare Spatial Cues	Binokulare Spatial Cues
Verdeckung	Bewegungsparallaxe	Parallaxe
Höhe von Objekten im visuellen Feld		Stereopsis
Relative Größe		Naheinstellung beider Augen (Konvergenz, Akkommodation)
Relative Helligkeit		
Texturgradient		
Linearperspektive		
Luftperspektive		
Schatten und Schattierungen		

Spatial Cues sind allerdings nicht nur visueller, sondern multimodaler Natur. Studien aus den 1990er Jahren zeigten dabei, dass visuelle Cues vor allem für die multisensorische Integration unterschiedlicher Stimuli relevant sind. Experimente belegen ihren Einfluss auf visuelle, auditive und taktile Reaktionen (Spence & Driver, 1994; Ward, 1994). Die Mechanismen akustischer Lokalisation sind beim Menschen viel weniger präzise ausgeprägt als die Ortung visueller Reize, weshalb beispielsweise der Anteil auditiver Spatial Cues zur Modellierung eines räumlichen Arrangements geringer ausfällt. Ein Beispiel dafür ist die Bauchrednerillusion, bei der Zuschauer den Eindruck haben, die gehörte Stimme stamme von einer Puppe, die den Mund bewegt (Hagendorf, Krummenacher, Müller & Schubert, 2011, S. 187).

3.2.3 Spatial Situation Models

Spatial Situation Models sind mentale Modelle über eine räumliche Umgebung (Wirth et al., 2007, S. 501). Im MEC-Modell konstruieren Nutzer ein SSM auf Basis von wahrgenommenen räumlichen Hinweisreizen (Spatial Cues) und individuellem räumlichen Wissen und Kognitionen. Spatial Cognition (McNamara, 1986) ist der Teilbereich der Kognition, der für die Aneignung, Organisation, Anwendung und Aktualisierung von Informationen über räumliche Umgebungen verantwortlich ist. Dies beinhaltet das Verständnis multisensorischer räumlicher Stimuli und deren Verknüpfungen zu einem Gesamtbild. Wir kombinieren unbewusst und permanent räumliche mentale Modelle aus den zur Verfügung stehenden Informationen. Aufgrund von Nutzervariablen wie persönliche Erfahrung oder räumliches Vorstellungsvermögen ist der Prozess und auch das resultierende SSM jedoch individuell verschieden (Dutke, 1994; Wirth et al., 2007, S. 502). Die Konstruktion von SSM enthalten neben Informationen auch Interpretationen der Umgebung (de Rijk, Schreurs & Bensing, 1999).

Sobald Spatial Cues wahrgenommen werden, werden diese unbewusst sortiert und dazu passende räumliche Szenarien (Spatial Scenarios) aktiviert. Diese Szenarien bestehen zum einen aus den wahrgenommenen Spatial Cues (Bottom-Up-Komponenten) und zum anderen aus „leeren“ Slots, die sinnvoll durch das Vorwissen des Nutzers gefüllt werden (Top-Down-Komponenten). Das Vorwissen umfasst bekannte oder ähnliche Situationen, Vorstellungen über räumliche Szenarien bzw. Schemata sowie allgemeines räumliches Wissen (z.B. physikalische Regeln) und räumliches Vorstellungsvermögen eines Nutzers. SSMs erfordern daher eine Art „Bibliothek“ an räumlichen Erfahrungen, die individuell in das Modell eingebracht werden. Besonders bei wenig immersiven medialen Umgebungen, bei denen Raum weniger intuitiv und fragmentiert präsentiert wird (Textbeschreibungen) sind räumliches Vorstellungsvermögen und räumliche Erfahrungen essenziell für die Konstruktion eines reichhaltigen SSM (Wirth et al., 2007, S. 502). Das SSM wird während der Verarbeitung von räumlichen Wahrnehmungen sukzessive ausgebaut, da neue Spatial Cues in das Modell integriert werden. Gleichzeitig wird die Passfähigkeit und Gültigkeit des SSM ständig überprüft. Hinreichend viele inkonsistente Spatial Cues führen zu einem Umbau bzw. grundlegenden Neuaufbau des Modells (Van Dijk & Kintsch, 1983).

Die aus einer Reihe von Spatial Cues resultierenden Spatial Situation Models lassen sich hinsichtlich ihrer Genauigkeit bzw. internen logischen Konsistenz unterscheiden, sowie hinsichtlich ihrer Reichhaltigkeit bzw. der Anzahl räumlicher Elemente, die darin enthalten sind. Ein reichhaltiges SSM besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Spatial Cues, die eine gemeinsame, konsistente räumliche Umgebung beschreiben (Wirth et al., 2007, S. 503).

Das Konzept von Spatial Situation Models stammt ursprünglich aus der Textforschung. Leser konstruieren während des Leseprozesses Situationsmodelle auf Basis der Textinformationen (Johnson-Laird, 1983). Diese Modelle repräsentieren beispielsweise Informationen bezüglich Zeit, Kausalität, Zielen der Figuren oder den Raum. Der räumliche Zusammenhang im Situationsmodell wurde dabei am häufigsten untersucht, wodurch sich die Bezeichnung Spatial Situation Model schnell durchsetzte (Rinck, Hähnel, Bower & Glowalla, 1997; Rinck, Williams, Bower & Becker, 1996; Zwaan & van Oostendorp, 1993). SSMs enthalten Informationen über den Aufenthaltsort von Figuren sowie Objekte und Orte in relativer Nähe zu diesen Figuren. Je näher sich die Objekte oder Orte zu Protagonisten befinden, desto relevanter werden sie und desto besser sind sie in der Erinnerung verfügbar. Weit entfernte Objekte geraten in den Hintergrund. Dabei sollten jedoch keine Entfernungen aus der Realität als Maßstab herangezogen werden. Studien zeigten, dass Spatial Situation Models keine euklidischen Distanzen abbilden, sondern nur kategoriale Objektrelationen (Glenberg et al., 1987; Rinck et al., 1997). Propositionale Theorien gehen davon aus, dass Menschen in ihren mentalen Modellen nicht abbilden, wie weit genau Objekte voneinander entfernt sind, sondern nur, dass sie nicht zusammen liegen. Die Repräsentationen beruhen entsprechend auf semantischen Propositionen (Pylyshyn, 1973). Spatial Situation Models umfassen lediglich funktional-relevante Zusammenhänge auf Basis symbolischer Repräsentationen (Johnson-Laird, 1983; Martinez, 1999). Sie stellen die Verknüpfung einer Funktion eines Gegenstands (z.B. ein Brunnen) und des Ortes dar (z.B. auf dem Grundstück links am Ende der Straße). Analogie Theorien (z.B. Kosslyn, S. M., Ball & Reiser, 1978; Thorndyke, 1981) gehen davon aus, dass stattdessen eine mentale Repräsentation in Form von Abbildern der Realität („mind’s eye“) erfolgt. Diese Auffassung zur Rolle mentaler Bilder findet auch viele Anhänger in den Neurowissenschaften (z.B. Damasio, 1994).

Die Debatte wird bereits seit Jahrzehnten mit Belegen für beide Theorien geführt. Mit aktuellen Befunden konnten Lewis, K. J., Borst und Kosslyn (2011) beispielsweise in einer Reihe von Experimenten nachweisen, dass mentale Bilder als Teil mentaler Repräsentationen auch langfristig eine räumliche Anordnung präzise genug repräsentieren. Die Studien beschränkten sich aber auf Bildmuster, und nicht auf dreidimensionale, reale Umgebungen. Anhänger propositionaler Theorien fechten diese Ergebnisse an und erklären den Effekt damit, dass Nutzer aufgrund ihres Weltwissens („tacit knowledge“) die propositionale Struktur der räumlichen Umgebung erst im Nachhinein als „simuliertes“ mentales Bild wiedergeben (Lang, P. J., 1979). Dabei wird nicht die Existenz mentaler Bilder bestritten, sondern nur, dass diese Bilder in mentalen Modellen tatsächlich zu realen Objekten korrespondieren.

Sowohl Kosslyns Quasi-Pictorial Theory of Imagery (Kosslyn, S.M., Thompson & Ganis, 2006) als auch Pylyshyns Description Theory (Pylyshyn, 2003) verstehen mentale Bilder als Teile mentaler Repräsentationen, jedoch ist die genaue Art und Weise der Abbildung mentaler Bilder für die Qualität von Enkodierung und Erinnerung nicht zwingend relevant. Die Dual-Coding-Theorie (Paivio, 1971) geht beispielsweise davon aus, dass zwei unterschiedliche Klassen mentaler Repräsentationen („Codes“) existieren: Sprach- sowie Bildinformationen werden in zwei getrennten (jedoch interagierenden) Systemen verarbeitet. Common-Coding-Theorien des Gedächtnisses gehen im Gegensatz davon aus, dass alle relevanten Informationen in einem gemeinsamen Speicher verarbeitet werden und dass Prozesse der Wahrnehmung und Handlungen untrennbar verbunden sind (Hommel, Müsseler, Aschersleben & Prinz, 2001; James, 1890). Beide Theorien funktionieren sowohl mit einem propositionalen als auch analogen Verständnis mentaler Bilder.

Neuere Ansätze aus den Neurowissenschaften suggerieren, dass sich propositionale und analoge Theorien in eine Klasse simulativer Theorien zusammenfassen lassen. Mentale Bilder sind dabei lediglich neurale Simulationen bzw. Wahrnehmungssimulationen der Inhalte in Form mentaler Repräsentationen (Barsalou, Kyle Simmons, Barbey & Wilson, 2003; Hesslow, 2002).

3.3 Schritt 2: Die Entstehung von Spatial Presence

Im zweiten Schritt des Modells wird auf Basis der Spatial Situation Models der wahrgenommenen Umgebung die Entstehung von Spatial Presence erklärt. Der zweite Schritt ist deshalb notwendig, weil ein SSM nur die mentale Repräsentation einer Umgebung darstellt, dies aber noch nichts über einen Erlebniszustand des Nutzers aussagt. Erst wenn der Nutzer sein Verhalten auf die wahrgenommene Umgebung bezieht und dort Handlungsoptionen wahrnimmt, spricht man im MEC-Modell von Spatial Presence.

Die Nutzer entscheiden also unbewusst auf Basis des SSM, ob die wahrgenommene Umgebung einen primären Bezugsrahmen für mögliches Verhalten bietet (primary egocentric reference frame; kurz: PERF; Riecke & Von der Heyde, 2002)⁶. Im MEC-Modell wird dieser Entscheidungsprozess mithilfe der Theorie der Wahrnehmungshypothesen (theory of perceptual hypotheses; kurz: THP; Bruner & Postman, 1949) erklärt.

3.3.1 Primary Ego Reference Frames

In einem Framework zur Kombination unterschiedlicher Konzepte räumlicher Orientierungsprozesse und räumlicher Wahrnehmung verknüpfen Riecke und Von der Heyde (2002) Grundannahmen von Spatial Presence, Spatial Updating und Spatial Cognition in einem konsistenten Modell. Referenzsystemen der Wahrnehmung wird dabei eine entscheidende Rolle zuteil. In ihrem Modell lassen sich vier unterschiedliche Eigenschaften von Orientierungsprozessen in räumlichen Umgebungen identifizieren:

- 1) **Adaptives Verhalten** basiert auf räumlichem Lernen und allozentrischen Referenzsystemen. Es ist also auf einen äußeren, objektiven Referenzrahmen im Raum fixiert.
- 2) **Schnelles und intuitives Verhalten** ermöglicht einen automatischen, unbewussten Abgleich von Stimuli und egozentrischen Referenzsystemen. Es ist damit also auf den eigenen Körperstandpunkt im Raum bezogen.
- 3) **Präzises Verhalten** basiert auf positionsrelevanter Navigation und damit verbundenen salienten Reizen bzw. stationären Orientierungsobjekten.

⁶ Zur Unterscheidung verschiedener Referenzsysteme bei der Wahrnehmung gibt beispielsweise (Klatzky, 1998) einen sehr detaillierten Überblick zu allozentrischen und egozentrischen Referenzrahmen.

4) **Abstrakte Strategien** umfassen räumliches Schlussfolgern und Vorstellungsprozesse. Weiterhin werden im Modell Pfade der Wahrnehmung von relativen Bewegungen und absoluten Positionen bei der Raumwahrnehmung kombiniert. Die verschiedenen Formen von Orientierungsprozessen werden jeweils mit diesen beiden Pfaden verknüpft (Riecke & Von der Heyde, 2002). Abbildung 12 zeigt das Modell im Überblick.

Abbildung 12. Framework zur Kombination räumlicher Orientierungsprozesse (in Anlehnung an Riecke, 2002).

Das Modell stellt als eines der ersten Spatial Presence als quantifizierbares Ergebnis der Raumwahrnehmung auf Basis eines medial vermittelten egozentrischen Referenzsystems dar. Spatial Presence ist demzufolge die Übernahme eines medial vermittelten egozentrischen Referenzrahmens als primäres Referenzsystem (Riecke & Von der Heyde, 2002, S. 6).

Diese Konzeption machen sich auch Wirth et al. (2007) zunutze, und betten sie in das MEC-Modell ein.

Ein egozentrischer Referenzrahmen (ERF) ist ein mentales Modell der direkten Umgebung aus einer Egoperspektive und ermöglicht einer Person, die eigene Lage im Raum einzuschätzen (Taylor, H. A. & Rapp, 2006; Wirth et al., 2007). Es wird durch die ständige automatische Aktualisierung des Raummodells aufrechterhalten. Diese Aktualisierung (Spatial Updating) erzeugt den Wahrnehmungseindruck einer konsistenten Umwelt, als dessen Teil sich die Person fühlt (Bjork, 1978; Klatzky, 1998; Riecke & Von der Heyde, 2002). Die Besonderheit an Medien ist die Möglichkeit, fremde ERF darzustellen. Beispielsweise vermitteln oft Computerspiele oder auch Filme eine subjektive Egoperspektive. In Virtual-Reality-Systemen wird fast ausschließlich auf medial vermittelte ERF zurückgegriffen. Medien bieten demzufolge zusätzliche, alternative ERF zur Realität an, die mit dem ERF des Nutzers von der realen Umwelt konkurrieren (Riecke & Von der Heyde, 2002; Wirth et al., 2007). Die fremden ERF werden während der Mediennutzung verarbeitet und stellen zentrale Bestandteile des Spatial Situation Models dar. Das ERF wird dabei aus allen verfügbaren, multimodalen Stimuli gespeist. Es muss hingegen immer ein primärer Referenzrahmen existieren, auf dessen Basis Individuen handeln und ihre eigene Lage im Raum interpretieren können (primary ego reference frame, PERF). Raumwahrnehmung, Selbstverortung und Affordanzen der Umgebung basieren unbewusst auf diesem PERF.

Im MEC-Modell entsteht dann Spatial Presence, wenn der Mediennutzer ein medial vermitteltes ERF als PERF akzeptiert und somit alle mentalen Prozesse in der medialen Umgebung verankert sind. Die Qualität des SSM ist entscheidend für die Annahme des ERF als PERF. Der Vorgang selbst wird durch die Prüfung von Wahrnehmungshypothesen beschrieben.

3.3.2 Prüfung von Wahrnehmungshypothesen

Auf Basis der Theorie der Wahrnehmungshypothesen (TPH) von Bruner und Postman (1949) stellt die Wahrnehmung eine kognitive Interaktion zwischen einem Organismus und seiner Umwelt dar, bei dem wahrgenommene Stimuli auf Basis von Wahrnehmungshypothesen interpretiert werden (Lilli & Frey, 1993; Wirth et al., 2007). Die TPH unterscheidet dabei vier heuristische Funktionen: Selektion, Organisation, Akzentuierung und Fixation. Wahrgenom-

mene Objekte sind dabei diejenigen, die aus der Vielzahl einfließender Stimuli selektiert werden. Sie werden so organisiert, dass sie für den Betrachter Sinn ergeben. Bei dieser Sinnzuschreibung wird einigen Stimuli mehr Gewicht verliehen, um diese besser integrieren zu können. Wahrnehmungen basieren zudem immer auf den Ergebnissen vorheriger Wahrnehmungen (Wirth et al., 2007).

Entsprechend der TPH findet die Wahrnehmung in drei Stufen statt (Bruner & Postman, 1949):

- 1) **Aufstellung von Erwartungshypothesen:** Jeder Wahrnehmungsprozess beginnt mit Erwartungen auf Basis vorheriger Erfahrungen und stellt damit eine kognitive Prädisposition dar. Sie dient dazu, den Betrachter auf zu erwartende Stimuli vorzubereiten.
- 2) **Aufnahme von Objektinformationen:** Die Erwartungshypothesen liefern Informationen darüber, um welche Gegenstände es sich bei dem wahrgenommenen Objekt handeln könnte. Sie liefern gleichzeitig hypothetische Alternativen für die Interpretation der Objektinformationen.
- 3) **Bestätigung oder Ablehnung der Erwartungshypothesen:** Wenn die Erwartungshypothese durch die wahrgenommenen Informationen verifiziert wurde, ist der Prozess beendet. Wenn die wahrgenommenen Informationen jedoch nicht zur Erwartungshypothese passen und diese nicht bestätigt wird, startet der Wahrnehmungsprozess erneut bei der ersten Stufe. Die bisherigen Informationen ergänzen die neuen Erwartungshypothesen, die Organisation und Akzentuierung von Stimuli wird auf Basis der neuen Informationen verbessert.

Der Prozess kann anhand eines Beispiels verdeutlicht werden: Ein Autofahrer fährt nachts auf einer dunklen Landstraße neben einem Waldstück und sieht zwei Leuchtpunkte vor sich. Sein Hintergrundwissen ermöglicht es ihm, Erwartungshypothesen aufzustellen. Es könnte sich um ein entgegenkommendes Fahrzeug oder ein Tier auf der Straße handeln, dessen Augen das Licht reflektieren. Diese Erwartung veranlasst ihn dazu, nach Indikatoren für die Hypothesen Ausschau zu halten, beispielsweise die Helligkeit des Lichts, der Abstand der Leuchtpunkte zueinander und eventuelle Umrisse. Erkennt er die Umrisse eines Geweihs, bestätigt sich die Hypothese, dass es sich um einen Hirsch handelt, der Fahrer kann entsprechend reagieren.

Nimmt er jedoch widersprüchliche Stimuli wahr (z.B. ein dritter Lichtpunkt, der reflektierende Augen unwahrscheinlich macht), startet der Prozess erneut.

Dieses Beispiel zeigt bereits, dass ein Betrachter gleichzeitig mehrere Erwartungshypothesen haben kann. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Stärke und Sicherheit. Das Ergebnis von Wahrnehmungsprozessen basiert hauptsächlich auf der stärksten Hypothese. Im Beispiel wäre das möglicherweise die Erwartung von Tieren auf der Straße. Haben Beobachter nur schwache Hypothesen, liegen wenige Vorinformationen bzw. Erwartungen vor, die Informationen müssen daher stärker auf Basis eingehender Stimuli bearbeitet werden (mehr Bottom-Up-Anteile), was zu einer einfacheren Ablehnung der Hypothesen und dem Neustart des Prozesses führen kann (Lilli & Frey, 1993).

- 1) Je stärker eine Hypothese ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie aktiviert wird (z.B. durch Priming).
- 2) Je stärker eine Hypothese ist, desto weniger Informationen sind nötig, um sie zu verifizieren.
- 3) Je stärker eine Hypothese ist, desto mehr widersprüchliche Informationen sind notwendig, um sie zu falsifizieren.

Es werden also in der Regel mehrere verschiedene Erwartungshypothesen aufgestellt, die für die Stimulusverarbeitung bei der Wahrnehmung herangezogen werden. Die Stärke einer Hypothese bestimmt, welche der konkurrierenden Hypothesen dabei dominant ist.

3.3.3 Medium als primärer Referenzrahmen

Ähnlich wie im erweiterten Two-Pole-Modell von Slater (2002) geht das MEC-Modell davon aus, dass medial vermittelte Umgebungen konkurrierende Referenzrahmen generieren. Sobald ein reichhaltiges SSM auf Basis der Verarbeitung von Spatial Cues konstruiert wurde, konkurriert der daraus resultierende egozentrische Referenzrahmen (ERF) mit dem primären egozentrischen Referenzrahmen (PERF) auf Basis der Realität (z.B. die Annahme, sich in der realen Umgebung zu befinden) mit den dazugehörigen Wahrnehmungshypothesen (z.B. die Annahme sich in einem VR-Simulator zu befinden).

Im Verlauf der Interaktion unterstützen die wahrgenommenen Informationen sowohl die eine, als auch die andere Hypothese. Spatial Presence tritt dann auf, wenn die medial vermittelte Umgebung als PERF angesehen wird. Dies geschieht durch wiederholte Verifikation des medialen ERF, sodass eine Stabilisation des Eindrucks eintritt. Wenn allerdings hinreichend Informationen wahrgenommen werden, die dem medialen vermittelten ERF widersprechen (z.B. technische Artefakte), wird die Stabilität des medienbezogenen PERF geschwächt und schließlich fallen gelassen. Die alternative Wahrnehmungshypothese (Realität als PERF) wird geprüft und verifiziert. Die Spatial-Presence-Episode ist dann entsprechend beendet.

Wirth und Kollegen (2007) argumentieren, dass der Eindruck der Nonmediation aus der allgemeinen Presence-Definition (z.B. ISPR, 2002) dafür keine Voraussetzung sei. Sie sehen diese im Gegenteil als eine mögliche Konsequenz, da ein Rezipient (unbewusst) während einer Spatial-Presence-Episode wiederholt das Medium als PERF akzeptiert. Damit wird im Verlauf der Interaktion die Authentizität der virtuellen Umgebung bekräftigt, die technische Vermittlung ist hintergründig – was sich als Eindruck einer Nonmediation zeigt.

Die Annahme der medialen Umgebung als PERF wird permanent geprüft. Dieser Prozess wird durch mediale Faktoren beeinflusst. Ein reichhaltiges SSM bildet den Grundstein für die Wahrnehmungshypothesen und liefert damit ein reichhaltiges ERF. Im Laufe der Interaktion werden dafür entsprechend weniger Stimuli benötigt, um das ERF zu verifizieren.

3.4 MEC-SPQ als Instrument zur Messung von Spatial Presence

In Kombination mit dem MEC-Modell wurde ein Fragebogen als Instrument zur Erfassung der modellierten Faktoren konstruiert (Vorderer et al., 2004; Vorderer et al., 2003). Der Fragebogen umfasst drei Varianten (Kurzversion, Standardversion und Langversion), bei dem die einzelnen Faktoren entsprechend durch vier, sechs oder acht Items repräsentiert werden.

Die Skala wurde in englischer und deutscher Sprache validiert und in Portugiesisch und Finnisch übersetzt. Dabei konnte der Fragebogen Spatial Presence valide in diversen Medien erfassen (Laarni et al., 2004; Vorderer et al., 2004) und weist eine hohe Reliabilität (Cronbachs $\alpha > .8$) auf. Die Faktoren des Fragebogens wurden jedoch nicht auf Basis von Faktoranalysen ausgewählt, sondern entsprechen den theoretischen Modellkomponenten. Böcking et al.

(2004) führten eine konfirmatorische Faktorenanalyse durch, bei der die angenommenen Basisfaktoren bestätigt wurden.

3.4.1 Bestandteile des Fragebogens

Der Fragebogen enthält acht Modellkomponenten, die als theoretische Faktoren angenommen wurden. Die Items zu den jeweiligen Faktoren sind als Statements auf einer 5-Punkte-Likert-Skala formuliert und werden komplett randomisiert dargeboten. Für die Auswertung werden Skalenmittelwerte berechnet. Die Faktoren werden dabei einzeln interpretiert, ein allgemeines Maß für Spatial Presence resultiert daraus also nicht. Eine Übersicht der Faktoren gibt Abbildung 13.

Abbildung 13. Modellfaktoren des MEC-SPQ (in Anlehnung an Vorderer, 2004).

- 1) „**Attention Allocation**“ umfasst Items, die die Aufmerksamkeit messen, die ein Proband auf die virtuelle Umgebung gerichtet hat. Beispiel-Items lauten „Das [Medium]

hat meine Sinne vereinnahmt“ und „Meine Aufmerksamkeit war vom [Medium] gefangen“.

- 2) **„Spatial Situation Model“** erfasst die Qualität bzw. Sicherheit des Nutzers über die Qualität des SSM. Beispiel-Items lauten „Ich hatte eine genaue Vorstellung von der im [Medium] dargestellten räumlichen Umgebung“ und „Ich könnte mich jetzt noch in der dargestellten räumlichen Umgebung zurechtfinden“.
- 3) **„Spatial Presence: Self Location“** umfasst Items, die den Eindruck der individuellen Verortung in der virtuellen Umgebung darstellen. Beispiel-Items sind „Ich hatte das Gefühl, mitten im Geschehen zu sein, anstatt es nur von außen zu verfolgen“ und „Ich hatte das Gefühl, dass die dargestellten Objekte mich umgeben haben“.
- 4) **„Spatial Presence: Possible Actions“** bezeichnet den Eindruck, in der VE agieren zu können. Beispiel-Items umfassen „Ich hatte den Eindruck, nach den dargestellten Objekten greifen zu können“ und „Ich hatte das Gefühl, selbst in das Geschehen eingreifen zu können“.
- 5) **„Higher Cognitive Involvement“** erfasst, wie intensiv Probanden über die virtuelle Umgebung nachgedacht haben, unabhängig von den räumlichen Eigenschaften. Beispiel-Items umfassen „Ich habe intensiv über die Bedeutung des im [Medium] Dargestellten nachgedacht“ und „Das im [Medium] Dargestellte hat meine Gedanken angeregt“.
- 6) **„Suspension of Disbelief“** erfasst, wie kritisch Probanden Fehlern und Inkonsistenzen gegenüberstanden. Beispiel-Items sind „Ich habe nicht besonders darauf geachtet, ob Fehler bzw. Widersprüche im [Medium] bestehen“ und „Für mich war es wichtig zu prüfen, ob Unstimmigkeiten im [Medium] existieren“.
- 7) **„Domain Specific Interest“** stellt das Interesse am Thema der medialen Umgebung sowie Vorwissen dar. Beispiel-Items umfassen „An dem dargestellten Thema bin ich generell interessiert“ und „Ich fühle schon seit langer Zeit eine starke Neigung zum Thema des [Medium]“.
- 8) **„Visual Spatial Imagery“** erfasst Urteile zur Fähigkeit des Probanden, mentale Bilder zu formen und visuelle Daten mental zu manipulieren. Beispiele sind „Es fällt mir leicht mir einen Raum plastisch vor Augen zu führen, ohne darin zu sein“ und „Wenn ein Bild

nur den Ausschnitt eines Raumes zeigt, kann ich mir auch den Rest des Raumes klar vorstellen“.

3.4.2 Exkurs: Alternative Erfassung von Spatial Situation Models

Spatial Situation Models sind zentrale Bestandteile des MEC-Modells. Die Erhebung von Nutzerurteilen über interne mentale Prozesse ist prinzipiell problematisch und stellt ein Problem in der Presence-Forschung dar (Slater, 2004). Das Urteilen über die Qualität des eigenen SSM ist gleichermaßen prekär: Items des Faktors machen Aussagen darüber, inwiefern die wahrgenommene Umgebung nach der Rezeption noch mental präsent ist. Ein Item gibt beispielsweise an, wie sicher sich der Proband ist, die dargestellte Umgebung auf einem Blatt Papier nachzeichnen zu können. Dieses Urteil kann (objektiv) überprüft werden, indem man die Probanden tatsächlich bittet, die wahrgenommene räumliche Umgebung zu zeichnen. Anstatt Urteilsmaße könnten daher Verhaltensmaße für das SSM herangezogen werden.

3.4.2.1 Indirekte Erfassung über Arbeitsgedächtnis und räumliches Vorstellungsvermögen

In der Literatur werden Spatial Situation Models vor allem über räumliche Fähigkeiten und das Arbeitsgedächtnis operationalisiert. Bezogen auf Baddeleys (1986) Arbeitsgedächtnismodell werden räumliche Aspekte von Situationsmodellen im „visuell-räumlichen Notizblock“ verarbeitet (Foreman & Gillett, 1998; Voyer, Voyer & Bryden, 1995).

Es existiert eine Reihe von Instrumenten, um die Qualität des räumlichen Gedächtnisses zu erfassen, z.B. der Corsi Block Tapping Task (Farrell Pagulayan, Busch, Medina, Bartok & Krikorian, 2006) oder der Pathway Span Task (Mammarella, Pazzaglia & Cornoldi, 2008). Zusätzlich finden sich zahlreiche Instrumente, um das räumliche Vorstellungsvermögen in Form von mentalen Rotationsaufgaben zu messen, z.B. der Paper Folding Test (Ekstrom, French & Harman, 1976), der Vandenberg Mental Rotation Test (Vandenberg, Kuse & Vogler, 1985) oder der Water Level Test (Piaget & Inhelder, 1956).

In Hinblick auf verschiedene Subkomponenten der räumlichen Fähigkeiten wurden zahlreiche Geschlechtsunterschiede identifiziert (Voyer et al., 1995). Studien konnten weiterhin unabhängig vom Geschlecht nachweisen, dass Personen mit geringerem räumlichen Vorstellungsvermögen beispielsweise Diagramme und Animationen schlechter verstehen (Butcher, 2006),

räumliche Beziehungen zwischen Objekten langsamer erfassen und Navigationspfade schwerer memorieren können (Hegarty, Montello, Richardson, Ishikawa & Lovelace, 2006). Diese Ergebnisse wurden mit einer schlechteren Qualität der Spatial Situation Models bei Personen mit schlechterem räumlichem Vorstellungsvermögen begründet. Die SSM wurden dabei jedoch nicht direkt gemessen, sondern nur als Erklärung herangezogen. Der Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens ist auch im MEC-Modell hinreichend in Form einer Personenvariablen modelliert.

3.4.2.2 Direkte Erfassung beim Textverstehen

Zur direkteren Messung von SSM beim Textverstehen wird ein Paradigma verwendet, bei dem Versuchspersonen einen Grundriss der räumlichen Umgebung zunächst auswendig lernen, um das für das später experimentell manipulierte Spatial Situation Model erforderliche Grundwissen zu erwerben (Haenggi, Kintsch & Gernsbacher, 1995; Morrow, Greenspan & Gordon, 1987). Erst danach beginnt das eigentliche Experiment, bei dem sich die Probanden auf Basis einer Geschichte mental durch die zuvor gelernte Umgebung bewegen. Auf Basis dieser Methode baten beispielsweise Friedman und Miyake (2000) ihre Probanden nach dem Experiment, die im Text erwähnten Objekte auf einer Karte zu platzieren. Zusätzlich zeigten Sie den Probanden bereits während des Lesens (jeweils nach Abschluss einer inhaltlichen Episode, die ca. 20 Sätze umfasst) eingezeichnete Objekte auf einer Karte und fragten, ob diese korrekt platziert waren („Spatial Probe Questions“). Dieselbe Methode fand auch in einem Experiment von Wolf, Hasebrook und Rinck (1999) Anwendung. Dort wurde jedoch zusätzlich die räumliche Distanz zwischen Objekt und Protagonist analysiert, jedoch kein Distanzeffekt auf die Objektverfügbarkeit im SSM gefunden.

Eine weitere Methode ist das nachträgliche Aufzeichnen der im Text vermittelten räumlichen Umgebung (Butcher, 2006). Die Zeichnung wird danach auf Übereinstimmungen geprüft, was jedoch auf Interpretationen des Versuchsleiters bzw. einem Kodierschema beruht.

3.4.2.3 Eigene Studie mit alternativer SSM-Erfassung

Der Autor dieser Arbeit hat eine Vorstudie ($N = 37$; $w = 19\%$; Alter $M = 24.2$, $SD = 3.6$) durchgeführt, um verschiedene alternative Erfassungsmethoden für Spatial Situation Models zum

MEC-SPQ zu untersuchen. Dafür wurde ein 2×2 Between-Subjects-Experiment mit den Faktoren Aufmerksamkeit (niedrig/hoch) und Natürlichkeit der Darstellung (niedrig/hoch) realisiert (Mohseni, Pietschmann & Liebold, accepted).

Im Experiment hatten Probanden die Aufgabe, eine virtuelle Umgebung mit verschiedenen Referenzobjekten zu explorieren. Anschließend wurde die Qualität des gebildeten SSM überprüft. Als Stimulus wurde ein Computerspiel (*The Elder Scrolls V: Skyrim*; Bethesda, 2011) eingesetzt, für das eine eigene Spielumgebung und Geschichte erstellt wurde. Die Spieler wurden dabei als königliche Gutachter auf eine Insel gesendet, die zuvor von Banditen überfallen wurde. Die Instruktion bestand darin Schäden zu begutachten, um später Bericht zu erstatten. Im Experiment starteten die Spieler am Hafen der Insel und wurden von einer computergesteuerten Figur über die gesamte Insel geführt. Dabei wurden sie von ihrem Begleiter auf Gebäude sowie deren Zustand (z.B. geplündert, zerstört oder unbeschädigt) am Wegesrand hingewiesen. Der Begleiter wurde vollständig in deutscher Sprache vertont. Das Experiment endete, sobald die Spieler den Rundgang absolviert hatten und den Bürgermeister der Insel erreichten. Der Rundgang dauerte zwischen 8-15 Minuten.

In der niedrigen Aufmerksamkeitsbedingung (UV-A1) wurden die Probanden mit einer Zweitaufgabe abgelenkt. Nach dem Banditenangriff tauchte eine Vielzahl an Ratten auf, die überall auf der Insel in den Ruinen ihr Unwesen trieben. Probanden in der niedrigen Aufmerksamkeitsbedingung hatten die Aufgabe die Ratten zu zählen, damit später die richtige Anzahl an Fallen aufgestellt werden könne. Beim Gang über die Insel war die Aufmerksamkeit der Spieler somit mehr auf die Ratten als auf die räumliche Anordnung gerichtet. Entsprechend des MEC-Modells hängt die Qualität des SSM maßgeblich von der Aufmerksamkeit ab, die den

medialen Stimuli zuteilwird. Die hohe Aufmerksamkeitsbedingung (UV-A2) hatte keine Zweit-
aufgabe.

Abbildung 14. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: niedrige Darstellungsnatürlichkeit (eigene Darstellung)

In der niedrigen Darstellungsbedingung (UV-B1) wurde die Umgebung grafisch stark reduziert angezeigt (siehe Abbildung 14). Schatten, Texturen und Lichteffekte wurden deaktiviert, so dass weniger Spatial Cues zur Konstruktion des SSM zur Verfügung standen (siehe Abbildung 14). Entsprechend des MEC-Modells resultiert dies in einem schlechteren SSM des Nutzers.

In der hohen Darstellungsbedingung (UV-B2) wurde das Spiel mit der höchsten technisch möglichen Qualität und Authentizität dargestellt (siehe Abbildung 15). Dazu wurde eine Reihe von Modifikationen herangezogen, die die Textur-, Gitternetz- und Beleuchtungsqualität verbesserten.

Abbildung 15. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: hohe Darstellungsnatürlichkeit (eigene Darstellung)

Als Instrumente wurden Verhaltensmaße herangezogen, die mit dem MEC-SPQ (Vorderer et al., 2004) verglichen wurden. Das räumliche Vorstellungsvermögen (Faktor „Visual Spatial Imagery“ beim MEC-SPQ) wurde mittels Paper Folding Test (Ekstrom et al., 1976) gemessen. Zur Erfassung des SSM wurden eigene Instrumente erstellt:

- 1) **Zeichenaufgabe 1:** Probanden wurden gebeten, die Umrisse der Insel zu zeichnen, auf der sich die Handlung abgespielt hat (Cronbachs $\alpha = .62$). Drei Codierer führten die Auswertung durch ($\kappa = .38$).
- 2) **Zeichenaufgabe 2:** Probanden wurde eine Karte mit dem Umrissen der Insel vorgelegt. Sie sollten nun den Weg einzeichnen, den der Begleiter mit ihnen ging (Cronbachs $\alpha = .38$). Drei Codierer führten die Auswertung durch ($\kappa = .64$).
- 3) **Bildrekognition:** Probanden wurden 10 Items mit je drei Screenshots der Umgebung gezeigt. Einer davon war korrekt, die anderen wurden manipuliert (z.B. Gebäude ausgetauscht, Gebäude gedreht, etc.). Die finale Skala enthielt 5 Items (Cronbachs $\alpha = .5$).
- 4) **Objektplatzierung:** Probanden wurden 10 Items mit je einem Bild eines Gebäudes gezeigt und parallel dazu eine Karte der Insel mit 41 möglichen Positionsmarkern für Gebäude vorgelegt. Sie sollten angeben, welcher der Marker für das gezeigte Gebäude steht (siehe Abbildung 17). Dabei wurde die Entfernung des angegebenen Markers

zum tatsächlichen Marker in Zentimetern auf der Karte ermittelt und als Wert verwendet. Die finale Skala enthielt 6 Items (Cronbachs $\alpha = .54$).

- 5) **Richtungsaufgabe:** Probanden wurden 7 Items mit je einem Bild eines Gebäudes gezeigt und ein Screenshot aus der Egoperspektive (siehe Abbildung 17). Sie wurden gebeten, die Richtung auf einem Kompass (16 Abstufungen) anzugeben, in der das Gebäude von der im Screenshot gezeigten Position liegt. Dabei wurden je Item zwei Punkte vergeben, wenn die Richtung korrekt angegeben wurde und ein Punkt, wenn sie eine Abweichung von einer Stufe aufwies (z.B. Süd-West oder Süd statt Süd-Süd-West). Die Aufgabe erwies sich jedoch als problematisch (Cronbachs $\alpha = .11$).

Abbildung 16. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: Beispiel Objektplatzierungsaufgabe (eigene Darstellung)

Abbildung 17. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: Beispiel Richtungsaufgabe (eigene Darstellung)

Die Aufgabentypen wurden so gestaltet, dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen. Die Reliabilitätswerte der Items erwiesen sich leider als problematisch, weshalb für den Vergleich mit den MEC-SPQ-Skalen nur Aufgabe 1, 3 und 4 herangezogen wurden. Um den Zusammenhang mit den Faktoren des MEC-SPQ zu prüfen, wurden die drei Skalen mit dem MEC-SPQ korreliert. Es konnte dabei kein konsistentes Muster über alle Versuchsbedingungen identifiziert werden, es lagen keine signifikanten Korrelationen in Bezug auf irgendeine Variable vor.

Dies erscheint zunächst verwunderlich: Items der SSM-Skala im MEC-SPQ erheben beispielsweise explizit, inwiefern sich der Proband dazu in der Lage hält, die räumliche Umgebung aus seinem Gedächtnis zu zeichnen. Aufgabe 1 und Aufgabe 2 erfordern genau dies vom Probanden und dennoch korrelieren die Skalen nicht miteinander. Hierfür können eventuelle systematische Messfehler, mögliche Konfundierungen durch verschiedene räumlichen Aufgabentypen oder die relativ kleine Stichprobe ($N = 37$) verantwortlich sein. Dennoch wecken diese Vergleiche allgemeine Skepsis gegenüber den MEC-SPQ-Skalen.

Weiterhin konnte keine signifikante Korrelation des Paper Folding Tests (räumliches Vorstellungsvermögen) und dem Faktor „Visual Spatial Imagery“ des MEC-SPQ gefunden werden. Da der Paper Folding Test nachweislich gut für die Erfassung des räumlichen Vorstellungsvermögens geeignet ist, ist eine fehlende Korrelation zum MEC-SPQ VSI ebenfalls fragwürdig.

Im Rahmen von Folgestudien sollte zukünftige Forschung an Verhaltensmaßen für Spatial Situation Models in virtuellen Umgebungen anknüpfen, um die Validität der subjektiven Maße des MEC-SPQ gegenüber tatsächlich gezeigtem Verhalten prüfen zu können.

3.5 Validität und Kritik am Modell

Nicht nur aufgrund der Prominenz seiner Autoren in der Presence-Forschung fand das MEC-Modell hohe Beachtung. Bereits während des Forschungsprojekts, aus dem das Modell hervorgegangen ist, gab es zahlreiche Validierungsstudien (Böcking et al., 2004; Vorderer et al., 2004; Vorderer et al., 2003). Gysbers, Klimmt, Hartmann, Nosper und Vorderer (2004) betrachteten den modellierten Einfluss der Anzahl von Spatial Cues auf die Qualität des SSM und Spatial Presence im Rahmen einer kleinen Studie ($N = 26$) zum Textverständnis. Dabei zeigte sich theoriekonform, dass multisensorische Stimuli ein besseres SSM zu Folge haben. Der Einfluss von Persönlichkeitsvariablen im Modell konnte durch Studien von Laarni et al. (2004), Sacau, Laarni, Ravaja und Hartmann (2005) und Wirth et al. (2012) mit verschiedenen Medien (z.B. Hypertext, Film, VR und Computerspiel) belegt werden. Mithilfe von Strukturgleichungsmodellen konnte die Struktur der verschiedenen Faktoren ebenfalls belegt werden (Hofer et al., 2012). Die Datenlage spricht für die Validität des Modells, auch wenn die meisten der hier aufgezählten Ergebnisse aus der Forschergruppe stammen, die das Modell ursprünglich entwickelt haben. Darüber hinaus wurde das Modell zur Operationalisierung von

Spatial Presence erfolgreich in unzähligen Studien eingesetzt (z.B. Balakrishnan & Sundar, 2011; Havranek, Langer, Cheetham & Jancke, 2012; Kallinen, Kallenbach & Ravaja, 2011; Weibel, Wissmath & Mast, 2011).

Im Rahmen der Fragestellung dieser Arbeit wurde auf Basis des MEC-Modells der Einfluss der Gestaltung von grafischen Benutzeroberflächen auf Spatial Presence bei Computerspielen untersucht (Pietschmann, Liebold, Valtin, Nebel, et al., 2013). Die Probanden ($N = 165$, Between-Subjects-Design) spielten das Computerspiel *The Elder Scrolls V: Skyrim* (Bethesda, 2011) mit insgesamt zwei verschiedenen Varianten an Benutzeroberflächen, die zwei konkurrierende mediale SSM darstellten. Im Ergebnis zeigten Teilnehmer in der Bedingung ohne grafische Oberfläche ein signifikant besser ausgeprägtes SSM der Spielwelt, insgesamt behinderte das GUI die Wahrscheinlichkeit von Spatial-Presence-Episoden jedoch nicht, sodass beide Experimentalgruppen vergleichbare Presence-Werte aufwiesen.

Das MEC-Modell ist theoretisch detailliert und besitzt zahlreiche Belege, die es unterstützen. Im Gegensatz zu anderen Modellen ist Presence dabei kein spontan resultierender Zustand, sondern die Konsequenz zweier Prozesse. Das Modell kann damit erklären, ob ein Medium Presence auslöst oder nicht. Die dafür entscheidenden Prozesse (Aufmerksamkeit, Spatial Situation Model des Mediums als primärer egozentrischer Referenzrahmen) sind im Detail modelliert. Presence-Brüche sind im Modell gut erklärbar, indem medienfremde Stimuli Aufmerksamkeit auf sich ziehen und damit die Kohärenz des SSM schwächen. Im Gegensatz zu anderen Modellen umfasst das MEC-Modell zudem Annahmen und Belege für den Einfluss von Personenvariablen auf den Presence-Prozess.

Trotz all dieser Stärken gibt es Unklarheiten im Modell. Zum einen suggeriert die Formulierung des Modells als Presence-Modell „in mediated environments“, dass es sich bei Spatial Presence um ein reines Medienphänomen handelt. Gerade in Bezug auf vorherige Konzeptionen und die Annahme, dass die dem Presence-Konzept zugrunde liegenden psychisch-biologischen Mechanismen als evolutionäre Muster auch in der Realität existieren (Biocca, 2003), sollte das Modell auf seine Passfähigkeit in realen Situationen geprüft werden. Nunez (2007) stellt dabei sogar fest, dass das MEC-Modell relativ problemlos auf reale Umgebungen und Stimuli anzuwenden ist, dies jedoch nirgends explizit formuliert wird. Zum anderen besitzt

das Modell mit dem MEC-SPQ einen subjektiven Fragebogen zur Erfassung der Modellfaktoren. Dabei werden die beiden Spatial-Presence-Faktoren „Possible Actions“ und „Self-Location“ getrennt voneinander und mit jeweils vier, sechs oder acht Likert-Items erfasst. Die Ausprägung der Skala wird als Mittelwert der Antworten zu den Items des Faktors gewertet. Die Skala liefert damit einen kontinuierlichen Wert. Dies steht im Widerspruch zur binären Natur von Spatial Presence im MEC-Modell, da der Zustand dann eintritt, sobald das Medium als PERF akzeptiert wird (Nunez, 2007). Ein postrezeptiver Fragebogen kann einzelne Spatial-Presence-Episoden nicht voneinander getrennt erkennen, sondern ermöglicht nur die Erfassung von Gesamturteilen über mehrere Episoden hinweg. Es wird in der Literatur zum Modell allerdings nicht darauf eingegangen, ob die Skalen Durchschnittswerte abbilden sollen. Wünschenswert wäre hingegen ein Messinstrument, das die binäre Natur des Modells abbilden kann und auch einzelne Spatial-Presence-Episoden erfasst.

3.6 Zusammenfassung: Two Step Process Model of Spatial Presence Formation

Das MEC-Modell betrachtet im Gegensatz zu vorherigen Modellen die Entstehung von Spatial Presence als zweistufigen Prozess, bei dem zuerst ein mentales räumliches Modell der Umgebung beim Rezipienten konstruiert wird. Zentrale Prädiktoren für die Qualität dieses Modells sind intentionale und reflexive Aufmerksamkeitsprozesse, die jeweils durch Charakteristika des Mediums (z.B. saliente Stimuli) oder des Nutzers selbst (z.B. domänenspezifisches Interesse am Inhalt) beeinflusst werden. Weiterhin werden Persönlichkeitseigenschaften des Nutzers und deren Einfluss auf die Prozesskomponenten betrachtet. Ein gut ausgeprägtes räumliches Vorstellungsvermögen fördert beispielsweise die Bildung eines reichhaltigen Spatial Situation Models. Im zweiten Schritt wird auf Basis des SSM das Auslösen von Spatial-Presence-Episoden modelliert. Spatial Presence wird dabei als binärer Zustand verstanden, der vorherrscht, solange der Rezipient die mediale Umgebung als primären egozentrischen Referenzrahmen (PERF) akzeptiert. Dies ist ein unbewusster Prozess, der auf der Theorie der Wahrnehmungshypothesen (THP; Bruner & Postman, 1949) beruht. Individuen konstruieren der Theorie zufolge unbewusste Erwartungshypothesen für wahrgenommene Stimuli. Diese bestehen sowohl aus Bottom-Up- als auch Top-Down-Komponenten und helfen bei der möglichst schnellen Einordnung und Verarbeitung wahrgenommener Stimuli. Egozentrische Referenzrahmen (ERF) stellen auf dieser Basis mentale Modelle der direkten wahrgenommenen

Umgebung des Nutzers dar, die durch die Erwartungshypothesen konstruiert werden. Während der Mediennutzung existieren mindestens zwei konkurrierende egozentrische Referenzrahmen: Die Wahrnehmung der Realität (z.B. die Selbstverortung an einem Schreibtisch vor einem Monitor) und die Wahrnehmung der mediatisierten Umgebung (z.B. die auf dem Bildschirm dargestellte Welt in einem Computerspiel). Spatial Presence tritt dann auf, wenn der egozentrische Referenzrahmen der medialen Umgebung durch wiederholte Hypothesenverifikation als primärer Rahmen übernommen wird. Die Spatial-Presence-Episode ist beendet, sobald widersprüchliche Stimuli das mediale ERF hinreichend schwächen, sodass die Realität als PERF übernommen wird (Break in Presence). Im zweiten Schritt betrachtet das MEC-Modell ebenfalls beeinflussende Faktoren wie die Nutzerzustände emotionales und kognitives Involvement und Suspension of Disbelief. Das Modell kann damit Spatial Presence unabhängig vom verwendeten Medium als Prozess erklären, und kombiniert dabei existierende psychologische Konzepte im Gesamtmodell.

Empirisch lässt sich das Modell mit dem dafür entwickelten MEC-Spatial Presence Questionnaire erfassen. Der Fragebogen liegt dabei in einer kurzen, mittleren und langen Version vor und wurde in unterschiedliche Sprachen übersetzt. Die Validierungsstudien wurden an der englischen und deutschen Version durchgeführt. Als subjektiver Fragebogen zur postrezeptiven Erfassung von internen Zuständen muss er sich derselben Kritik stellen, wie alle anderen subjektiven Presence-Maße zuvor (siehe 2.7.1). Gleichzeitig existiert ein konzeptioneller Widerspruch zwischen Modell und Instrument: Während das MEC-Modell von einem binären Presence-Zustand zu einem gegebenen Zeitpunkt ausgeht, erfasst der MEC-SPQ auf einer Skala Mittelwerte von jeweils vier, sechs oder acht Items für die einzelnen Faktoren. Dies resultiert in einer kontinuierlichen Skala. Die Rezipienten verbleiben während der Mediennutzung nicht permanent in einem Presence-Zustand, die Spatial-Presence-Episoden können auf unterschiedliche Weise unterbrochen werden. Eine Messung nach der Rezeption kann jedoch nur ein Gesamturteil des Probanden erwarten. Um Informationen über einzelne Spatial-Presence-Episoden zu erhalten, könnten während der Rezeption die Brüche, die zur Beendigung einer Episode geführt haben, als Onlinemaß analysiert werden. Diese Herangehensweise wird auch von Slater (2004) klar bevorzugt.

Im Rahmen einer Vorstudie untersuchte der Autor dieser Arbeit verschiedene Alternativen zur Erfassung des Spatial Situation Models. Während auch hier der MEC-SPQ auf subjektive Maße setzt, wurden Spatial Situation Models in der Vergangenheit besonders in der Leseforschung durch Verhaltensmaße bzw. Erinnerungsleistungen direkt erfasst. Die Platzierung von Objekten aus der medialen Umgebung auf einer vorgelegten Karte sowie Fragen zum räumlichen Layout während des laufenden Leseprozesses erwiesen sich dabei als gute Instrumente. Auf diesem Vorbild wurden fünf Aufgabentypen konstruiert, die das mediale Spatial Situation Model nach einem Rundgang auf einer virtuellen Insel in einem Computerspiel erfassen sollten. Probanden sollten die Umrisse der Insel sowie den von Ihnen zurückgelegten Pfad einzeichnen, Objekte aus der wahrgenommenen Umgebung auf einer Karte platzieren, gesehene Objekte der Umgebung wiedererkennen und die relative Lage von Objekten auf Basis einer gegebenen Beobachterperspektive angeben. Es handelte sich dabei um eine relativ kleine Pilotstudie, die jedoch keine Korrelation mit dem SSM-Faktor des MEC-SPQ zeigte. Dafür kommen verschiedene Ursachen in Frage, die in Folgestudien betrachtet werden müssen. Generell ist die Erstellung alternativer, direkter Instrumente zur Erfassung von Spatial Situation Models für interaktive Umgebungen ein wichtiger Schritt zum besseren Verständnis des Modells. Der MEC-SPQ stellt daher kein ideales, aber ein zweckmäßiges Instrument für das MEC-Modell dar.

Das MEC-Modell wird in dieser Arbeit als Grundgerüst für die Operationalisierung von Spatial-Presence-Erlebnissen herangezogen. Die folgenden beiden Kapitel widmen sich den medialen Eigenschaften virtueller Umgebungen, die für das Nutzererleben und Spatial Mapping essenziell sind.

4 Stereoskopie in virtuellen Umgebungen

Bereits die frühe VR-Forschung ging davon aus, dass die Kombination einer Vielzahl von angesprochenen Sinneskanälen die VR-Erlebnisse intensiviert (Cruz-Neira, Sandin & DeFanti, 1993; Pimentel & Teixeira, 1993; Steuer, 1992). Auch im MEC-Modell (Wirth et al., 2007) bereichern konsistente und kohärente multimodale sensorische Stimuli die Qualität des Spatial Situation Models, das ein Nutzer von der wahrgenommenen Umgebung mental aufbaut. Komponenten der visuellen, auditiven und somatosensorischen Wahrnehmung erschaffen ein Gefühl der Räumlichkeit. Neben der Größe des Bildes im visuellen Feld und der Bildqualität als aufmerksamkeitsinduzierende Faktoren beeinflussen die Anzahl und Qualität der Visual Spatial Cues die Konstruktion des SSM. Zusätzlich zu anderen relevanten monokularen Tiefeninformationen (siehe 3.2.2) entfällt ein Teil dieser Informationen auf binokulare Stimuli.

In Virtual-Reality-Systemen werden stereoskopische Bilder bereits seit Anfang der 1990er Jahre eingesetzt (z.B. Biocca, 1992; Steuer, 1992). Die Kosten und Dimensionen der Anlagen machten einen Einsatz im Konsumentenbereich jedoch unmöglich. In den letzten Jahren erreichte ein neuer Stereoskopie-Trend die Filmindustrie, angetrieben durch Kinofilme wie *Avatar* (Cameron, 2009). Er setzte sich bei Unterhaltungselektronik wie Fernsehern, Spielkonsolen und Desktop PCs auch in den Wohnzimmern der Konsumenten fort, brachte aber auch neue technische Herausforderungen, um die Nutzerakzeptanz zu erhöhen und Nebeneffekte zu minimieren (Kroeker, 2010; Schild, Seele & Masuch, 2011).

Nach dem Boom der letzten Jahre setzt nun jedoch langsam eine Ernüchterung ein, da die von der Industrie angekündigte Transformation der Unterhaltungsmedien durch 3D-Inhalte nur bei wenigen Nutzern dauerhaftes Interesse auslöste. Dies wird unter anderen darauf zurückgeführt, dass die aktuelle Technik nach wie vor primär auf aktive oder passive 3D-Brillen zur Rezeption zurückgreift und damit unbequeme „Werkzeuge“ erforderlich sind (Aflaki, Hannuksela, Sarbolandi & Gabbouj, 2014; Marshall, 2013; Trenholm, 2014). Der Novelty-Effekt lässt nach, und im Gegensatz zu 3D-Fernsehern sind 2013 und 2014 hochauflösende 4K-Displays die beliebtesten Branchen-Neuheiten (Morran, 2014) bei Konsumenten. Ansätze für autostereoskopische Displays machen den Einsatz von 3D-Brillen unnötig. Der große Erfolg

des Nintendo 3DS, eine mit autostereoskopischem Bildschirm ausgestattete tragbare Spielkonsole, lässt zukünftige autostereoskopische Großbild-Fernseher durchaus attraktiv erscheinen (Michel, 2014). Die derzeitigen technischen Limitationen in der Consumer-Elektronik reduzieren stereoskopische Medien oft auf reine Effekthascherei, ohne die zusätzlichen Tiefeninformationen inhaltlich geschickt einzubinden. Beispielsweise zeigten Studien zu 3D-Kinofilmen keine signifikanten Unterschiede bei Unterhaltung oder emotionaler Erregung (Rooney & Hennessy, 2013; Sobieraj, Krämer, Engler & Siebert, 2011). Auch bei stereoskopischen Computerspielen fanden Studien sehr gemischte Auswirkungen auf die User Experience, wobei positive (Rajae-Joordens, Langendijk, Wilinski & Heynderickx, 2005; Schild, LaViola & Masuch, 2014), negative (Häkkinen, Pölönen, Takatalo & Nyman, 2006) oder überhaupt keine Effekte gefunden wurden (Elson, van Looy, Vermeulen & Van den Bosch, 2012; Takatalo, Kawai, Kaistinen, Nyman & Hakkinen, 2011). Der Autor dieser Arbeit sieht die Gründe dafür vor allem im Einsatz binokularer Tiefeninformationen für Narration und Spielmechaniken der betrachteten Computerspiele. Um Stereoskopie sinnvoll zu integrieren, muss sie im Game Design und der Spielmechanik verankert werden. Vorschläge, wie dies realisiert werden kann, geben z.B. Schild und Masuch (2011). Insgesamt machen binokulare Spatial Cues nur einen sehr kleinen Teil der menschlichen Tiefenwahrnehmung aus, sodass die technischen Nachteile die inhaltlichen Vorteile oft überwiegen (z.B. Simulation Sickness oder unbequemes Tragen von Brillen). Im Rahmen von Spatial Mapping können stereoskopische Informationen hingegen sinnvoll eingesetzt werden, sofern die Interaktion des Nutzers so gestaltet wird, dass er von den zusätzlichen Tiefeninformationen tatsächlich profitiert. Dies wird anhand von Beispielen aus der VR-Forschung deutlich (Hubona, Wheeler, Shirah & Brandt, 1999).

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundzüge binokularer Tiefenwahrnehmung vorgestellt und die technische Realisierung von stereoskopischen Bildern in VR-Systemen und Unterhaltungselektronik besprochen. In einem Überblick zum Stand der Forschung zu Effekten von Stereoskopie auf Unterhaltung und Aufgabenleistung werden Befunde und Probleme diskutiert.

4.1 Binokulare Tiefenwahrnehmung

Die Tiefenwahrnehmung des Menschen dient der Abschätzung von Entfernungen unserer dreidimensionalen Umwelt. Das wahrgenommene Bild hat immer nur zwei Dimensionen – Tiefeninformationen müssen aus verfügbaren Stimuli zunächst interpretiert werden (Hoffman, D. D., 2003, S. 42). Die zweidimensionalen Abbilder auf der linken und rechten Retina unterscheiden sich jedoch aufgrund des Augenabstands. Ein betrachtetes Objekt wird aus zwei Blickwinkeln gesehen, was als Disparation bezeichnet wird (Hagendorf et al., 2011, S. 98). Beide Augen decken gemeinsam ca. 110 Grad des Sichtfeldes ab, was also dem Bereich binokularer Wahrnehmung entspricht.

Für die Tiefenwahrnehmung stehen sowohl monokulare als auch binokulare Informationen zur Verfügung. Visuelle Hinweisreize zur Einschätzung von Entfernung und Lage eines Objekts umfassen folgende Kategorien (siehe auch 3.2.2):

- 1) **Statische monokulare Hinweise:** Überlappungen und Größenverhältnisse von Objekten, Höhe im Gesichtsfeld, lineare Perspektive, atmosphärische Farbverschiebung und Texturgradienten werden in zweidimensionalen Bildern der Retina als Tiefeninformationen verarbeitet.
- 2) **Dynamische monokulare Hinweise:** Informationen auf Basis der Bewegung eines betrachteten Objekts im Sehfeld, z.B. Bewegungsparallaxe. So bewegen sich Objekte in der Nähe des Betrachters schneller als weiter entfernte Objekte.
- 3) **Binokulare Hinweise:** Bei der Akkommodation und Konvergenz werden Steuerungssignale über die Spannung bzw. Entspannung der Augenmuskulatur und die Position der Augen im Gehirn für Tiefeninformationen verarbeitet. Stereopsis ermöglicht die Verwertung der unterschiedlichen Abbilder der linken und rechten Retina.

Akkommodation beschreibt die Anpassung der Augenlinse: Weit entfernte Objekte erfordern eine dünne Linseneinstellung und die damit verbundene Verringerung der Brechkraft, nahe Objekte erfordern eine hohe Brechkraft und damit eine dickere Linse (siehe Abbildung 18). Die dafür benötigten Signale der Scharfstellung bzw. Fokussierung liefern außerdem Informationen über den Ort, an dem sich ein Objekt befindet (Hagendorf et al., 2011, S. 102).

Als Konvergenz bezeichnet man die Anpassung der Augenstellung (siehe Abbildung 19). Mit Hilfe von Konvergenz- bzw. Divergenzbewegungen fokussieren beide Augen ein Objekt. Der Winkel, in dem die Augen zueinander gedreht sind, liefert Tiefeninformationen für das Gehirn. Je weiter entfernt ein Objekt ist, desto kleiner ist der Winkel.

Abbildung 18. Akkommodation des menschlichen Auges (in Anlehnung an Hagendorf et al., 2011, S. 54)

Abbildung 19. Konvergenz des menschlichen Auges (in Anlehnung an Hagendorf et al., 2011, S. 103)

Bei der Stereopsis werden das linke und rechte Retinaabbild eines Objekts verarbeitet. Die Augen stellen sich bei der Betrachtung so ein, dass Objekte auf den Bereich des schärfsten Sehens fallen, die Fovea. Dabei erzeugt jeder Punkt im Raum genau ein Abbild auf der linken und rechten Retina. Diese Abbilder werden als korrespondierende retinale Punkte bezeichnet, wenn sie denselben Abstand von der Fovea haben.

Alle Punkte im Raum, die korrespondierende retinale Punkte erzeugen, liegen auf einem Kreis – dem sogenannten geometrischen Horopter. Alle Punkte auf diesem fiktiven Kreis haben eine Disparation von Null, sie resultieren wie der Fixationspunkt selbst in korrespondierenden Punkten auf der Retina. Objekte, die einen kleineren oder größeren Abstand vom Auge haben (also einen kleineren oder größeren Kurvenradius als der Fixationspunkt), haben eine positive bzw. negative Disparation und werden als nicht-korrespondierende retinale Punkte bezeichnet (Hagendorf et al., 2011 S.103-104). Dabei unterscheidet man gekreuzte Disparation

(Punkt liegt vor dem Horopter) und ungekreuzte Disparation (Punkt liegt hinter dem Horopter). Die Art der Disparation gibt entsprechend Informationen über die Entfernung der Objekte im Raum (siehe Abbildung 20). Liegt der Punkt zu weit vom Horopter entfernt, ist das visuelle System nicht mehr in der Lage, aus den beiden Einzelbildern ein Gesamtbild zu erzeugen. Es werden dann zwei Punkte bzw. Doppelbilder wahrgenommen. Der Bildraum, in dem mittels Stereosehen Bildinformationen kombiniert werden können, wird als Panumraum bezeichnet (Dörner, Ralf & Steinicke, 2013, S. 38).

Die verschiedenen Tiefeninformationen werden im kognitiven System kombiniert. Dazu werden die Informationen in Abhängigkeit verschiedener Bedingungen bzw. des situativen Kontextes gewichtet. Die Tiefeninformationen sind nur innerhalb bestimmter Entfernungsbereiche wirksam. So sind Akkommodation und Konvergenz aufgrund physikalischer Begrenzungen nur im Nahbereich bis etwa zwei bis drei Meter auswertbar (Hagendorf et al., 2011, S. 106), während monoskopische Informationen (z.B. Verdeckung, atmosphärische Perspektive) noch weit über 30 m verlässlich interpretiert werden können (Cutting, E. & Vishton, 1995). Hierbei spielt auch das Vorwissen über die Objekte eine Rolle. Die scheinbare Entfernung eines Objekts bestimmt entsprechend die wahrgenommene Größe. Die Berücksichtigung der Entfernung bei der Größenschätzung erfolgt unbewusst (Hagendorf et al., 2011, S. 108). Beispiele liefern verschiedene optische Illusionen, bei denen Referenzobjekte herangezogen werden.

Abbildung 20. Gekreuzte und ungekreuzte Disparation des Auges (in Anlehnung an Hagendorf et al., 2011, S. 103)

4.2 Technische Realisierung von Stereoskopie in virtuellen Umgebungen

Stereoskopie nutzt die Fähigkeit unseres Wahrnehmungsapparates aus, ein separates Bild pro Auge verarbeiten zu können. Sie befasst sich damit, dem linken und rechten Auge unterschiedliche zweidimensionale Bilder aus leicht abweichenden Blickwinkeln zu vermitteln. So können Medien binokulare Tiefeninformationen transportieren, und die Sehorgane mit virtuellen Objekten und Entfernungen täuschen. Monokulare Tiefeninformationen bleiben jeweils erhalten.

Die ersten bekannten stereoskopischen Bilder gehen auf Charles Wheatstone (1802-1875) zurück. In seiner Forschung zum räumlichen Sehen konstruierte er ein Stereoskop, das einem Betrachter mithilfe von Spiegeln zwei stereoskopische Halbbilder präsentieren konnte. In dieser Zeit wurden auch die ersten Kameras entwickelt, die mithilfe mehrerer Objektive stereoskopische Bilder aufnehmen konnten (King, 2013). Moderne Kinofilme werden mit stereoskopischen Kameras gedreht oder später in der Postproduktion digital konvertiert (Masters, 2010). Zur Darstellung stereoskopischer Bilder existieren zahlreiche Methoden wie das Anag-

lyphenverfahren (Rot-Cyan-Farbfilter), Diabetrachter oder diverse Formen von Stereogrammen (z.B. Single Image Random Dot Stereogram, Single Image Stereogram). Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf computergenerierten stereoskopischen Bildern, weshalb an dieser Stelle nur auf Display- bzw. Projektionstechniken eingegangen werden soll. Einen umfangreichen Überblick zur Geschichte der Stereoskopie geben beispielsweise Tauer (2010) oder King (2013). Die generellen Wirkprinzipien verschiedener stereoskopischer Technologien beschreiben beispielsweise Dörner, R., Broll, Grimm und Jung (2013) sehr anschaulich.

4.2.1 Aktive Stereoskopie

Die Gruppe der Verfahren aktiver Stereoskopie setzt Lichtquellen bzw. elektronische Komponenten auf Nutzerseite ein (z.B. in einer Brille), um Stereoskopie zu realisieren. Zu dieser Gruppe gehören auch 3D-Shutter-Systeme: Spezielle mit LCDs ausgestattete Brillen schalten während der Bildbetrachtung abwechselnd ein Brillenglas durchlässig bzw. undurchlässig. Das angezeigte Bild und die Brille sind synchronisiert, sodass jedem Auge gezielt ein gewünschtes Bild zugespielt werden kann (Grimm, Herold, Reiners & Cruz-Neira, 2013, S. 129). Die Wirkungsweise wird in Abbildung 21 verdeutlicht: Zum Zeitpunkt N ist das linke Brillenglas durchsichtig, die Flüssigkristalle im rechten Brillenglas sind um 90° rotiert, um das Bild zu blockieren. Zum Zeitpunkt N+1 schalten die LCDs um, das jeweils andere Glas ist nun durchlässig bzw. blockiert das Bild.

Abbildung 21. Wirkungsweise aktive Stereoskopie (Shutter-Brille; eigene Darstellung)

Bei stereoskopischer Projektion auf eine Leinwand (z.B. durch Beamer) müssen die Bilder mit höherer Bildwiederholfrequenz als vergleichbare monoskopische Bilder angezeigt werden, da jedes Auge nur jedes zweite Bild wahrnimmt. Bei zu geringen Frequenzen entsteht ein sichtbares Flimmern bzw. Flackern der Bilder. Heimkino-Systeme (z.B. DLP-Beamer) arbeiten derzeit mit 120 Hz 3D-Videosignalen (2 x 60 Hz). Bei stereoskopischer Anzeige auf PC-Monitoren müssen spezielle, 3D-taugliche Displays eingesetzt werden, da viele LCD-Flachbildschirme nur Frequenzen unter 100 Hz beherrschen. Shutter-Brillen müssen mit der Bildanzeige synchronisiert werden, um die richtigen Shutter-Intervalle zu verwenden. Meist wird dies über eine Infrarot-Steuerung (z.B. Nvidia „3D-Vision“), Bluetooth oder DLP-Link realisiert. Beim DLP-Link-Verfahren wird ein Weißblitz projiziert, der vom Betrachter jedoch nicht wahrgenommen wird (Texas Instruments, 2014).

Die Nachteile aktiver Stereoskopie ergeben sich aus der hohen erforderlichen Bildfrequenz und der Notwendigkeit einer Stromversorgung innerhalb der Brille. Dadurch sind Shutter-Brillen teurer und schwerer als Polarisationsbrillen. Vorteile des Systems sind im Gegenzug zum klassischen Polarisationsverfahren die relative Unabhängigkeit von der Kopfneigung des Betrachters, eine hohe Farbtreue und keine Einschränkungen der Bildauflösung.

4.2.2 Passive Stereoskopie

Die Gruppe der passiven Stereo-Verfahren umfasst Techniken, die sich auf die reine Auswertung von Bildinformationen beziehen. Dabei kommen diese Verfahren ohne zusätzliche elektronische Verarbeitungselemente auf Nutzerseite (z.B. in einer Brille) aus.

Beim 3D-Polarisationsverfahren werden die Bilder des Stereobildpaars mit unterschiedlich polarisiertem Licht ausgestrahlt. Beispielsweise gibt es Verfahren, bei denen die Brillen mit um jeweils 90° versetzten Polarisationsfiltern ausgestattet sind, sodass entweder linear horizontal oder vertikal polarisiertes Licht blockiert wird (siehe Abbildung 22). Im Gegensatz zur aktiven Stereoskopie durch Shutter-Brillen werden beim klassischen passiven Polarisationsverfahren beide Bilder gleichzeitig anstatt nacheinander gesendet (Grimm, Herold, Reiners, et al., 2013, S. 131). Modernere Polarisationsverfahren (z.B. RealD) setzen unterschiedlich zirkular polarisiertes Licht ein und zeigen die Bilder in sehr hoher Bildwiederholfrequenz nacheinander an.

Bei der Projektion polarisierten Lichts ist eine metallisch beschichtete Leinwand (meist Silber oder Aluminium) notwendig, die das Licht korrekt polarisiert zurückstrahlt. Dafür kommen entweder zwei Projektoren (jeweils mit Polarisationsfiltern vor den Objektiven) oder ein Projektor mit aktivem Polarisationsfilter (dieser wechselt die Polarisation der Bilder) zum Einsatz.

Abbildung 22. Wirkungsweise passive Stereoskopie (Polarisationsbrille; eigene Darstellung)

Nachteile ergeben sich in der halbierten Bildauflösung, da bei klassischer Polarisation beide Bilder gleichzeitig übertragen werden müssen. Dieser Nachteil kann durch den Einsatz mehrerer Projektoren oder einer hohen Bildwiederholfrequenz ausgeglichen werden. Ein Vorteil des Systems liegt in einer hohen Farbtreue und den leichten, günstigen Polarisationsbrillen, die passiv – also ohne Stromversorgung – auskommen.

4.2.3 Autostereoskopie

Autostereoskopische Systeme benötigen keine Hilfsmittel für die räumliche Auflösung von Einzelbildern. Mittels Parallaxbarrieren (schräg gestellte Streifenmasken bzw. Linsenraster) wird das Licht einzelner Bildpunkte in verschiedene Richtungen vor dem Bildschirm abgelenkt, sodass zwei Einzelbilder angezeigt werden können (siehe Abbildung 23). Die Bildschirmfläche wird dadurch in zwei Teilflächen verschachtelt, was zu einer Halbierung der Horizontalauflösung führt (Luk'yanitsa, 2012).

Das Wirkprinzip autostereoskopischer Single-View-Displays erfordert einen engen Betrachtungswinkel („Sweetspot“). Manche Displays erfassen die Kopfbewegungen des Nutzers mit-

tels Head-Tracking und passen die Darstellung so an, dass leichte Kopfbewegungen ausgeglichen werden können (Grimm, Herold, Reiners, et al., 2013, S. 129). Multi-View-Displays zeigen nicht nur zwei Teilbilder, sondern eine Vielzahl von Bildern. Die seitliche Bewegungsfreiheit wird dadurch erhöht, sodass auch mehrere Nutzer mit verschiedenen Betrachtungswinkeln stereoskopische Bilder wahrnehmen können.

Abbildung 23. Wirkungsweise Autostereoskopie (eigene Darstellung)

4.2.4 Head-Mounted Display

Head-Mounted-Displays (HMDs) bzw. Videobrillen sind visuelle Ausgabegeräte, die vor den Augen getragen werden (zur Historie und verschiedenen Verfahren, siehe z.B. Grimm, Herold, Reiners, et al., 2013, S. 142 ff). Im Gegensatz zu passiver und aktiver Stereoskopie werden die beiden Bilder nicht außerhalb des Geräts zur Verfügung gestellt und erst im Gerät dem korrekten Auge zugewiesen. Es kommen zwei kleine Bildschirme zum Einsatz, die direkt in der Brille zwei Stereobilder erzeugen und sie dem korrekten Auge zuführen (siehe Abbildung 24). Stereoskopische HMDs in Kombination mit Headtracking waren neben Projektionssystemen (z.B. C.A.V.E., Cruz-Neira et al., 1993) die primäre Wahl zur Darstellung von virtuellen Umgebungen in der VR-Forschung der 1990er Jahre (Barfield & Furness, 1995; Biocca & Delaney, 1995) und sind es häufig auch heute noch (Grimm, Herold, Reiners, et al., 2013).

Abbildung 24. Wirkungsweise Head-Mounted-Displays (eigene Darstellung)

HMDs können entweder halbdurchlässige Bildschirme enthalten, die Informationen z.B. für Augmented-Reality-Anwendungen parallel zu realen Stimuli anzeigen. Klassisch werden in HMDs undurchlässige Bildschirme eingesetzt, die damit ausschließlich virtuelle Stimuli anzeigen (Grimm, Herold, Reiners, et al., 2013, S. 142 ff.). Ein Vorteil von HMDs besteht darin, dass keine externen Geräte für die Projektion der Bilder eingesetzt werden müssen und dass die Bilder auch bei Bewegungen des Betrachters stets vor seinen Augen bleiben. In Folge des Stereoskopie-Trends der letzten Jahre setzte ebenfalls ein aktueller Trend für den Einsatz von HMDs im Consumer-Bereich ein (z.B. *Oculus Rift* VR-Brille).

4.2.5 Wahrnehmung stereoskopischer Bilder und Wahrnehmungsprobleme

Je nach verwendeter stereoskopischer Technologie existieren technische Herausforderungen, um eine korrekte Bildberechnung für beide Augen zur Verfügung zu stellen, z.B. die geometrische Kalibrierung der Displays, Helligkeits- und Farbkalibration und Synchronisierung der Bildströme. Das Ziel ist dabei, eine möglichst glaubwürdige Illusion einer virtuellen Umgebung zu vermitteln, anstatt nur einzelne Bilder zu präsentieren. Die menschliche Wahrnehmung wird dabei getäuscht: Das Wissen um die kognitive Verarbeitung mono- und binokularer Stimuli aus der Realität wird als Grundlage zur Generierung virtueller Stimuli herangezogen. Obwohl die Bilder auf einer meist planen Oberfläche angezeigt werden (z.B. Display, Projektion, HMD), wird Räumlichkeit simuliert. Dabei können jedoch Probleme auftreten, etwa die Wahrnehmung von Doppelbildern oder Simulationskrankheit (oder auch Cybersickness; Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993).

Die Wahrnehmung von stereoskopischen Bildern erfolgt analog zu realen dreidimensionalen Informationen. Es wird beim Betrachten eines virtuellen Objekts ein Punkt auf der Displayfläche mit den Augen fixiert. Dieser Fixationspunkt bestimmt bei realen räumlichen Informationen den Radius des Horopters, also den Kreisbogen, auf dessen räumlicher Tiefe sich der Fixationspunkt befindet. Mittels eines der genannten stereoskopischen Verfahren wird jedem Auge ein Objekt mit einer simulierten Parallaxe gezeigt. Das Objekt ist zwischen beiden Augen um einen gewissen Abstand voneinander verschoben. Dies resultiert bei realen Raumeindrücken in einer gekreuzten Disparation bei der Konvergenz der Augen. Die menschliche Wahrnehmung interpretiert beide wahrgenommenen Bilder als ein Stereobildpaar, dem kognitiven System werden Informationen über die Winkel der Disparation geliefert. Beide Bilder werden fusioniert und es entsteht der Eindruck, als würde sich das Objekt räumlich vor dem Display befinden.

In Abbildung 25 sind jeweils drei Punkte A, B und C dargestellt. Punkt B stellt den Fixationspunkt dar. Punkt A resultiert in einer gekreuzten Disparation, es entsteht der Eindruck, dass sich der Punkt vor dem Fixationspunkt befindet. Analog dazu wird die Position von Punkt C aufgrund einer ungekreuzten Disparation als hinter dem Fixationspunkt wahrgenommen.

Beim Einsatz von stereoskopischen Bildern kommen zwei gegenüber Punkt B entsprechend unterschiedlich verschobene Punkte A_R und A_L zum Einsatz, die vom Wahrnehmungsapparat zu einem virtuellen Punkt A kombiniert werden, der dann ebenfalls als vor dem Fixationspunkt B wahrgenommen wird. Analog werden die Punkte C_R und C_L zu einem virtuellen Punkt C fusioniert, der hinter dem Fixationspunkt B liegt.

Abbildung 25. Manipulation der Stereopsis durch stereoskopische Bilder (in Anlehnung an Dörner et al., 2013)

Bei stereoskopischen Verfahren kann die Parallaxe durch Manipulation des Bildmaterials beliebig verschoben werden, sodass Objekte vor oder hinter der Displayfläche dargestellt werden (Dörner, Ralf & Steinicke, 2013, S. 38-39). Probleme bei der technischen Realisierung können beispielsweise dann auftreten, wenn die beiden angezeigten Bilder auf Basis eines falschen Pupillenabstands des Betrachters generiert werden. Im Mittel beträgt dieser etwa 65mm bei Männern und 63 mm bei Frauen (Pointer, 2012). Das kognitive System ist adaptiv genug, um kleinere Abweichungen zu tolerieren. Sind diese jedoch zu groß, können Kopfschmerzen oder Übelkeit beim Betrachten auftreten. Die Krümmung des Sichtfeldes spielt ebenfalls eine Rolle. Die virtuelle Kamera kann einen anderen Öffnungswinkel als der Sichtbereich des Betrachters haben (Field of View), was zu Irritationen führen kann. Aber auch hier zeigt sich der Wahrnehmungsapparat als sehr robust und passt sich an die veränderte Perspektive schnell an (Robustheit der linearen Perspektive, z.B. Kubovy, 1986). Ein gravierenderes Problem ist jedoch das Wahrnehmen von Doppelbildern. Das tritt dann auf, wenn die beiden dargestellten Bilder außerhalb des Panumbereichs liegen, also zu weit vom Horopter entfernt sind. Der Wahrnehmungsapparat ist dann nicht mehr in der Lage, die Einzelbilder zu

fusionieren. Praktisch bedeutet dies, dass bei stereoskopischen Displays nur ein begrenzt nutzbarer Bereich für die Anordnung der Objekte vor bzw. hinter der Displayfläche zur Verfügung steht (Dörner, Ralf & Steinicke, 2013, S. 49). In Studien wurde dieser Bereich in Abhängigkeit zur Displayentfernung empirisch ermittelt (Ware, C., Gobrecht & Paton, 1998). Zudem sollte nur etwa ein Drittel des Planumbereichs dauerhaft genutzt werden, um eine zu hohe Anstrengung der Augen zu vermeiden (Percival's Zone of Comfort, z.B. Hoffman, D. M., Girshick, Akeley & Banks, 2008).

Ein weiteres Problem äußert sich im sogenannten Vergenz-Akkommodation-Konflikt (z.B. Mon-Williams & Wann, 1998). Der Betrachter fokussiert bei allen vorgestellten stereoskopischen Verfahren die Displayfläche, sodass er diese scharf wahrnehmen kann. Die Disparation der Stereobilder suggeriert Objekte vor bzw. hinter der fokussierten Ebene. Als Orientierungsreaktion auf die virtuellen Stimuli wird häufig eine Konvergenz der Augen auf den scheinbaren Abstand der virtuellen Objekte ausgelöst. Damit wird das virtuelle Objekt fixiert und soll scharf gestellt werden (Akkommodation). Da sich das virtuelle Objekt jedoch nicht wirklich vor der Bildebene befindet, erscheint es verschwommen, weil nun die Displayfläche unscharf gestellt ist. Die Informationen von Konvergenz und Akkommodation stehen im Konflikt, was im Resultat Kopfschmerzen und Unwohlsein auslösen kann (Dörner, Ralf & Steinicke, 2013, S. 52).

In vielen Studien wurden die angesprochenen Probleme untersucht und Lösungsansätze vorgestellt. Einen Überblick dazu geben beispielsweise Lambooi, Ijsselsteijn, Fortuin und Heynderickx (2009) oder Howarth (2011).

4.3 Stand der Forschung: Effekte der Stereoskopie

4.3.1 Studien im Virtual-Reality-Kontext

Erste Studien zur Wirkung stereoskopischer Darstellung virtueller Umgebungen gab es bereits in den 1990er Jahren. Die angenommenen Vorteile zusätzlicher Tiefeninformationen für die Präzision und Geschwindigkeit zu absolvierender Aufgaben in VR-Systemen wurden dabei genauso untersucht wie potenziell schädliche Einflüsse in Form von Simulation Sickness. Ein weiterer wichtiger Forschungszweig beschäftigte sich mit dem Einfluss von Head-Tracking während der VR-Nutzung (z.B. Arthur, Booth & Ware, 1993).

Zur Operationalisierung von Performance in virtuellen Umgebungen wurden unterschiedliche Tests entwickelt, die Aufgaben wie Objekterkennung, Lokomotion (Gehen und Fliegen), Objektmanipulation, Objektverfolgung und Reaktionszeiten umfassen (für eine Übersicht, siehe z.B. Lampton et al., 1994).

Häufig wurden Positionsaufgaben untersucht, bei denen ein Objekt vom Nutzer aufgehoben und an einem anderen Ort abgelegt werden muss. Eine Studie von McWhorter, Hodges und Rodriguez (1991) fand dabei zwar keine Verbesserung bei der Fehlerhäufigkeit, jedoch reduzierte die stereoskopische Darstellung die benötigte Zeit zum Greifen und Ablegen des Objekts signifikant. Ähnliche Experimente von Hirose, Hirota und Kijima (1992) sowie Richard und Coiffet (1995) zeigten dieselben Ergebnisse. Auch Barfield, Hendrix und Bystrom (1999) fanden heraus, dass die Gesamtzeit für psychomotorische Aufgaben durch eine stereoskopische Darstellung signifikant gesenkt werden kann. Die Aufgabe bestand dabei aus einem in der VR dargestellten „heißen Draht“, über den die Probanden einen virtuellen Ring bewegen mussten, ohne den Draht zu berühren.

Allerdings gibt es auch Studien, in denen Aufgaben identifiziert werden konnten, die nicht von stereoskopischer Darstellung profitieren. Hendrix und Barfield (1995) zeigten Probanden statische Bilder eines Würfels, dessen Höhe und Tiefe im Vergleich zu einem Referenzwürfel eingeschätzt werden sollten. Es gab dabei keinen signifikanten Unterschied zwischen monoskopischer und stereoskopischer Darstellung. Davis, E. T. und Hodges (1995) zeigten, dass einige Aufgabentypen nicht von Stereoskopie profitieren – besonders bei nicht-egozentrischer Blickperspektive oder fehlenden räumlichen Bezugspunkten.

In einer Studie zu Beobachterperspektive und Aufgabenperformanz in stereoskopischer HMD-Virtual-Reality entwickelten Slater, Linakis, Usoh, Kooper und Street (1996) ein durch Star Trek inspiriertes dreidimensionales Schachspiel, um die durch Stereoskopie verfügbaren Tiefeninformationen auszunutzen. Die Probanden ($N = 24$, Between-Subjects-Design) spielten das Spiel entweder in einer egozentrischen oder allozentrischen Perspektive. Presence wurde mit dem SUS-Questionnaire (Slater et al., 1994, 6 Items) erfasst, die Spielleistung wurde in Form der Anzahl korrekter Züge bei einem gestellten Schachproblem gemessen. Im Ergebnis konnte ein positiver Einfluss der egozentrischen Perspektive auf Performanz und Presence

belegt werden, aus dem die Autoren eine hohe Natürlichkeit der Umgebung und Relevanz von Stereoskopie für die gestellte Aufgabe ableiten.

In einer Studie von McMahan, Gorton, Gresock, McConnell und Bowman (2006) wurde der Einfluss von Stereoskopie und verschiedenen dreidimensionalen Interaktionstechniken auf Geschwindigkeit und Genauigkeit bei der Platzierung virtueller Objekte in einer vierseitigen C.A.V.E. untersucht. Die Versuchsteilnehmer ($N = 12$, Within-Subjects-Design) mussten 20 dreidimensionale Buchstaben im Raum greifen und auf zugehörige Zielmarker setzen. Die Zielmarker befanden sich auf einem 360° Kreis um den Nutzer herum, sodass es notwendig war, sich in der VR zu drehen. Die Interaktion erfolgte dabei mit Eingabegeräten mit je zwei, drei oder sechs Freiheitsgraden. Es wurde ein großer Effekt für die Art und Weise der Interaktionstechnik gefunden, jedoch kein Effekt für die stereoskopische Darstellung. Die Aufgabe selbst war jedoch nicht optimal gewählt, um von stereoskopischen Tiefeninformationen zu profitieren, da die VR-Umgebung neben einer Bodenfläche quasi keinerlei räumliche Informationen bereitstellte.

In einer ähnlichen Studie untersuchten Teather und Stuerzlinger (2007) die gleichen drei Interaktionstechniken (jedoch mit anderer Hardware-Realisierung). Zusätzlich wurden Stereoskopie und Headtracking als Faktoren betrachtet ($N = 12$, Within-Subjects-Design). Die Gestaltung der Aufgabe unterschied sich jedoch von McMahan et al. (2006): In einem virtuellem Raum mussten zum einen Würfel gegriffen und auf Zielmarker positioniert und zum anderen Bürostühle aus Einzelteilen zusammengesetzt werden. Im Resultat zeigte sich für die Interaktionsformen dasselbe Ergebnis: Das Gerät mit sechs Freiheitsgraden ermöglichte die geringste Zeit bei der Aufgabenlösung. Allerdings fanden Teather und Kollegen auch heraus, dass die Präzision der Aufgabenlösung signifikant durch stereoskopische Darstellung verbessert wurde.

Virtuelle Aquarien (Fish Tank VR) bezeichnen eine spezielle Anwendung von VR-Technologie, bei der die Nutzer von oben in eine Kiste oder Aquarium schauen (siehe z.B. Ware, Colin, Arthur & Booth, 1993). Mittels Headtracking wird die korrekte Perspektive berechnet und oft auch Stereoskopie eingesetzt. In einer Studie zu einem solchem Setup konnten Treadgold, Novins, Wyvill und Niven (2001) beim Einsatz von Stereoskopie eine deutliche Verbesserung der Einschätzung von Entfernungen und der Aufgabenleistung belegen. In einem aktuellen

Demonstrator zeigten Fischbach, Wiebusch, Latoschik, Bruder und Steinicke (2012) ähnliche Ergebnisse.

Lee, S. und Kim (2008) betrachteten den Einfluss von haptischem Feedback, Stereoskopie und Bildauflösung auf die Nutzerleistung bei der Teleoperation von Robotern. Bei dieser klassischen Telepresence-Aufgabenstellung wurde zusätzlich Presence in Form des SUS-Questionnaire (Slater et al., 1994) gemessen. Die Probanden ($N = 24$, Within-Subjects-Design) steuerten den Roboter mithilfe eines Desktop-PCs durch ein Labyrinth mit unterschiedlichen Hindernissen zu einem Zielpunkt, der ca. 18 Meter vom Start entfernt war. Sie sollten dabei keine Hindernisse berühren und das Ziel schnellstmöglich erreichen. Stereoskopie verbesserte sowohl den Presence-Eindruck als auch die Präzision und Schnelligkeit der Aufgabe. Einen größeren Einfluss auf die Testwerte hatte jedoch haptisches Feedback.

Banos et al. (2008) führten ein Experiment ($N = 40$, Between-Subjects-Design) zum Einfluss von Stereoskopie in Virtual Reality auf Presence und Emotionen nach der Mediennutzung durch. Als virtuelle Umgebung kam ein neutral gestalteter Park zum Einsatz, den die Nutzer durchqueren sollten um zu einem virtuellen Kino zu gelangen, um dort einen Kurzfilm anzuschauen. Die Darstellung erfolgte auf einer Projektionsleinwand und nutzte dabei passive Stereoskopie mit Polarisationsbrillen. Als Maße kamen SUS-Questionnaire (Slater et al., 1994), ITC-SOPI (Lessiter et al., 2001) sowie PANAS (Watson, D., Clark & Tellegen, 1988) und eine visuelle Analogskala zu Presence postrezeptiv zum Einsatz. Banos und Kollegen konnten jedoch keinen Einfluss von Stereoskopie auf Presence oder emotionale Befindlichkeit nach der Rezeption belegen. Sie erklärten dies vor allem damit, dass die kleine Stichprobe einen möglichen kleinen Effekt nicht aufspüren konnte, und der Einfluss von Stereoskopie im Vergleich zu anderen technischen Faktoren eher gering wäre.

Ein weiterer interessanter Ansatz für mögliche Einflüsse von Stereoskopie kommt von Ling, Brinkman, Nefs, Qu und Heynderickx (2012). In einem Experiment ($N = 86$, Within-Subjects-Design) untersuchten sie den Einfluss auf Presence, Ängstlichkeit und Cybersickness in einer virtuellen Trainingsumgebung für öffentliche Reden. Um die Trainingsumgebung möglichst wirksam zu gestalten, sollte die Situation möglichst authentisch ablaufen, um Transfereffekte aus der VR in die Realität zu ermöglichen. Ling und Kollegen erfassten neben der Herzfrequenz der Probanden auch Presence mit dem IPQ (Schubert et al., 2001) und SUS-Questionnaire

(Slater et al., 1994). Im Ergebnis zeigte sich, dass Stereoskopie Spatial Presence erwartungsgemäß positiv beeinflusst, jedoch war der Effekt dafür gering ($\eta^2 = 0.12$). Es konnte kein Einfluss auf Involvement, Herzfrequenz, Ängstlichkeit oder Cybersickness festgestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass stereoskopische Darstellung vor allem zur Verbesserung von Präzision und Geschwindigkeit bei psychomotorischen Aufgaben in VR-Umgebungen beitragen kann, wenn die zusätzlich vorhandenen Tiefeninformationen tatsächlich für die Aufgabe Vorteile bringen. Weiterhin konnten in diesem Zusammenhang positive Einflüsse auf UX-Variablen wie Presence und Involvement nachgewiesen werden. Diese Argumentation unterstützt die Annahmen dieser Arbeit zum Spatial Mapping, worauf in Kapitel 6 detailliert eingegangen wird.

Negative Einflüsse der stereoskopischen Technologien wurden vor allem in Bezug auf Kurzzeit- und Langzeitschäden der binokularen Wahrnehmung, Übelkeitsgefühle, Kopfschmerzen und Überanstrengung der Augen untersucht. Durch das physikalische Wirkprinzip stereoskopischer Bilder kann es bei der Benutzung zum Konvergenz-Akkommodation-Konflikt kommen. Studien verschiedener Hintergründe versuchen die genauen Ursachen einzugrenzen bzw. testen Lösungsansätze (Howarth, 2011; Lambooij et al., 2009; MacKenzie & Zhang, 1999; Woods, MacKenzie, Watt, Holliman & Dodgson, 2010). Den positiven Effekten stehen also immer negativen Konsequenzen der Nutzung gegenüber, sodass man nicht generell sagen kann, dass Stereoskopie in allen Fällen bei VR-Systemen bevorzugt eingesetzt werden sollte.

4.3.2 Studien im Film-Kontext

Innerhalb der Presence-Forschung wurde neben interaktiven VR-Anwendungen auch der Einfluss von stereoskopischen Bildern und Bewegtbildern auf Betrachter untersucht. In einer oft zitierten Studie untersuchten Ijsselstein, Ridder, Freeman, Avons und Bouwhuis (2001) beispielsweise den Einfluss stereoskopischer Darstellung auf Presence. In einem Within-Subjects-Design ($N = 24$) wurden Probanden Stimuli entweder in Stereo oder Mono bzw. als Bild oder Film auf einer großen Leinwand präsentiert. Als dritter Faktor (Between-Subject) wurde die Bildschirmgröße erhoben, indem die Ergebnisse der Studie mit einer Vorstudie (Freeman et al., 2000) verglichen wurden, die denselben Experimentalaufbau hatte, jedoch kleinere Computerbildschirme einsetzte. Zum Einsatz kam dabei ein kurzer Filmausschnitt (ca. 100 Sekunden) aus der subjektiven Kameraperspektive eines Rallye-Fahrers bzw. ein Einzelbild aus

demselben Video. Presence, die Illusion von Bewegung (Vektion), Simulationskrankheit und Involvement wurden während der Rezeption mittels Positionssensoren am Kopf der Probanden und nach der Rezeption mit grafischen Rating-Skalen erfasst. Stereoskopische Darstellung, der größere Bildschirm und die Filmbedingung zeigten ein höheres Maß an subjektiver Presence als die Vergleichsbedingungen. Der Effekt auf Presence war beim Filmausschnitt jedoch stärker ausgeprägt als bei Stereoskopie oder Bildschirmgröße. Einflüsse auf die Vektion und Involvement konnten nur in der Bewegtbild-Bedingung gefunden werden.

Der 3D-Trend im Kino- und Heimkinobereich führte zu einer Reihe von Medienwirkungsstudien bei Consumer-Elektronik. Sobieraj et al. (2011) führten beispielsweise ein Feldexperiment ($N = 53$, Between-Subjects-Design) in einem Kino durch, um das Nutzererleben bei der Rezeption von 2D- versus 3D-Filmen zu vergleichen. Dazu füllten Filmbesucher nach der Rezeption Fragebögen aus, die ihre emotionale Befindlichkeit (PANAS), Presence (Kim, T. & Biocca, 1997), Immersion (Jennett et al., 2008) sowie Unterhaltung und Erwartungserfüllung (eigene Skalen) erfassten. Als Ergebnis stellten Sobieraj und Kollegen fest, dass die Kinobesucher der 2D-Variante des Films signifikant höhere Werte bei Presence und Immersion zeigten als die Besucher in der 3D-Variante. Emotionen und Unterhaltung unterschieden sich jedoch nicht in beiden Bedingungen. Ein Problem der Feldstudie war allerdings, dass konfundierende Variablen der Rezeptionssituation (Sitzplatz, Einfluss durch Begleiter, Aufmerksamkeit, etc.) nicht kontrolliert werden konnten und die Ergebnisse schwer interpretierbar sind.

Rooney und Hennessy (2013) verglichen ebenfalls in einer Feldstudie ($N = 225$, Between-Subjects-Design) die Wirkung von 2D- und 3D-Versionen von Filmen an einem Kinopublikum. Dabei wurden Aufmerksamkeit, emotionale Erregung (operationalisiert mit dem Self-Assessment Manikin von Lang, P. J., 1980) und Unterhaltung postrezeptiv erfasst. Das Kinoerlebnis wurde von Zuschauern der 3D-Bedingung als natürlicher wahrgenommen. Es wurde jedoch kein Unterschied bei der emotionalen Befindlichkeit oder der Gesamtzufriedenheit bzw. Unterhaltung in beiden Bedingungen gefunden.

Auch Bombeke, Van Looy, Szmalec und Duyck (2013) untersuchten den Einfluss stereoskopischer Darstellung auf das Filmerlebnis. Im Besonderen waren sie an möglichen negativen Effekten auf visuelle und räumliche Sehleistung sowie allgemeine Aufmerksamkeitsprozesse interessiert. In einer Studie ($N = 61$, Between-Subjects-Design) wurde Probanden ein 3D-Film

(Länge ca. zwei Stunden) gezeigt. Anschließend wurden verschiedene mentale Leistungstests durchgeführt (Mental Rotation Task, Distance Estimation Task, Change Detection Task, Verbal Fluency Task, Visual Search Task). Die stereoskopische Bildpräsentation hatte jedoch bei keinen der Subtests einen Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit der Probanden.

Eine ähnliche Studie von Polonen, Jarvenpaa und Bilcu (2013) beschäftigte sich ebenfalls mit negativen Effekten von Stereoskopie auf Erwachsene und Kinder. In einem Experiment ($N = 130$, Between-Subjects-Design) schauten Probanden bis zu fünf Stunden stereoskopische Filme bzw. spielten stereoskopische Computerspiele. Gegenüber den 2D-Kontrollgruppen konnten negative Effekte in Form von Unwohlsein und Überanstrengung der Augen bei Nutzungsdauern über zwei Stunden gezeigt werden, was etwa einem längeren Kinofilm entspricht. Entgegen der Erwartungen von Polonen und Kollegen hatten Kinder besonders wenige Probleme mit der stereoskopischen Darstellung, da die negativen Effekte nur bei den Erwachsenen gefunden wurden.

Zusammenfassend lässt sich für das Filmerleben festhalten, dass die stereoskopische Präsentation keinen generellen Mehrwert in Form von Unterhaltung oder ausgelösten Emotionen mit sich bringt. Die meisten Studien dazu fanden weder positive noch negative Effekte und legen nahe, dass Stereoskopie bei der Rezeption nicht-interaktiver Medien eine sehr geringe Rolle spielt. Dies resultiert auch daraus, dass Stereoskopie im Gegensatz zu immersiver VR bei Unterhaltungselektronik und im Kino in kleinerem Maß eingesetzt wird, um negative Effekte auf jeden Fall vermeiden zu können. 3D-Effekte in Filmen nutzen oft nur eine geringe Parallaxe und damit nur wenig der technisch möglichen Tiefe, weshalb sie insgesamt auch weniger Vorteile bietet.

4.3.3 Studien im Computerspiel-Kontext

Mit dem Stereoskopie-Trend im Heimkinobereich setzten vor allem auch Hersteller von Spielkonsolen (z.B. Nintendo und Sony) und Desktop-PCs (z.B. NVIDIA) auf stereoskopische Computerspiele. Im Sinne einer maximalen Immersion sollten zusätzliche Tiefeninformationen das Spielerlebnis verbessern. Erste Studien mit 3D-Konversionen herkömmlicher Spiele widmeten sich primär negativen Effekten. So untersuchten beispielsweise Häkkinen et al. (2006) Symptome für Simulationskrankheit bei *Need for Speed Underground* (Electronic Arts Black Box,

2003). Die Probanden ($N = 20$, Within-Subjects-Design) spielten das Spiel dabei an einem (stereoskopischen) Computerbildschirm und einem HMD, jeweils in einer 2D- und 3D-Bedingung. Die schnellen Animationen im Spiel resultierten in einer deutlichen höheren Wahrscheinlichkeit von Simulationskrankheit in den 3D-Bedingungen. Es muss jedoch angemerkt werden, dass das untersuchte Spiel keineswegs für die stereoskopische Darstellung entwickelt, sondern nur konvertiert wurde.

Eine ganze Reihe von Studien widmete sich dem vermuteten positiven Einfluss auf das Spielerleben. Rajae-Joordens et al. (2005) rekrutierten erfahrene Spieler ($N = 20$, Within-Subjects-Design), und ließen diese 2 x 45 Minuten *Quake III: Arena* (id Software, 1999) spielen. Dabei wurde entweder zuerst ein mono- oder stereoskopischer Modus auf einem 20 Zoll Computerbildschirm eingesetzt. Im zweiten Teil wurde entsprechend die andere Bedingung geprüft. Als Maße wurden Hautleitfähigkeit (GSR) und Herzfrequenz während der Rezeption gemessen und anschließend mit Fragebögen Presence, Engagement und Symptome für Simulationskrankheit erfasst. Sowohl Presence als auch Engagement waren in der stereoskopischen Bedingung signifikant höher als in der monoskopischen Bedingung. Die GSR-Maße waren ebenfalls deutlich höher ausgeprägt in der 3D-Bedingung, die Probanden besaßen also eine höhere physiologische Erregung beim Spielen. Es gab keine Unterschiede in Bezug auf negative Effekte in Form von Simulationskrankheit und auch keinen Einfluss auf die Herzfrequenz. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass die stereoskopische Darstellung zu einer intensiveren, emotionaleren Rezeptionserfahrung führte. Die höhere physiologische Erregung kann jedoch auch daher stammen, dass die Probanden zwar erfahrene Computerspieler waren, und ihnen daher die 2D-Bedingung sehr vertraut war, sie aber keine oder wenig Erfahrungen mit stereoskopischen Computerspielen hatten. Die Neuartigkeit der Stimuli während des Spielens kann die höhere Erregung erklären und könnte gleichzeitig eine gesteigerte Aufmerksamkeit auf die Spielinhalte zur Folge gehabt haben. Da Aufmerksamkeitsprozesse als zentrale Bestandteile von Presence gelten (siehe 2.7.1), ist daher eine höhere Ausprägung bei den Presence-Skalen nicht verwunderlich. In einer späteren Studie untersuchten Rajae-Joordens (2008) erneut den Einfluss stereoskopischer Darstellung auf Presence und Emotionen beim Computer-

spielen mit Flachbildfernsehern (42 Zoll). Sie fanden erneut einen positiven Einfluss auf ausgelöste Emotionen und Presence während der Rezeption. 85 % der Probanden präferierten die stereoskopische Darstellung gegenüber der monoskopischen Präsentation.

In einem Between-Subjects-Experiment ($N = 91$) untersuchten Takatalo et al. (2011) den Einfluss von Stereoskopie auf die User Experience bei *Need for Speed Underground* (Electronic Arts Black Box, 2003). Als Instrument kam das speziell entwickelte PIFF² Framework der Autoren zum Einsatz, das Ansätze von Presence, Immersion und Flow kombiniert und auch qualitative Bestandteile beinhaltet. Im Gegensatz zu anderen Studien operationalisierten sie Stereoskopie in drei Stufen, um neben 2D auch eine mittlere und hohe Stereoskopie-Bedingung zu untersuchen. Die eingesetzten Grafiktreiber ermöglichten eine 3D-Konversion des Spiels mit unterschiedlicher Stärke der Tiefenwirkung. In der mittleren Bedingung wurden die Objekte nur leicht in der Tiefenebene verteilt, in der hohen Bedingung wesentlich stärker. Takatalo und Kollegen fanden keinen allgemeinen Stereoskopie-Effekt, da nur die mittlere Bedingung eine signifikante Steigerung von Presence und Immersion (nicht jedoch Flow oder Spielleistung) mit sich brachte. Bei der höchsten 3D-Bedingung traten technische Probleme in Form von Doppelbildern, und unnatürlich starker Tiefeninformationen in den Vordergrund, sodass die Probanden das Spielerlebnis insgesamt negativer bewerteten. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass Computerspiele die Technik nativ unterstützen sollten, um Konversionsartefakte zu verhindern.

In einer spiele-übergreifenden Studie ($N = 60$, Between-Subjects-Design) untersuchen auch Schild, LaViola und Masuch (2012) den Einfluss von Stereoskopie auf das Spielerleben. Die Probanden spielten eines von drei nativ für Stereoskopie ausgelegten Spielen, die von Ihnen jeweils andere Spielaufgaben verlangten. Die Spiele wurden entweder monoskopisch oder stereoskopisch präsentiert. Im Rennspiel *Blur* (Ubisoft, 2009) bewegt sich die Kamera aus einer Third-Person-Perspektive hinter dem vom Spieler gesteuerten Fahrzeug entlang der stereoskopischen Tiefenebene. Im Action-Adventure *Trine* (Frozenbyte, 2009) muss eine Spielfigur aus der Third-Person-Perspektive durch eine Spielwelt mit verschiedenen Tiefenebenen gesteuert werden. Die Kameraperspektive ist dabei fest vorgegeben. Im dritten Spiel schließlich, *James Cameron's Avatar: The Game* (Ubisoft, 2009), steuerte der Spieler seine Figur durch eine komplett freie 3D-Welt, die ihm auch erlaubt, die Kameraperspektive selbst zu

steuern. Während der Spielsitzung trugen die Probanden zusätzlich ein EEG-Messgerät (NeuroSky MindSet). Nach 15 Minuten Spielzeit füllten sie Fragebögen zum Spielerlebnis aus. Diese erfassten Presence (MEC-SPQ), allgemeines Spielerleben (Game Experience Questionnaire, GEQ) und Simulationskrankheit (SSQ). Im Ergebnis zeigte sich ein Haupteffekt für Spatial Presence und Immersion sowie Attention Allocation und Higher Cognitive Involvement. Es wurden allerdings auch signifikant höhere Werte für Simulationskrankheit gefunden, aber keine Effekte für das EEG. Im subjektiven Gesamturteil bevorzugten die Probanden dennoch die stereoskopische Variante gegenüber der monoskopischen Version.

Eine ähnliche Studie ($N = 38$, Between-Subjects-Design) von Kulshreshth, Schild und LaViola (2012) betrachtete fünf verschiedene Spiele und erfassten dafür Immersion und die Leistung im Spiel. Die untersuchten Spiele thematisierten Billard (*Hustle Kings*; VooFoo Studios, 2009), Boxen (*The Fight – Lights Out*; Coldwood Interactive, 2010), Tennis (*Virtual Tennis 4*; Sega AM3 R&D, 2011), Puzzle (*Tumble*; Supermassive Games, 2010) und das Zerstören von Blöcken (*PAIN*; Idol Minds, 2007). Insgesamt konnte ein positiver Effekt auf die Spielleistung (Geschwindigkeit bzw. Punktzahl in den jeweiligen Spielen) durch Stereoskopie gefunden werden, jedoch kein Einfluss auf die Immersion der Spieler.

Ein komplett gegensätzliches Ergebnis fanden LaViola und Litwiller (2011). In einer Studie ($N = 40$, Within-Subjects-Design) untersuchten sie fünf Spiele, die mittels 3D-Konversion stereoskopisch bzw. monoskopisch dargestellt wurden. Bei den Spielen handelte es sich um kommerziell erfolgreiche, aktuelle Titel: *Madden NFL 08* (EA Tiburon, 2007a), *Left 4 Dead* (Valve, 2008), *Resident Evil 5* (Capcom, 2009), *Flatout: Ultimate Carnage* (Bugbear Entertainment Ltd, 2007) und *Major League Baseball 2k9* (Visual Concepts Entertainment, 2009). LaViola und Litwiller erfassten einerseits Spieldaten zur Evaluation der Leistung (Genauigkeit, Zeit, Punktzahlen, etc.) und andererseits Fragebögen (Immersion Questionnaire sowie eigene Fragebögen zur Erfassung der 3D-Unterhaltung). In der Studie konnte kein Einfluss von Stereoskopie auf die Spielleistung gefunden werden, jedoch hatten die Spieler in der 3D-Bedingung die höchsten Spielspaß-Werte. Dieser Widerspruch zur Studie von Kulshreshth und Kollegen (2012) kann neben der Stichprobe auch auf die eingesetzten subjektiven Maße zurückgeführt werden, da beide Studien verschiedene Fragebögen verwendeten.

Eine Reihe von Studien fand hingegen gar keinen Einfluss von Stereoskopie auf die User Experience:

Elson et al. (2012) führten drei Experimente durch, um den Einfluss von Stereoskopie auf unterschiedliche Erlebnisvariablen (Spatial Presence, Involvement, Game Experience, Challenge, Skill, Enjoyment, positive Affect, Visual Discomfort) zu untersuchen. Im ersten Versuch ($N = 65$, Between-Subjects-Design) spielten Probanden *Sly 2: Band of Thieves* (Sucker Punch Productions, 2010), ein Action-Adventure, welches aus einer Third-Person-Perspektive gespielt wird. Das Spiel wurde jedoch nicht für Stereoskopie entwickelt, sondern nur als Konversion in 3D angezeigt. Für keine der betrachteten Variablen wurde ein Effekt beobachtet. Die zweite Studie ($N = 60$, Between-Subjects-Design) wurde mit einem Spiel durchgeführt, das Stereoskopie nativ unterstützt: *Uncharted 3: Drake's Deception* (Naughty Dog, 2011). Es konnte erneut kein Effekt für Stereoskopie gefunden werden. In der dritten Studie ($N = 38$, Within-Subjects-Design) wurde ein auf Stereoskopie ausgelegtes Spiel produziert (3D PONG), bei dem besonders viele räumliche Informationen für die Spielmechanik relevant sein sollten, da das Spiel primär auf der Tiefenebene (also in den Raum hinein) stattfindet (siehe Abbildung 26). Auch bei der dritten Studie konnte kein Einfluss stereoskopischer Darstellung auf einer der untersuchten Variablen gefunden werden. Elson und Kollegen schlussfolgerten daraus, dass die Rolle von Stereoskopie bei Computerspielen eher nebensächlich sei, und dass andere Aspekte das Spielerlebnis viel grundlegender beeinflussen (z.B. Schwierigkeit, Narration, Steuerung).

Abbildung 26. Fallstudie: 3D PONG, produziert von Spielentwickler GriN (Elson et al., 2012)

Mahoney, Oikonomou und Wilson (2011) untersuchten in einer Fallstudie den Einfluss von stereoskopischer Darstellung auf die Unterhaltung bei zwei verschiedenen Computerspielen, *Crysis* (Crytek, 2007) und *Need for Speed: Pro Street* (Electronic Arts Black Box, 2007). Dazu rekrutierten sie Studierende eines Game-Design-Studienganges im dritten Studienjahr ($N = 10$), die das Spielerlebnis beider Spiele jeweils in mono- bzw. stereoskopischer Bedingung evaluierten. Die Teilnehmer verfügten demzufolge über professionelles Wissen zur Gestaltung und Wirkung verschiedener Spielmechaniken. Der First-Person-Shooter *Crysis* wurde als immersiver und natürlicher bewertet als das Rennspiel *Need for Speed*, jedoch traten dort auch die meisten negativen Effekte in Form von Anstrengung der Augen und Unwohlsein auf. Insgesamt wurde jedoch kein Einfluss auf das Spielerlebnis bzw. die Spielmechanik oder auch auf die Leistung im Spiel festgestellt. Als Fazit empfahlen Mahoney und Kollegen, künftige Computerspiele explizit mit einer auf Stereoskopie ausgelegten Spielmechanik zu versehen, um daraus auch tatsächliche Vorteile zu erzielen.

Genau diesen Ansatz verfolgen aktuelle Fallstudien: Computerspiele profitieren nur dann von stereoskopischer Präsentation, wenn dies für den Nutzer tatsächlich handlungsrelevant wird. Schild und Masuch (2011) untersuchten existierende Ansätze zur Implementierung von Ste-

reoskopie in Computerspielen und identifizierten davon ausgehend Grundlagen eines auf Stereoskopie ausgelegten Game-Design-Prozesses. Eine Rolle spielen dabei vor allem interaktive stereoskopische Kameraeffekte, die die verfügbare Tiefe inhaltlich ausnutzen. Weiterhin beschreiben sie Gestaltungsmöglichkeiten stereoskopisch ausgerichteter Spielmechaniken (z.B. Konflikte verschiedener Tiefeninformationen, auf Tiefe ausgerichtetes Leveldesign, etc.).

Die Ansätze wurden von Schild, Seele und Masuch (2012) in einem stereoskopischen Computerspiel umgesetzt (*YouDash3D*), dessen Spielmechanik komplett auf der Tiefenebene stattfindet. Das Spiel wurde als Kinospiele konzipiert, d.h. es wird kollaborativ von mehreren Nutzern in einem Kino gespielt. Die virtuelle Szene umfasste dabei eine Darstellung des (gefilmten) Kinosaals und zusätzliche eingefügte Spielobjekte (Augmented Reality). Zwei Sitzplätze werden mithilfe von Tracking-Kameras beobachtet und ermöglichen zwei Spielern eine Teilnahme am Spiel. Das Spielziel ist dabei, ein Rennen zu gewinnen. Die Spielfiguren laufen auf einer Strecke auf den Betrachter zu, währenddessen müssen verschiedene Spielobjekte eingesammelt und der Spielgegner behindert werden (siehe Abbildung 27). Eine Nutzerstudie zum Spiel wurde bisher noch nicht veröffentlicht.

Abbildung 27. Fallstudie: *YouDash3D* (Schild, Seele, et al., 2012)

In einem anderen Demonstrator zeigten Schild et al. (2014) weitere Ansätze stereoskopischer Spielmechaniken, die in einem Spiel mit dem Titel *Deepress3D* umgesetzt wurden (siehe Abbildung 28).

Abbildung 28. Fallstudie: *Deepress3D* (Schild et al., 2014)

Das Spiel beinhaltet eine intradiegetische stereoskopische GUI, die Minimierung von monokularen Tiefeninformationen (Streichung von Texturgradienten und Schattenwürfen) und eine maximale Ausnutzung der verfügbaren Tiefenebene (Parallaxe). Im Spiel muss ein Raumschiff unter Zeitdruck durch einen dreidimensionalen Hinderniskurs gesteuert werden, ohne mit Objekten zu kollidieren. Das Spiel erlaubt dazu verschiedene Strategien: Objekte auf dem Pfade des Spielers können entweder zerstört oder umflogen werden. Weiterhin kann der Spieler das Raumschiff kurzzeitig aus dem Bildschirm bewegen und so Hindernissen komplett umgehen. Alle Spielaktionen verbrauchen ein Energiereservoir, sodass Spieler gezwungen sind, dieses durch Einsammeln von Objekten ständig wieder aufzufüllen. In einer Nutzerstudie ($N = 42$, Between-Subjects-Design) wurde das Spiel entweder in 2D oder 3D gespielt und parallel die Spielleistung erfasst (Geschwindigkeit, Anzahl der Abstürze, etc.). Postrezeptiv wurde die User Experience erfasst (Presence, SUS; Spatial Presence, MEC-SPQ; Spielerleben, GEQ; Simulationskrankheit, SSQ). Schild und Kollegen fanden keinen Unterschied bei Spielerleben, Spielleistung, Spielspaß oder Simulationskrankheit, jedoch eine deutlich höhere Presence (SUS) und Spatial Presence (MEC-SPQ) sowie ein besseres Spatial Situation Model in der 3D-Bedingung. Weiterhin konnten sie ein interessantes Phänomen beobachten: Während Spieler in der 2D-Bedingung doppelt so häufig Gegner und Objekte zerstörten, wichen Spieler in der 3D-Bedingung etwa doppelt so häufig Gegnern und Objekten aus, indem sie die volle Tiefe des Spielraums nutzten. Diese Beobachtung legt nahe, dass Spieler mit stereoskopischer

Darstellung die Umgebung des Spiels besser und schneller erfassen und zu ihrem Vorteil nutzen konnten, während Spieler in der Monoskopie-Bedingung dies nicht vermochten und stattdessen auf die Waffen des Schiffes zum Überwinden der Hindernisse zurückgriffen.

Ein weiterer Prototyp stammt von Zerebecki, Stanfield, Hogue, Kapralos und Collins (2013). Während eines iterativen Entwicklungsprozesses entwickelten sie *Z-Fighter 2.0*, ein stereoskopisches Spiel bei dem das Ziel darin besteht, ein Raumschiff über eine Spielwelt dreidimensional angeordneter Plattformen zu manövrieren (siehe Abbildung 29). Während der Entwicklung wurden die Prototypen in Nutzerstudien getestet. Dabei wurde jeweils der Einfluss der stereoskopischen Darstellung auf Spielleistung und Unterhaltung geprüft. In der ersten Studie ($N = 21$, Within-Subjects-Design) wurden *Z-Fighter* und *Trine* (Frozenbyte, 2009) eingesetzt, als Maße kamen der Game Engagement Questionnaire (Brockmyer et al., 2009) und Leistungsmaße im Spiel (z.B. Geschwindigkeit, Punktzahl) zum Einsatz. Die Autoren fanden weder bei *Trine* noch bei *Z-Fighter* einen Effekt für Stereoskopie und veränderten daraufhin einige Spielelemente ihres Prototyps. Beispielsweise wurden zusätzliche Spatial Cues in Form von Schatteneffekten und ein intradiegetisches Head-Up-Display (HUD) als GUI hinzugefügt. In der zweiten Studie ($N = 15$, Within-Subjects-Design) wurde *Z-Fighter 2.0* in stereo- und monoskopisch geprüft. Es zeigte sich ein positiver Effekt auf Spielleistung und Unterhaltung bei der stereoskopischen Bedingung. Obwohl Lerneffekte auftraten, konnte der positive Einfluss von Stereoskopie bereits bei der ersten Benutzung belegt werden.

Abbildung 29. Fallstudie: Z-Fighter 2.0 (Zerebecki et al., 2013)

Rivett und Holliman (2013) liefern ein weiteres Beispiel, bei dem ein Raumschiff durch eine Serie von Ringen gesteuert werden muss. Das Schiff bewegt sich dabei von selbst von links nach rechts auf dem Bildschirm, die Ziele befinden sich aber in verschiedenen Tiefenebenen (siehe Abbildung 30). Bei der Entwicklung des Spieles wurden monokulare Tiefeninformationen minimiert, sodass Stereopsis als wichtigste Quelle von Spatial Cues handlungsrelevant wird. Das Ziel war dabei, ein Spiel zu entwickeln, das ausschließlich stereoskopisch gespielt werden kann. In einer Within-Subjects-Studie ($N = 20$) wurde der Prototyp evaluiert. Dabei wurde die Spielleistung (in Form von einer Punktzahl) verglichen. In der 3D-Bedingung war die Leistung signifikant besser als in der 2D-Bedingung, was primär an der veränderten Schwierigkeit der Spielaufgabe liegt. Ohne binokulare Informationen war das Spiel wesentlich schwieriger, aber nicht unmöglich. Einen allgemeinen Rückschluss auf die Wirkung stereoskopischer Darstellung von Spielen kann das Beispiel zwar nicht geben (Konfundierung durch Schwierigkeit), aber es dokumentiert den Versuch, Spielmechaniken zu entwickeln, die stereoskopische Darstellung besonders gut ausnutzen.

Abbildung 30. Fallstudie: Stereoskopisches Spiel von Rivett und Holliman (2013)

Zusammenfassend lassen sich für Stereoskopie in Computerspielen verschiedene Trends festhalten: Zum einen setzen kommerzielle Spiele ähnlich wie Filme nur auf eine geringe Tiefenwirkung, nutzen also die volle Parallaxe nicht aus. Dies reduziert negative aber auch mögliche positive Auswirkungen. Weiterhin wurden häufig Spiele untersucht, die nicht nativ für stereoskopische Präsentation entwickelt wurden, sondern mittels Software in 3D konvertiert wurden. Da die zusätzlichen Informationen aus dem vorhandenen Bildmaterial interpoliert werden müssen, ist der Zugewinn gering und die Fehlerquote (z.B. Doppelbilder, falsche Tiefenebenen) hoch.

4.4 Zusammenfassung: Stereoskopie in virtuellen Umgebungen

In diesem Kapitel wurde die Funktion und Wirkweise von stereoskopischer Darstellung in virtuellen Umgebungen vorgestellt. Während Stereoskopie in Virtual-Reality-Umgebungen von Anfang an ein fester Bestandteil war, fand die Technologie erst mit einem aktuellen 3D-Trend ihren Weg in die Unterhaltungselektronik, insbesondere in der Film- und Computerspielindustrie.

Technisch wird Stereoskopie primär mit vier Verfahren realisiert: Shutter-Brillen erlauben das Betrachten von Stereobildern, indem die Brille für jedes Auge das korrekte Bild herausfiltert und das jeweils andere Auge blockiert. Dies wird mit sich in schneller Abfolge schließenden Shuttern in der Brille realisiert, sodass die doppelte Bildfrequenz für diese Technologie notwendig ist. Jedes Auge bekommt dafür ein hochaufgelöstes Bild präsentiert. Passive Stereoskopie filtert die Stereobilder mithilfe von Polarisierungstechniken. Das Licht der beiden Bilder wird dabei unterschiedlich polarisiert (z.B. horizontale und vertikale Schwingung) ausgestrahlt und von einer Brille mit Polarisationsfiltern auf das korrekte Auge geleitet. Ein großer Vorteil passiver Stereoskopie liegt daran, dass die Brillen sehr kostengünstig und leicht sind, weshalb die Technologie vor allem in Kinos eingesetzt wird. Autostereoskopische Displays fristen momentan zumindest in der Unterhaltungselektronik noch ein Schattendasein, da große autostereoskopische Displays in der Herstellung zurzeit recht kostspielig sind und der ideale Blickbereich (Sweet Spot) sehr eng gefasst ist. Einen großen Erfolg mit autostereoskopischer Technik konnte Nintendos mobile Spielkonsole 3DS einfahren. Der größte Vorteil der Technologie liegt darin, dass keine zusätzlichen Werkzeuge zur Betrachtung benötigt werden. Mit dem Abklingen des aktuellen 3D-Trends richtet die Industrie ihr Augenmerk auf autostereoskopische Fernseher, die von einigen Experten in Kombination mit 4k-Displays als der nächste große Trend angesehen werden. Head-Mounted-Displays (HMDs) oder Videobrillen stellen eine klassische stereoskopische Technik dar, mit der VR-Anlagen bereits seit Anfang der 1990er Jahren arbeiten. Das Bilderpaar wird dabei von zwei kleinen Bildschirmen in der Brille produziert und direkt auf das korrekte Auge geleitet. Es existieren zahlreiche verschiedene Ansätze für HMDs. Aktuelle Entwicklungen wie Oculus Rift kombinieren technische Errungenschaften aus dem Mobilfunkbereich (kleine, sehr hochauflösende LED-Displays) mit klassischer VR-Technologie (Trackingsensoren, etc.) und machen damit HMDs zu einer guten Alternative zu den anderen 3D-Technologien.

Allen Technologien gemein sind jedoch Wahrnehmungsprobleme, primär der Konvergenz-Akkommodation-Konflikt. Da die Displayfläche den Fokuspunkt für unsere Augen liefert, werden mittels Parallaxe dargestellte Doppelbilder vom Wahrnehmungsapparat als vor oder hinter der Display-Ebene befindlich interpretiert. Im Gegensatz zu echten dreidimensionalen Objekten wie beispielsweise auch Hologrammen ist es mit Stereoskopie nicht möglich, einen Punkt

im Vordergrund oder Hintergrund zu fokussieren. Normalerweise stellt sich der neue Fokussierungspunkt auf die Tiefenebene des betrachteten Objektes ein. Das ist aber nicht möglich, da der Fokus durch den Medieninhalt bestimmt wird und nicht durch den Nutzer. Die daraus resultierenden konfligierenden Wahrnehmungsinformationen können zur sogenannten Simulationskrankheit führen und begrenzen daher die Stärke der räumlichen Illusion, die durch Stereoskopie dargestellt werden kann.

Studien zum Einfluss von Stereoskopie auf User Experience und Aufgabenleistung in Virtual-Reality-Kontexten identifizierten unterschiedliche Aufgabentypen, bei denen binokulares Sehen vorteilhaft ist. Dies umfasst besonders egozentrisch dargestellte Perspektiven (First-Person-Perspektive) und Räume mit unterschiedlichen Bezugspunkten für die Wahrnehmung. Die Literatur berichtet insgesamt viele positive Effekte auf Presence-Erlebnisse oder die Geschwindigkeit bzw. Genauigkeit von durchzuführenden Aufgaben. Studien im Film-Kontext zeigten allgemein keinen generellen Mehrwert von Stereoskopie in Form von Unterhaltung oder ausgelösten Emotionen. Meist wurden weder negative noch positive Effekte identifiziert. Eine mögliche Erklärung liegt darin, dass Stereoskopie im Gegensatz zu immersiver VR im Kino und Heimkino im kleineren Maß eingesetzt wird, um negative Effekte auf jeden Fall zu vermeiden. Bei kommerziellen nicht-interaktiven Medien spielt Stereoskopie eine wesentlich geringere Rolle als andere Aspekte der Filmrezeption wie Narration oder Emotionen. Gemischte Ergebnisse liegen im Kontext von Computerspielen und Stereoskopie vor: Je nachdem, welche Spiele untersucht wurden, wurden positive Wirkungen oder keine Effekte beobachtet. Die Vermutung liegt nahe, dass Spiele hinsichtlich User Experience oder Unterhaltung nur dann von Stereoskopie profitieren, wenn diese für den Spieler handlungsrelevant wird. Diesem Ansatz folgend entwickelten diverse Autoren Prototypen stereoskopischer Spiele mit einer Spielmechanik, die stereoskopische Darstellung explizit bevorzugt. Es wurden dafür auch stereoskopische Game-Design-Prinzipien identifiziert, die in aktuellen Ansätzen umgesetzt werden. Die Beispiele zeigen aber auch, dass der Weg vom Proof-of-Concept bis zum kommerziellen Spiel derzeit noch lang ist. Spatial Mapping könnte einen weiteren Schritt auf diesem Weg markieren.

Neben der Darstellung virtueller Umgebungen ist die Interaktion mit der Umgebung ein wesentlicher Faktor der User Experience und Aufgabenleistung. Einige der in diesem Kapitel genannten Studien belegen bereits Einflüsse von natürlichen bzw. authentischen Eingabegeräten. Das nächste Kapitel beschäftigt sich daher mit dem Natural-Mapping-Prinzip im Kontext von virtuellen Umgebungen.

5 Natural Mapping in virtuellen Umgebungen

Neben den im letzten Kapitel vorgestellten Darstellungsmodalitäten werden Interaktionen⁷ in virtuellen Umgebungen maßgeblich durch die Eingabemöglichkeiten bestimmt. Als Grundmodell für interaktive Kommunikation mit Technik sieht die HCI-Forschung die natürliche Face-to-Face-Kommunikation mit anderen Menschen (Durlak, 1987). Die Interaktion mit virtuellen Umgebungen soll dabei auf Erfahrungen und Erwartungen des menschlichen Wahrnehmungsapparates aufbauen (Steuer, 1992). Der Interaktionsprozess selbst wird durch eine Kombination sensorischer Stimuli des Mediums, der Art und Weise der Interaktionstechniken mit der virtuellen Umgebung und der Charakteristik des Nutzers bestimmt (Steuer, 1992). Die HCI-Forschung beschäftigt sich mit Schnittstellen des Informationsaustausches zwischen dem Nutzer und den technischen Komponenten des Nutzer-Interfaces (User Interface; UI) darstellen. Das UI umfasst dabei physische (Hardware) und logische (Software) Komponenten, die sowohl die Eingabe als auch die Ausgabe von Informationen beinhalten. Ein Ziel der HCI-Forschung ist die Erstellung von selbsterklärenden, effizienten und nutzerfreundlichen Interfaces. Es existieren dabei zahlreiche Typologien und Gruppen von Interfaces, auf die an dieser Stelle nicht im Detail eingegangen werden kann (für einen exzellenten Überblick siehe z.B. Jacko, 2012). Neben klassischen grafischen Interfaces (GUI) mit WIMP-Paradigma (Windows, Icon, Menu, Pointer) werden gerade im Zusammenhang mit virtueller und augmentierter Realität natürliche Formen von Interfaces eingesetzt (NUI), etwa Sprach-, Gesten- oder Berührungssteuerung. „Natürlich“ bedeutet in diesem Kontext, dass der Nutzer nicht gezwungen wird, ein arbiträres Eingabeschema zu lernen, sondern intuitiv mit dem System interagieren kann. Tangible Interfaces (TUI) nutzen zum Beispiel real greifbare Objekte, die vom Nutzer als Stellvertreterobjekte zur Interaktion eingesetzt werden können (siehe Abbildung 31).

⁷ Zur Diskussion des Interaktionsbegriffs und seiner interdisziplinären Verwendung siehe (Bischof et al., 2013).

Abbildung 31. Graphical User Interface (GUI), Tangible User Interface (TUI) und Natural User Interface (NUI) (KDE.org/screenshots; Williams, 2007; Castle, 2009).

Interaktionen in virtuellen Umgebungen umfassen primär die Selektion und Manipulation von virtuellen Objekten sowie die Navigation innerhalb der Umgebung. Hinzu kommen Steuerbefehle zur Konfiguration und symbolischer Input, z.B. Text (Dörner, R., Geiger, Oppermann & Paelke, 2013). Je nach Art der virtuellen Umgebung bzw. der Aufgabenstellung kommen für die Realisierung der Steuerung unterschiedliche Interaktionsparadigmen zum Einsatz. Während bei der klassischen Interaktion eines Nutzers mit dem Textverarbeitungsprogramm seines Laptops wahrscheinlich primär Tastatur und Maus zum Einsatz kommen, stehen für dreidimensionale Umgebungen Interaktionstechniken zur Verfügung, die den 3D-Raum besser erfassbar machen. Dies beinhaltet beispielsweise 3D-Mäuse, Magic Wands/Flysticks oder die Erkennung von Gesten bzw. Bewegungen des kompletten Körpers des Nutzers. Da diese Geräte besonders in der VR-Forschung seit Jahrzehnten eingesetzt werden, existiert dazu ein umfangreicher Korpus an Literatur und Forschungsergebnissen (zur Übersicht siehe z.B. Bowman, Kruijff, LaViola & Poupyrev, 2004; Dörner, R., Broll, et al., 2013). Diese natürlichen Eingabemethoden stellen einen Teilbereich der Natural User Interfaces dar.

Auch in der Unterhaltungselektronik wurden in den vergangenen Jahrzehnten immer wieder Game-Controller entwickelt, um Computerspiele unterhaltsamer und realistischer zu erleben. Dies beginnt mit dem Joystick und reicht über kabelgebundene Pistolen und kabellose Musikinstrumente zu gestenbasierter bzw. Vollkörpereingabe, wie sie beispielsweise von Microsoft *Kinect* (2010) umgesetzt wird. Diese natürliche Form der Interaktion wird Natural Mapping (NM) genannt (Norman, 2013; Steuer, 1992). Im Kontext virtueller Umgebungen beschreibt NM, in welchem Umfang die dargestellten Handlungen innerhalb der virtuellen Umgebung

den physikalischen Aktionen des Nutzers entsprechen, um die gewünschte Handlung auszulösen. Natürliche oder authentische Eingabegeräte ermöglichen Nutzern demzufolge, intuitiv mit dem System zu interagieren. Studien zeigen positive Effekte von Natural Mapping auf Selbstwirksamkeitserleben, Unterhaltung, wahrgenommenen Realismus und Presence. Dies kann vor allem mit dem Zurückgreifen auf existierende mentale Modelle bzw. Schemata erklärt werden.

In diesem Kapitel wird das Natural-Mapping-Konzept zunächst auf Basis der Theorie von Norman (1988/2013) veranschaulicht. In virtuellen Umgebungen kann die Zuordnung von Aktionen zu Handlungen auf einem Kontinuum von abstrakt bis authentisch erfolgen. Der Nutzen dieser Zuordnung hängt vor allem vom vorgesehenen Anwendungskontext ab. Weiterhin wird die technische Umsetzung von NM bei Virtual-Reality-Systemen und Computerspielen thematisiert und schließlich der Forschungsstand zur Auswirkung von Natural Mapping auf die User Experience und Aufgabenleistung skizziert.

5.1 Natural Mapping im Interface-Design

Der Begriff Natural Mapping geht auf Donald Norman (1988/2013) zurück, der damit die Anordnung von Steuerelementen meint, die für den Nutzer in einem nachvollziehbaren Ursache-Wirkungs-Prinzip funktionieren. Das bedeutet, dass die Anordnung und die Beziehung zwischen Steuerelementen und deren Feedback-Informationen (z.B. Schalterposition, Leuchten, oder Einrasten) für den Nutzer intuitiv sein sollen. Eine Anordnung ist also dann natürlich, wenn die Benutzung nicht vorab gelernt werden muss, sondern auf vorhandene Wissensbestände zurückgreift (z.B. in Form mentaler Modelle, Schemata, Skripten). Dabei unterscheidet Norman (2013) verschiedene Aspekte für die Gestaltung, die das Wissen der Nutzer einbeziehen:

- 1) **Räumliche Analogien** nutzen: Der Raum der Steuerelemente sollte dem Ergebnisraum entsprechen, beispielsweise sollten Lichtschalter in derselben Reihenfolge angeordnet sein, wie die korrespondierenden Lichter.
- 2) **Kulturelle Standards** nutzen: Das Ergebnis der Manipulation eines Steuerelements folgt kulturell festgelegten Konventionen. So steht etwa das Drehen im Uhrzeigersinn für „mehr“, das Drehen entgegen des Uhrzeigersinns für „weniger“.

- 3) **Wahrnehmungseffekte** bei natürlicher Gruppierung und Mustern nutzen, sodass ähnliche Steuerelemente zusammen platziert werden, um ähnliche Funktionen zu zeigen.
- 4) **Biologische Effekte** nutzen, indem beispielsweise die Stimuli bei Zweitaufgaben dieselbe Hemisphäre im Gehirn ansprechen. Erfordert z.B. eine Aufgabe eine Reaktion mit der linken Hand, belegen Studien eine verringerte Antwortzeit, wenn der visuelle Stimulus dem linken Auge präsentiert wird als wenn derselbe Stimulus dem rechten Auge präsentiert wird (siehe z.B. Wickens, Vidulich & Sandry-Garza, 1984).

Das Zurückgreifen Normans auf kulturelle Standards ist kritisch zu betrachten. Diese können sich nicht nur stark zwischen verschiedenen Kulturen unterscheiden (z.B. asiatischer und amerikanischer oder europäischer Kultur), sondern auch bei Nutzern verschiedener Generationen unterschiedlich ausfallen.

Natural Mapping ist allerdings nur eines von fünf Gestaltungsprinzipien von Norman (2013). Sein Modell umfasst zusätzlich Sichtbarkeit (Erkennen relevanter Statusinformationen), Affordanzen (Erwartung an ein Steuerelement), Einschränkungen (Ausblenden unnötiger Informationen) und Rückmeldung (unvermittelte, eindeutige Rückmeldung auf Nutzeraktionen). In der weiteren Betrachtung wird auf die anderen Prinzipien nicht näher eingegangen, da sie sich bei verschiedenen Eingabegeräten im Sinne dieser Arbeit nicht prinzipiell unterscheiden und stets relevant sind.

Norman illustriert anhand mehrerer Beispiele, wie nutzerzentrierte Gestaltung (Human-Centered-Design; HCD) die Interaktion mit Technik im Alltag verbessern und die Benutzerfreundlichkeit erhöhen sollte. Als Beispiel für Natural Mapping bezieht er sich auf die Gestaltung von Steuerelementen für Herdplatten aus den 1960er und 1970er Jahren (z.B. Chapanis & Lindenbaum, 1959; Shinar & Acton, 1978). Die Steuerelemente der Herdplatten in Abbildung 32 auf der linken Seite entsprechen nicht der physikalischen Anordnung der Herdplatten, weshalb ein Nutzer die Beschriftung lesen oder die Anordnung lernen muss. Auf der rechten Seite wird eine räumliche Analogie verwendet und die Steuerelemente genauso wie die Herdplatten angeordnet, die Benutzung ist intuitiver.

Abbildung 32. Beispiele für die Anordnung von Steuerelementen bei Herdplatten (in Anlehnung an Norman, 1988/2013; Katalog unter gorenje.de)

Im Kontext von Computertechnik kann dieses Beispiel auf die Anordnung von Schaltflächen bei GUIs übertragen werden. In Bezug auf Eingabemethoden in virtuellen Umgebungen können verschiedene Grade von Mapping realisiert werden, die sich je nach Anwendungskontext als abstrakt oder natürlich erweisen können.

Der Vorteil von Natural Mapping liegt im Einbezug des Vorwissens der Nutzer. Nutzer konstruieren mentale Modelle als kognitive Repräsentationen der Situationen, Objekte und Ereignisse ihrer Umwelt (siehe 3.2.1). Mentale Modelle werden auf Basis direkter und medialer Erfahrung gebildet und können bei ähnlichen Situationen schneller abgerufen werden. Natural Mapping erlaubt das schnelle Zurückgreifen auf bereits vorhandene mentale Modelle, es werden also weniger kognitive Ressourcen beim Abruf in Anspruch genommen. Sie liefern Nutzern Annahmen über die Interaktion, die durch NM genutzt werden können (siehe z.B. auch Tamborini & Skalski, 2006).

5.2 Natural Mapping bei Eingabegeräten

Die Zuordnung von menschlichen Aktionen (z.B. ein Mausklick) zu Handlungen in der virtuellen Umgebung (z.B. Öffnen einer virtuellen Tür) wird als Input Mapping bezeichnet (Steuer, 1992). Das Mapping kann dabei komplett arbiträr festgelegt sein (z.B. Tastatureingabe), als Metapher realisiert (z.B. Wisch-Gesten) oder natürlich/authentisch umgesetzt werden (z.B. das Lenken eines virtuellen Fahrzeugs mit einem Lenkrad-Controller). Bei der Gestaltung der Benutzer-Interaktion muss daher entschieden werden, ob die virtuellen Handlungen abstrakt oder authentisch ausgeführt werden sollen.

Je nach Anwendungskontext liegen die Schwerpunkte dabei anders: Bei der Verwendung produktiver Software (z.B. CAD-Programme) steht die Effizienz und Genauigkeit der Eingabe im Vordergrund, bei Unterhaltungssoftware (z.B. *Wii Sports Tennis*, Nintendo, 2010) hingegen die Unterhaltung und Selbstwirksamkeit des Nutzers. Bei Trainingssoftware (z.B. von medizinischen Verfahren) könnten beispielsweise sensomotorische Transferprozesse gewünscht sein, sodass ein virtuelles Skalpell durch ein Eingabegerät simuliert wird, das sich in der Hand des Nutzers genauso anfühlt wie ein echtes Skalpell. Ein gestenbasiertes Eingabesystem entspräche zwar einem sehr hohen Natural Mapping für eine Anwendung im Kontext zum Erlernen von Zeichensprache, zur Arbeit in Tabellenkalkulationssoftware sind reale Gesten jedoch ermüdend, unpräzise und ineffizient.

5.2.1 Gesten und Bewegungsmetaphern

Es gibt zahlreiche Beispiele aus der Science Fiction, bei denen NUI zum Einsatz kommen. Im Film *Minority Report* (Spielberg, 2002) benutzt der Protagonist (Tom Cruise) ein gestenbasiertes Computersystem, um Video- und Textinformationen schnell und effizient zu durchsuchen und zu kombinieren (siehe Abbildung 33).

Abbildung 33. Gestenbasiertes NUI im Film *Minority Report* (Spielberg, 2002; Trinkle, 2014)

Das Beispiel aus dem Jahr 2002 ist eines der ersten, das Gesten- und Sprachsteuerung sowie Touchscreens in einem augenscheinlich nutzerfreundlichen System kombiniert. Der Protagonist bewegt seine Finger und das System erkennt kontextsensitiv, was der Nutzer möchte. Tom Cruise setzt dabei Gesten ein, die aus heutiger Sicht fremd wirken: Zum Zoomen platziert er eine Hand vor die andere und führt eine weite Armbewegung aus; um Dateien auszuwählen schüttelt er eine virtuelle Hand. Die eingesetzten Metaphern für Zoom und Objektauswahl wirken aufwändig und kraftraubend. Andere Gesten aus dem Film hingegen wurden bei ersten Touchscreen-Geräten in Entwicklungslaboren bereits weit vor Erscheinen des Films eingesetzt (siehe z.B. Westerman, 1999). Auch heute sind Pinch-Zoom, Rotation und Swipe Metaphern, die quasi von jedem Smartphone benutzt werden. Jaron Lanier, VR-Ingenieur und einer der Berater Spielbergs zur Gestaltung des Computersystems in *Minority Report* entwickelte später für Microsoft die Gestenerkennung der *Kinect* (Brown, C., 2013). Das gestenbasierte System im Film wurde vielfältig in der HCI-Community diskutiert (Schmitz, Endres & Butz, 2007), es gibt sogar diverse Nachbauten (z.B. Underkoffler, 2010, Feb. 12). Der Tenor der Diskussionen ist jedoch meist gleich: Auch wenn das System im Film sehr beeindruckend

wirkt, ist es für die eigentliche Aufgabe – das Durchsuchen von Datensätzen und Finden von Mustern – eigentlich komplett ungeeignet. Man stelle sich vor, ein solches System einen kompletten Arbeitstag lang bedienen zu müssen. Tom Cruise musste während des Drehs mit dem System mehrere Pausen einlegen, weil die Szenen sehr anstrengend waren (Noessel, 2013). Für die dargestellte Aufgabe erweist sich ein zweidimensionales Display und eine klassische Computermaus als wesentlich effizienter im Vergleich zum Gesten-Interface. Eine andere Aufgabe, beispielsweise die detaillierte Manipulation von mehreren Objekten in einer dreidimensionalen Szene würde die Vorteile des Systems nutzen, da die Objekte mit Gesten gegriffen und bewegt werden können. In diesem Kontext ist das Interface im Film effizienter als klassische Eingabemethoden. Damit wird schnell deutlich, wie abhängig NUI vom Einsatzkontext sind. Die Gestaltung des Interaktionsgegenstands wird erneut unter 6.2 im Kontext von Spatial Mapping thematisiert.

Shedroff und Noessel (2012) diskutieren anhand verschiedener Beispiele aus Science-Fiction-Filmen mögliche Interaktionsmetaphern für die Zukunft. Dabei vergleichen sie die Visionen Hollywoods mit real existierenden Technologien und aktuellen Trends der HCI-Forschung. Während Computersysteme in den meisten Filmen offenbar selbständig erkennen, wann der Nutzer an das System gerichtete Eingabegesten ausführt und wann die Gesten für andere bestimmt sind, ist dies bei realen Systemen meist nicht der Fall. Der Kontext von Nutzergesten muss daher vom System verstanden werden, was meist mit zusätzlichen Steuerkommandos einher geht (z.B. das Starten einer Geste durch eine dezidierte Geste, die das System adressiert oder ein Sprachbefehl). Die Autoren identifizieren sieben Gesten, die sich inzwischen im Interaktionsdesign als Standards durchgesetzt haben (S. 91 ff):

- 1) **Wave to Activate:** Eine Handbewegung über ein Kontrollelement aktiviert oder deaktiviert eine Funktion.
- 2) **Push to Move:** Kleine virtuelle Objekte werden mit den Fingern manipuliert, Handflächen und Armbewegungen werden eingesetzt, um Objekte oder Objektgruppen zu verschieben.
- 3) **Turn to Rotate:** Um ein Objekt zu drehen, werden Drehbewegungen mit der Hand ausgeführt oder das virtuelle Objekt mit beiden Händen links und rechts „gegriffen“ und die Hände in gegensätzliche Richtungen bewegt.

- 4) **Swipe to Dismiss:** Um einen Vorgang abzulehnen bzw. ein Objekt wegzuwerfen wird ein Schwung mit dem Finger oder der Hand weg vom Körper durchgeführt.
- 5) **Point to Select/Touch to Select:** Entweder wird ein Objekt ausgewählt, indem es berührt oder mit dem Zeigefinger darauf gezeigt wird.
- 6) **Extend Hand to Shoot:** Indem die Hand bzw. der vollständige Arm schnell auf ein Objekt gerichtet wird (Wurfbewegung), wird ein entferntes Objekt manipuliert (meist wird entweder ein starker von der Hand ausgehender Schub oder ein Projektil simuliert).
- 7) **Pinch and Spread to Scale:** Um ein Objekt zu vergrößern, werden zwei gegenüberliegende Kanten auseinandergezogen. Dies kann mit den Fingern (kleine Objekte) oder beiden Händen (große Objekte) geschehen. Umgekehrt wird ein Objekt durch zusammendrücken der Finger bzw. Hände verkleinert.

Allen Gesten ist gemein, dass sie starke Analogien zu intuitiven, natürlichen Bewegungen aufweisen und minimale Anstrengung erfordern. Dies ist einer der Gründe, warum sich die genannten sieben Gesten durchgesetzt haben, die beschriebenen Beispielgesten aus *Minority Report* jedoch nicht. Die Gesten beschränken sich allerdings auf eine direkte Manipulation von Objekten. Komplexe bzw. abstrakte Befehle können damit nicht umgesetzt werden, da diese nur schwer auf physikalischen Analogien aufbauen können. Für abstrakte Interaktionen werden daher zusätzlich grafische Oberflächen oder Text- bzw. Sprachbefehle benötigt.

Die von Shedroff und Noessel (2012) beschriebenen sieben Gesten stellen zwar Bewegungsmetaphern für Natural Mapping dar, können dabei aber unterschiedlich stark umgesetzt werden: Um ein Objekt zu drehen (Turn to Rotate) wird beispielsweise bei Touchscreen-Geräten wie Tablets der Bildschirm mit zwei Fingern berührt und anschließend gedreht. Dies stellt ein sehr hohes Natural Mapping z.B. für die Manipulation von Drehreglern dar, die eine ähnliche Objektgröße in der Realität aufweisen. Dieselbe Bewegung kann aber auch dafür eingesetzt werden, um beispielsweise die virtuelle Kamera in einer 3D-Umgebung zu drehen. Für diese Interaktion ist die Bewegungsmetapher weniger natürlich, da die Analogie der Objektdrehung hier wesentlich abstrakter in Form einer Perspektivenveränderung umgesetzt ist. Zusätzliche Stimuli bei der Eingabe beeinflussen die Metaphern ebenfalls hinsichtlich der Natürlichkeit.

Tangibles können als Stellvertreterobjekte bei der Turn-to-Rotate-Metapher eingesetzt werden, um den Nutzern haptische Eindrücke zu vermitteln oder eine höhere Präzision bei der Drehung zu ermöglichen. Jedoch schränkt die Form des eingesetzten Tangibles auch die möglichen Interaktionen ein.

In der Unterhaltungselektronik ermöglicht beispielsweise Microsofts *Kinect* (2010) eine Gestensteuerung der Spielkonsole. Da allerdings eine große Anzahl verschiedener Spiele damit gesteuert werden muss und diese jeweils unterschiedliche Handlungen und Interaktionen erfordern, ist die *Kinect* auf eine möglichst große Bandbreite von Bewegungen ausgelegt. Das System könnte für einen bestimmten Aufgabentyp optimiert werden, schließt dann aber gleichzeitig einen vielfältigen Einsatz aus. Im VR-Kontext ist dies weniger problematisch, da hier die Systeme meist gezielt für ein Szenario bzw. eine spezielle Anwendung hin optimiert werden. Zudem wird die Komplexität in der Unterhaltungselektronik auch zugunsten einer günstigen Herstellung und der Vermeidung kompliziert zu bedienender Hardware verringert.

5.2.2 Natural-Mapping-Typologie (Skalski et al., 2010)

Wie bereits am Beispiel expliziert wurde, kann die Zuordnung von Nutzeraktionen und Handlungen in der virtuellen Umgebung unterschiedlich umgesetzt werden. Das Kontinuum dafür reicht von arbiträren bis natürlichen Zuordnungen. Ein arbiträres Mapping wäre beispielsweise die Zuordnung von zu betätigenden Tasten einer Computertastatur, um Bewegungen in einer virtuellen Umgebung zu realisieren. Die Taste „A“ könnte für eine Bewegung nach rechts, die Taste „B“ für eine Bewegung nach links belegt sein. Natürlicher ist es bereits, wenn dafür ein Gamepad mit einem direktionalen Steuerkreuz eingesetzt wird. Hier bedeutet ein Tastendruck auf den linken Teil des Steuerkreuzes eine Bewegung nach links und ein Tastendruck auf den rechten Teil eine Bewegung nach rechts. Weiterhin könnte aber auch eine Kamera die Bewegungen des Nutzers erfassen. Geht er einen Schritt nach links, bewegt er sich in der virtuellen Umgebung auch nach links, geht er nach rechts, bewegt er sich nach rechts.

Skalski, Tamborini, Shelton, Buncher und Lindmark (2011) stellen eine Typologie für Natural Mapping vor. Sie unterscheiden zwischen vier Kategorien innerhalb des Kontinuums möglicher Zuordnungen (S. 227ff):

- 1) **Directional Natural Mapping:** Korrespondenz der Richtungen und Anordnungen, beispielsweise Pfeiltasten auf der Tastatur oder direktionales Steuerkreuz auf einem Gamepad zur Bewegung innerhalb virtueller Umgebungen
- 2) **Kinesic Natural Mapping:** Korrespondenz von Bewegungen und Gesten ohne den Einsatz von Stellvertreterobjekten, beispielsweise das Spielen einer virtuellen Gitarre in Form einer Luftgitarre
- 3) **Incomplete Tangible Natural Mapping:** Generisches Stellvertreterobjekt zur Präzisionssteigerung mit Verfügbarkeit von haptischem Feedback, beispielsweise Nintendo *Wii Controller* als Tangible für Tennis- oder Baseballschläger, aber auch als Pistole, Bogen, Lenkrad etc.
- 4) **Realistic Tangible Natural Mapping:** Spezifisches Stellvertreterobjekt, das in Form und Funktion dem Originalobjekt möglichst nah ist, beispielsweise Lenkräder für virtuelle Fahrzeugsteuerung oder Golfschläger für virtuelles Golfen.

Die vier Kategorien der Typologie sind in Abbildung 34 mit Beispielen aus der Unterhaltungselektronik dargestellt.

Abbildung 34. Beispiele aus Unterhaltungselektronik für Natural Mapping auf Basis der Typologie von Skalski et al. (2011)

Seit den ersten Computerspiel-Controllern aus *Pong* (Alcron, 1972) wurden Dutzende Varianten verschiedenartiger Eingabegeräte für Computerspiele entwickelt. Das Ziel war dabei oft, das Spielerlebnis unterhaltsamer und realistischer zu gestalten (Witzmann, 2007). Neben dem Joystick hat sich dabei das Gamepad als Standard durchgesetzt, um effizient und präzise mit der Spielwelt interagieren zu können. Mit der Veröffentlichung von Nintendos *Wii* (2006) und

Microsofts *Kinect* (2010) sowie Sonys *Move* (2010) erreichten Natural Mapping Controller endgültig den Massenmarkt. Einen Überblick zur Geschichte und zum Einsatz von Game Controllern geben beispielsweise Witzmann (2007) oder Forster (2004).

In der VR-Forschung werden verschiedene Eingabegeräte zur Interaktion in dreidimensionalen virtuellen Umgebungen bereits seit Jahrzehnten eingesetzt. Dabei finden auch Prinzipien des Natural Mapping Anwendung.

5.2.3 Technische Realisierung von Natural Mapping

Aufgrund einer schier unendlichen Anzahl verschiedener Hard- und Softwarekombinationen existiert für VR-Systeme kein Standard wie bei klassischen zweidimensionalen Benutzer-Interfaces. Während zwar oft an bekannte Interaktionsmuster angeknüpft wurde, entstanden zahlreiche neue Interaktionstechniken im VR-Kontext. Dabei wurden entweder natürliche oder magische Interaktionen umgesetzt (Dörner, R., Geiger, et al., 2013, S. 159). Magische Interaktionen bezeichnen Handlungen, die der Realität unmöglich sind – beispielsweise Teleportation oder Telekinese. Im Gegensatz zu natürlichen verleihen magische Interaktionen zusätzliche Fähigkeiten und erweitern damit die Interaktionsmöglichkeiten. Ansätze mit natürlicher Interaktionen hingegen erstreben eine detailgetreue Replikation realer Interaktionen. Dörner, R., Geiger, et al. (2013) gehen detailliert auf die Rolle von natürlichen Interaktionen bei den vier Hauptaufgaben Selektion, Manipulation, Navigation und Systemsteuerung ein und beschreiben, welche Interaktionstechniken dabei eingesetzt werden können.

Bei der technischen Umsetzung dieser Interaktionen spielen verschiedene Faktoren eine Rolle (siehe Grimm, Herold, Hummel & Broll, 2013). Zum einen können die Eingabegeräte hinsichtlich ihrer Genauigkeit (z.B. grob oder fein) oder ihrer Reichweite (Handbereich, Armlänge, Körpererfassung) unterschieden werden. Zum anderen kann eine Klassifizierung hinsichtlich diskreter (Event-basierte Auflösung) oder kontinuierlicher Eingabe erfolgen (zeitbasierte Auflösung). Zusätzlich kann ein System absolute oder relative Koordinaten erzeugen oder hinsichtlich des physikalischen Mediums unterschieden werden, das zur Bestimmung verwendet wird (z.B. Infrarot, Schallwellen, Magnetfelder, etc.).

Natürliche Interaktionen können entweder kontinuierlich erfasst werden, oder es werden Teile einer Bewegung als einzelne Gesten identifiziert, bei dem das System entsprechend auf

die Gesten reagiert. Dabei ist das Verfolgen bzw. Tracking von Position und Orientierung des Eingabegeräts⁸ erforderlich. Die Bewegung des Eingabegeräts wird als Translation und Rotation im dreidimensionalen Raum erfasst und kann in einem Koordinatensystem mit drei senkrecht aufeinander stehenden Achsen ausgedrückt werden. Dazu wird die Bewegung durch die Angabe von sechs Werten (drei Positionen: X, Y, Z; drei Winkel zur Beschreibung der Orientierung) zu jedem Messzeitpunkt spezifiziert. Diese voneinander unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten werden als Freiheitsgrade (Degrees of Freedom; DOF) bezeichnet (Grimm, Herold, Hummel, et al., 2013, S.98-99). Die Erfassung von Position und Orientierung erfordert also ein Eingabegerät mit sechs DOF (siehe Abbildung 35).

Abbildung 35. *Wii Remote mit sechs Freiheitsgraden (WiiMote Physics, 2010)*

Mittels Tracking werden im Idealfall für alle relevanten Objekte sechs Freiheitsgrade erfasst und verarbeitet. Die Wiederholrate bzw. Auflösung der Erfassung und Genauigkeit der Sen-

⁸ Als „Eingabegerät“ sei hier sowohl ein technisches Gerät (z.B. Flystick), als auch Hand, Kopf oder der komplette Körper des Nutzers verstanden.

soren spielt dabei eine zusätzliche Rolle. Für eine Form des optischen Trackings werden beispielsweise Marker (auch Targets genannt) eingesetzt, die im Videostrom gut erkennbar sind (aufgrund von Form oder Farbe). Mehrere Marker sind notwendig, um neben der Position eines Objekts auch dessen Orientierung zu erfassen. Um den Erfassungsraum gut auszuleuchten, werden oft Infrarotstrahler verwendet, da diese vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden. Abbildung 36 zeigt eine Infrarotkamera, die das von Objektmarkern reflektierte Infrarotlicht erfasst sowie eine mit Markern ausgestattete 3D-Brille.

Abbildung 36. Infrarot-Tracking mit ARTrack und Trackingobjekt mit fünf Markern (eigene Darstellung)

Markerlose Verfahren ermöglichen die Extraktion von Informationen aus Kanten, Ecken, Bewegungen oder Farben im Bild. Die Kinect ist ein Beispiel für eine Kombination von Farb- und Tiefenkameras (RGBD). Das Gerät projiziert ein Infrarot-Muster in den Raum und bestimmt die Laufzeit des reflektierten Lichts, um eine Tiefenerkennung durchzuführen (Grimm, Herold, Hummel, et al., 2013, S. 107).

Ein weiteres Tracking-Verfahren ist beispielsweise das elektromagnetische Tracking, bei dem Änderungen eines erzeugten Magnetfelds in Senserspulen erfasst werden. Ein großer Vorteil gegenüber optischem Tracking ist es, dass Verdeckungen durch den Nutzer oder andere Objekte unproblematisch sind. Als Nachteil erfordern elektromagnetische Trackingsysteme, dass keine anderen Magnetfelder die Erfassung stören (Grimm, Herold, Hummel, et al., 2013, S. 112).

Beschleunigungs- oder auch Inertialsensoren erfassen die Beschleunigung entlang einer Achse bzw. die Winkelbeschleunigung um eine Achse. Geräte mit drei orthogonal zueinander

verbauten Sensoren ermöglichen eine 6-DOF-Erfassung (Grimm, Herold, Hummel, et al., 2013, S. 113).

Eingabegeräte wie die Wii Remote kombinieren verschiedene Tracking-Verfahren. Sie verfügt nicht über Marker, sondern enthält einen Infrarotsensor, der die Position des Eingabegeräts bestimmt. Mithilfe von Beschleunigungssensoren und einem Gyroskop werden die Lage im Raum und die Bewegungen bzw. deren Geschwindigkeit gemessen und mit den anderen Lageinformationen kombiniert. Der Controller sendet die bereits verbundenen Daten zurück an die Spielkonsole, wo sie verarbeitet werden (WiiMote Physics, 2010).

Neben optischen Tracking-Verfahren kommt eine Vielzahl von mechanischen Eingabegeräten zum Einsatz, die sich ebenfalls im Natural-Mapping-Kontinuum befinden. Als einfachstes Gerät dieser Art ist die 3D-Maus anzusehen (Abbildung 37). Als indirektes Eingabegerät ermöglicht sie eine hohe Präzision und die Steuerung von 6-DOF. Mechanische Geräte können durch zusätzliches haptisches Feedback darüber hinaus Informationen über das Gewicht und die Textur von Objekten vermitteln. Novints *Falcon* (Novint, 2012) beispielsweise verfügt eine mit Greifarmen verbundene Kugel, die dem Nutzer als Steuereinheit dient. Die Messung der Eingabe erfolgt mittels Winkelberechnungen an den Gelenken bzw. Rollen im Gerät. Mithilfe von Motoren werden die Greifarme so verändert, dass Widerstände bei der Bewegung entstehen. Dieser Widerstand kann für das Ertasten von Oberflächen benutzt werden (Abbildung 37).

Abbildung 37. 3D-Maus 3DConnexion SpaceMouse Pro (3Dconnexion, 2012) und Novint Falcon (Novint, 2012)

Ein anderer Ansatz ist mit Bewegungsplattformen möglich. Sie erlauben dem Nutzer, natürliche physikalische Laufbewegungen durchzuführen, ohne nach wenigen Schritten bereits den

Rand des möglichen Interaktionsbereichs zu erreichen (Lokomotion). Die meisten Ansätze basieren auf Laufbändern (englisch: Treadmill), die dafür sorgen, dass der Nutzer sich zwar physisch bewegen kann, den Interaktionsbereich aber nicht verlässt. Um Schrittbewegungen in mehrere Richtungen zu ermöglichen, werden omnidirektionale Laufbänder eingesetzt (z.B. Darken, Cockayne & Carmein, 1997). Bei diesem Ansatz werden kleine Laufbänder für die Bewegung auf einer Richtungsachse auf einem großen Laufband mit einer anderen Bewegungsachse angebracht. Mithilfe der Erfassung der Nutzerbewegungen werden die Laufbänder so gesteuert, dass der Nutzer sich immer in der Mitte befindet. Wenn dieser ein HMD trägt um die virtuelle Umgebung zu sehen, kann er sich in dieser quasi endlos in alle Richtungen bewegen.

Wahrnehmungssillusionen werden eingesetzt, um auch ohne derartige Laufbänder den verfügbaren Interaktionsraum zu erhöhen. Unter dem Stichwort „Redirected Walking“ gibt es dazu verschiedene Ansätze: So kann beispielsweise der Nutzer in der Realität eine langgezogene Kurve gehen, die ihm in der virtuellen Umgebung jedoch als gerade Strecke angezeigt wird (Curvature Gain). Der Nutzer hat hingegen die Illusion, geradeaus zu laufen, wenn die Kurve einen Radius von mindestens 23 Metern aufweist (Steinicke & Bruder, 2013). Eine Skalierung der Bewegungen (Translation Gain) ermöglicht zudem die Exploration eines größeren virtuellen Raumes, da kleine physikalische Bewegungen in größeren virtuellen Bewegungen resultieren. Eine weitere Methode ist eine andere Zuordnung von Drehungen innerhalb der virtuellen Umgebung (Rotation Gain). Die Umgebung ist dabei so gestaltet, dass der Nutzer eine physikalische 180°-Drehung vollzieht, aber beispielsweise nur eine 90°-Drehung oder aber eine 360°-Drehung wahrnimmt (Steinicke, Bruder, Jerald, Frenz & Lappe, 2010). Dieses „Remapping“ der virtuellen Umgebung erlaubt es, auch in kleinen Laborräumen weitläufige virtuelle Umgebungen natürlich erlaufen zu können. In einem Beispiel zeigten Engel, Curio, Tcheang, Mohler und Bühlhoff (2008) ihren Probanden eine virtuelle Einkaufspassage, die es zu explorieren galt. Dabei sollten die Nutzer jeweils ein Schaufenster auf beiden Straßenseiten näher anschauen und darauf zugehen. Der gelaufene Pfad wurde in virtueller Umgebung gerade dargestellt. Die physikalischen Laufbewegungen waren jedoch komprimiert und verkrümmt, sodass die gerade Strecke von etwa 20 Metern in einem zwölf Meter langen Laborraum durchgeführt werden konnte (siehe Abbildung 38).

Abbildung 38. Redirected Walking am Beispiel des virtuellen Tübingens von Engel et al. (2008).

Für einen Überblick zur Realisierung von Lokomotion in virtuellen Umgebungen und zu technischen Realisierungsansätzen siehe beispielsweise Steinicke, Visell, Campos und Lécuyer (2013).

5.3 Stand der Forschung: Effekte von Natural Mapping

Die theoretische Wirksamkeit von Natural Mapping in Bezug auf Performance und User Experience wurde vielfach empirisch überprüft. Dabei kamen unterschiedliche Kombinationen von NM-Eingabegeräten und Nutzeraufgaben zum Einsatz.

5.3.1 Studien im Virtual-Reality-Kontext

Im Virtual-Reality-Kontext steht die Effizienz und Performance von Aufgaben im Vordergrund. In Hinblick auf gewünschte Transfereffekte wird NM beispielsweise für virtuelles Training oder Therapien (z.B. Rehabilitation oder Konfrontationstherapien bei Phobien) eingesetzt. Dafür kommen möglichst authentische Simulationen zum Einsatz, bei denen NM eingesetzt werden kann. Oft werden in diesem Bereich zwar Nutzerstudien durchgeführt, jedoch keine Bedingungsmanipulation mit den Eingabegeräten im Sinne psychologischer Experimente realisiert. Die intensivste Beschäftigung mit allgemeinen Simulatoren bzw. VR-Simulatoren fand in den vergangenen Dekaden im militärischen Bereich statt (Satava, 2008; Schmitt, Agarwal & Prestigiacomio, 2012).

Stellvertretend soll ein Beispiel für Simulatoren mit authentischen Eingabegeräten aus der Medizin betrachtet werden: Proctor und Campbell-Wynn (2014) zeigten in einer aktuellen Studie die Effektivität von VR-Simulatoren im Vergleich zu herkömmlichen medizinischen

Mannequins. Als Aufgabe wurde die Koniotomie (Luftröhrenschnitt) betrachtet. Der Simulator *CricSim* läuft auf einem stereoskopischen 3D-Bildschirm mit Shutter-Brille und ermöglicht haptisches Feedback durch die Benutzung von zwei *Phantom Omni* Eingabegeräten (siehe Abbildung 39). Dieses Stylus-Eingabegerät wird häufig in Simulatoren mit haptischem Feedback eingesetzt. Es verfügt über sechs Freiheitsgrade (6-DOF) und liefert mithilfe mechanischer Motoren haptische Widerstände.

Abbildung 39. Sensable Phantom Omni (Sensable, 2014)

Militärärzte ($N = 32$, Within-Subject) führen Koniotomien in beiden Systeme durch (*HapMed Suite* mit Mannequin und *CricSim haptic-enabled VR Simulator*) und füllten anschließend Fragebögen aus. Dabei wurden der NASA Task Load Index (Hart & Staveland, 1988, 15 Items) sowie das Davis Technology Acceptance Model (Davis, F. D., Bagozzi & Warshaw, 1989) erhoben und die Performance anhand vorgegebener Kriterien der U.S. Army erfasst. Im Ergebnis zeigten die Probanden dieselben Leistungen an der Mannequin und im VR-Simulator. Der VR-Simulator ermöglichte dabei jedoch eine bessere visuelle Interaktion und erwies sich als intuitiver. Die mentale Beanspruchung unterschied sich allerdings bei beiden Simulatoren nicht voneinander.

Neben spezifischen Ergebnissen zu verschiedenen Simulatoren finden sich in der Literatur auch Forschungsansätze zu grundlegenden Interaktionen in virtuellen Umgebungen. Während sich die Computermouse bei 2D-Oberflächen als Standard-Eingabegerät durchgesetzt hat (Zhai, 1998), gibt es für dreidimensionale Umgebungen unterschiedliche Ansätze für verschiedene Aufgaben (siehe 5.2.3). Daher zielen viele Arbeiten darauf ab, diverse Interaktionsmetaphern und Eingabegeräte für konkrete Einsatzzwecke zu entwickeln.

Der Zusammenhang zwischen natürlicher Umgebung, natürlichen Eingabemethoden und Presence wurde bereits von Held und Durlach (1992) in der ersten Ausgabe des Journals PRESENCE konstatiert. Da sich bis zu dem Zeitpunkt in der VR-Forschung die meisten Arbeiten mit Objektmanipulation und Navigation auf Basis von Handgesten beschäftigen, demonstrierten Slater, Usoh und Steed (1995) eine neue Möglichkeit der Interaktion: Mithilfe eines mit Sensoren ausgestatteten HMDs konnten physische Körperbewegungen des Nutzers erfasst werden (Laufbewegungen am Platz). Diese wurden in der virtuellen Umgebung als Laufbewegungen umgesetzt. Die Studie ($N = 16$, Between-Subjects-Design) verglich eine Gruppe Nutzer, die am Platz Laufbewegungen durchführte, und eine Kontrollgruppe, die sich mit einer 3D-Maus in der VE bewegte. Die neue Implementation der Bewegung zeigte deutlich höhere Presence-Werte und wurde auch als natürlicher wahrgenommen.

Eine weitere, frühe Studie zu Eingabegeräten und Presence stammt von Barfield, Baird und Bjorneseth (1998). Ziel des Experiments ($N = 8$, 2×3 Within-Subjects-Design) war es, Zusammenhänge zwischen der Art der Eingabemethode, der Bildwiederholfrequenz und Presence zu ergründen. Dazu wurden zwei Eingabegeräte (Joystick und 3D-Maus, beide 3-DOF) und Bildwiederholfrequenzen (10, 15 und 20 Hz) variiert. Der Joystick wurde hierbei für die natürlichere Interaktion verwendet. Jede Bedingung wurde zufällig und doppelt durchgeführt. Die VE wurde als stereoskopische Projektion an einer Power-Wall angezeigt. Die Probanden sollten während des Versuchs eine versteckte Rune in einer virtuellen Version von Stonehenge finden und nach jeder Versuchsbedingung einen Fragebogen ausfüllen. Presence wurde mit dem Barfield-Questionnaire erhoben (Barfield & Weghorst, 1993). Insgesamt zeigte das Ergebnis keine Unterschiede in der wahrgenommenen Presence beider Eingabegeräte, jedoch präferierten 73 % der Nutzer den Joystick gegenüber der 3D-Maus.

Zhai, Kandogan, Smith und Selker (1999) untersuchten den Einfluss verschiedener Eingabemethoden auf Navigationsaufgaben in virtuellen Umgebungen. In einem Experiment ($N = 12$, einfaktorielles Within-Subjects-Design) wurde die klassische Computermouse als Eingabegerät mit zwei Freiheitsgraden (2-DOF) mit einem Setup aus zwei IBM TrackPoint Joysticks (4-DOF) verglichen. Die Probanden sollten ein virtuelles, dreidimensionales Labyrinth so schnell wie möglich durchlaufen. Das zweihändige Setup mit den Joysticks zeigte sich im Ergebnis als signifikant schneller als die Computermouse (ca. 25 %) und wurde von den Probanden auch als angenehmer und intuitiver bewertet.

Zehn Jahre später führten Lapointe, Savard und Vinson (2011) eine ähnliche Studie zu verschiedenen Eingabegeräten für virtuelle Desktop-Umgebungen durch, bei denen die Aufgabe ebenso darin bestand, ein virtuelles, dreidimensionales Labyrinth so schnell wie möglich zu durchlaufen. Den Probanden ($N = 24$, einfaktorielles Within-Subjects-Design) wurde zunächst eine Karte des Labyrinths mit Start und Ziel aus der Vogelperspektive gezeigt. Danach wurde auf eine Egoperspektive gewechselt. Die Teilnehmer mussten nun in zufälliger Reihenfolge mit einem von vier möglichen Eingabegeräten so schnell wie möglich vom Start zum Zielpunkt gelangen. Als Eingabegeräte wurden eine Computertastatur (3-DOF), eine Computermouse (2-DOF), ein Joystick (3-DOF) und ein Gamepad (3-DOF) eingesetzt. Der Joystick und das Gamepad sind dabei zwar keine wirklich natürlichen Eingabegeräte, befinden sich im Natural-Mapping-Kontinuum von Skalski und Kollegen (2011) aber bereits näher an NM als Mouse oder Tastatur. Um Lerneffekte auszuschließen, wurden bei der Auswertung nur die letzten drei Durchgänge analysiert. Die kürzeste Zeit wurde beim Einsatz der Computermouse benötigt, während sich die anderen Eingabegeräte nicht signifikant voneinander unterschieden (Cohen's $d > 0.9$). Zusätzlich lag eine signifikante Präferenz für den Einsatz der Mouse bei den Probanden vor. Dieses Ergebnis spricht im Kontext der Ergebnisse von Zhai und Kollegen (1999) dafür, dass ein beidhändiges Interface möglicherweise die beste Wahl für Navigationsaufgaben bietet. Ein Schwachpunkt der Studie ist die Tatsache, dass die Erfahrung der Nutzer im (wahrscheinlich täglichen) Umgang mit der Computermouse im Experiment nicht thematisiert wurde und die beiden Studien über 10 Jahre auseinander liegen, in denen sich die Computernutzung und -technik entschieden weiterentwickelt hat.

Nutzerzentriertes Design und Prototyping ist ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil bei Eingabegeräten für den VR-Kontext. Dabei wurden verschiedenste Controller-Formen konzipiert. Ein Beispiel dafür ist eine Studie von Patel et al. (2006). Das Ziel bestand im Vergleich der Usability verschiedener Eingabemethoden in einer stereoskopischen Virtual-Reality-Umgebung (dreiseitige C.A.V.E.). Fünf Controller-Prototypen (6-DOF) wurden im Vorfeld entwickelt und in der Studie getestet (siehe Abbildung 40).

Abbildung 40. Prototypen für 3D-Eingabegeräte für VR-Anwendungen von Patel et al. (2006)

Die Geräte unterschieden sich primär in der Form sowie der Art und Weise, wie sie gegriffen werden müssen. Die Idee dahinter war, dass jedes der Geräte wie ein anderes Werkzeug gehalten wird: Während beispielsweise der FistWedge (b) wie ein Pinsel gehalten wird, wird der Styleball (c) wie ein Stift gefasst. Alle Geräte stellen auf der demselben Stufe Natural Mapping dar, sind allerdings für verschiedene Anwendungen zugeschnitten. Die Geräte wurden für 15 Tage von acht Experten am Fraunhofer-IAO für verschiedene VR-Applikationen (primär VR-

Modelling-Software) verwendet. Die Experten schlossen alle Geräte bis auf den OC3 und ErgoMike für eine zukünftige Nutzung aus, da die Tasten entweder nicht gut erreichbar waren oder der Griff auf Dauer ungeeignet empfunden wurde. Für die beiden verbliebenen Geräte wurde schließlich ein Experiment durchgeführt ($N = 13$, Within-Subject) und die Usability untersucht. Die Teilnehmer nutzten beide Geräte in drei verschiedenen VR-Anwendungen. Als Instrumente kamen mehrere Usability-Fragebögen zum Einsatz (z.B. Short Interaction Device Usability Questionnaire, General Usability Questionnaire und Ergonomics Questionnaire). Im Ergebnis zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geräten, die Teilnehmer halfen jedoch dabei, einige Design-Schwachstellen aufzudecken. Die Größe der Geräte war nicht so gestaltet, dass sowohl kleine als auch große Hände sie bequem fassen konnten und die Zeigerichtung war nicht immer eindeutig, da es keinen deutlich sichtbaren Marker gab. Eine Schwachstelle der Studie ist, dass die beiden Geräte nicht mit denselben Modellierungs-Tools getestet wurden, für die sie ein reales Gegenstück zu einem virtuellen Werkzeug darstellen (z.B. Pinsel oder Stift). Der geringe funktionale Unterschied beider Geräte ließ für die Nutzerstudie auch nur sehr geringe Effekte erwarten.

Auch Froehlich, Hochstrate, Skuk und Huckauf (2006) führten zwei neue Eingabegeräte für 3D-Umgebungen ein und testeten diese in einer Nutzerstudie ($N = 16$, einfaktorielles Within-Subjects-Design). Beide Prototypen verfügen über sechs Freiheitsgrade und basieren auf einfachen Desktop-Geräten, die durch Umbauten um zusätzliche Freiheitsgrade bereichert wurden. Der GlobeFish beinhaltet einen Trackball zwischen zwei Ringen, die es erlauben, ihn frei im Raum zu drehen. Die GlobeMouse ist ein Hybrid aus GlobeFish und 3D-Maus, bei der ein 3-DOF-Trackball auf einem 3D-Maus-Gehäuse montiert ist. Der Trackball ist ebenfalls frei beweglich. Die Controller sind in Abbildung 41 dargestellt. Zusätzlich wurde eine 3D-Maus bei der Studie zum Vergleich eingesetzt.

Die Aufgabe der Nutzer bestand darin, zwei angezeigte Tetraeder deckungsgleich ineinander zu stellen. Dazu musste einer der Körper gegriffen und korrekt rotiert und positioniert werden.

Abbildung 41. GlobeFish (links) und GlobeMouse (rechts) von Froehlich et al. (2006)

Als Bewertungsgrundlage wurde die Aufgabenzeit herangezogen. Bei der Analyse zeigte sich ein signifikanter Unterschied der untersuchten Geräte, bei dem der GlobeFish die besten und die 3D-Maus die schlechtesten Resultate besaß. Die subjektive Bewertung fiel für die GlobeMouse am besten aus, da sie im Vergleich zum GlobeFish weniger schnell ermüdend war. Die Nutzer bescheinigten aber dem GlobeFish die beste Präzision bei der Steuerung, was erneut einen Vorteil für NM-Geräte bedeutet.

Neben dem VR-Kontext wird gestenbasierte Interaktion vor allem auch im Kontext von Augmented Reality eingesetzt. Hier ist ein natürliches Mapping der Eingabegeräte besonders sinnvoll, da sowohl die reale als auch die virtuelle Umgebung gleichzeitig wahrgenommen werden und die Handlungen des Nutzers keine Wahrnehmungskonflikte verursachen sollten.

Hürst und Wezel (2012) zeigen in einer Studie die Vorteile von gestenbasierter Interaktion via Finger-Tracking im Vergleich zur Touchscreen-Interaktion bei Mobiltelefonen. In einem Experiment ($N = 18$, 3×3 Within-Subjects-Design) setzten die Forscher drei verschiedene Interaktionsmethoden (Touchscreen-Konzept, Bewegungskonzept, Finger-Tracking-Konzept) ein und ließen die Probanden drei verschiedene Aufgaben bewältigen (Objektselektion, Menü-Selektion, Translation). Ein Mobiltelefon diente als Anzeige der Augmented-Reality-Inhalte. Es zeigte dabei immer mithilfe einer Kamera die reale Umgebung, die sich hinter dem Bildschirm befand – es diente also als eine Art virtuelles Fenster. Das Touchscreen-Konzept ermöglichte eine Interaktion, indem Objekte per Berührung auf dem Display ausgewählt und manipuliert werden konnten. Das Bewegungskonzept zeigte einen Cursor auf der Mitte des Mobiltelefon-Bildschirms. Objekte konnten selektiert werden, indem das Mobiltelefon durch den Raum bewegt und der Cursor somit über das zu manipulierende Objekt gelegt wird. Das Finger-Tracking-Konzept stellte die natürlichste Form der Interaktion dar und erlaubte die Erkennung

der Fingergesten im Blickfeld der Kamera. So konnten Nutzer das Telefon mit einer Hand halten und mit der anderen Hand im Raum Objekte manipulieren (siehe Abbildung 42).

Abbildung 42. Skizzierung der Interaktion in der AR via Bewegungs-Konzept, Touchscreen-Konzept und Finger-Tracking-Konzept in der Studie von Hürst und Wezel (2012)

Die Selektionsaufgaben wurden in der Touchscreen-Bedingung am schnellsten gelöst, die Translationsaufgaben hingegen konnten mit dem Bewegungs-Konzept signifikant schneller gelöst werden. Das Finger-Tracking erwies sich bei Selektionsaufgaben als ähnlich schnell, erwies sich aber als signifikant langsamer bei Translationsaufgaben. Subjektives Nutzer-Feedback unterstützte diese Ergebnisse: Die Probanden präferierten für die Selektionsaufgaben die Steuerung via Touchscreen und das Bewegungskonzept für die Translation. Die Interaktion mit Finger-Tracking wurde jedoch als unterhaltsamer und natürlicher bewertet. Die Studie zeigt deutlich, dass natürliche Eingabe zwar unterhaltsam, aber bei klassischer Objektselektion und Manipulation nicht effizienter als abstraktere Eingabemethoden ist.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten Bai, Gao, El-Sana und Billinghurst (2013). Die Versuchsteilnehmer führten natürliche Bewegungen aus, die mithilfe einer RGB-Kamera mit 6-DOF in die AR übertragen werden. Nutzer können somit einen Tablet-Computer in einer Hand halten, während sie mit der anderen Hand über dem Tablet Gesten ausführen. In einer Nutzerstudie verglichen Bai und Kollegen die Gestensteuerung mit zweidimensionaler Eingabe über den Touchscreen des Tablets. Dabei wurden übliche Aufgaben (Translation, Rotation und Größenänderung von virtuellen Objekten) durchgeführt und die dafür benötigte Zeit erfasst, sowie

die Usability mit den Systemen bewertet. Auch in diesem Experiment erwies sich die Interaktion via Touchscreen als schneller, die Usability und Natürlichkeit wurde jedoch in der Gestenbedingung als wesentlich höher bewertet.

5.3.2 Studien im Computerspiel-Kontext

Im Gegensatz zum Virtual-Reality-Kontext steht bei Computerspielen primär die Unterhaltung im Vordergrund. Die Handlungen in der virtuellen Umgebung sind darauf genauso abgestimmt wie die verwendeten Eingabegeräte. Es ist daher generell schwierig, verschiedene Eingabemetaphern einzusetzen, da Forscher bei kommerziellen Computerspielen auf die verfügbare Hardware zurückgreifen müssen. Gleichzeitig sind die durchgeführten Studien dennoch nicht selten von höherer methodischer Qualität als viele VR-Studien, die von nicht-empirisch arbeitenden Disziplinen durchgeführt werden.

Eine frühe Studie von Johnson, Gardner, Wiles, Sweetser und Hollingsworth (2003) wurde bereits vor der Veröffentlichung moderner Spielkonsolen durchgeführt. Ein qualitativ-quantitativ gemischter Methodenansatz wurde eingesetzt, um Motive und Präferenzen von Spielern ($N = 33$, Within-Subjects-Design) zu erheben. Dazu wurden Teilnehmer gebeten, ein Snowboard-Spiel (*SSX*; EA Canada, 2000) und einen Egoshooter (*Time Crisis 2*; Namco, 1997) auf einer Sony *PlayStation 2* Konsole zu spielen. Dabei wurde für das Snowboard-Spiel ein Controller in Form eines Snowboards und für den Shooter ein Controller in Form einer kabelgebundenen Pistole (Namco *G-Con 2*) verwendet. Die Teilnehmer spielten beide Spiele mit beiden Controllern in zufälliger Reihenfolge und wurden anschließend darüber befragt, welche subjektiven Präferenzen und Motive bei der Benutzung auftraten. Abschließend füllten Sie einen offenen Fragebogen aus, der Fragen aus den Bereichen Kontrolle über die Spielhandlungen, Spielspaß, Verständlichkeit und Realismusgrad der Controller beinhaltete.

Die meisten Spieler präferierten die NM-Controller, unerfahrene Spieler dabei besonders häufig. Als Gründe wurden die höhere Natürlichkeit und Intuitivität der Geräte genannt. Die Autoren konnten die Attraktivität der Controller teilweise auf ihren Neuigkeitswert zurückführen (Novelty-Effekt). Das Gamepad wurde für den Ego-Shooter als nicht intuitiv, kompliziert und ungenau bewertet, für das Snowboard-Spiel wurde es hingegen genau gegensätzlich bewertet und als präzise und intuitiv beschrieben. Der Pistolen-Controller wurde gegenüber

dem Gamepad beim Ego-Shooter präferiert und als hoch intuitiv und präzise bewertet. Der NM-Controller beim Snowboard-Spiel hingegen erntete negative Bewertungen, die mit einem ungenauen Spielverhalten und fehlendem intuitiven Interface begründet wurden.

In den Befragungen wurde deutlich, dass die NM-Controller von den Nutzern nicht automatisch als realistischer oder intuitiver gesehen werden, sondern dies stark von der technischen Implementierung und dem jeweiligen Spielkontext abhängt. Zudem lehnten erfahrene Spieler die NM-Controller stärker ab, da sie mit den gängigen Steuerungsverfahren (Gamepad) vertraut genug sind, um Spielziele präzise und effizient zu erfüllen. Dies ist nicht verwunderlich, da erfahrene Spieler das Bedienschema von abstrakten Eingabegeräten gelernt und damit gut in mentalen Modellen und Schemata abgebildet haben. Der Abruf dieser Informationen fällt ihnen beim Spielen leicht, das Drücken von Tasten ist zudem körperlich weniger anstrengend und erfordert weniger motorische Koordination als natürliche Eingabe.

In zwei Experimenten untersuchten Skalski, Tamborini, Shelton, Buncher und Lindmark (2010) den Einfluss von Natural Mapping bei Computerspielen auf Presence und Unterhaltung. In der ersten Studie ($N = 48$, einfaktorielles Between-Subjects-Design) spielten Probanden ein Golfspiel (*Tiger Woods PGA Tour 07*; Electronic Arts Redwood, 2006) entweder mit einem Gamepad auf einer Sony *PlayStation2* oder mit einer Wii Remote auf einer Nintendo *Wii* Konsole. Zur Erfassung der wahrgenommenen Natürlichkeit des Controllers wurde eine eigene Skala entwickelt und eingesetzt. Sie enthielt 11 Items (7-Punkte-Likert-Skalierung; $\alpha = .80$). Spatial Presence wurde mit dem Temple Presence Inventory (Lombard et al., 2011) mit sieben Items erfasst, für Unterhaltung kam eine eigene Skala mit acht Items zum Einsatz (7-Punkte-Likert-Skalierung; $\alpha = .96$). Zusätzlich wurden Spielerfahrung und Fertigungsgrad der Spieler erfasst (Bracken & Skalski, 2006). Die Bedingung mit Wii Remote (hohes NM) wurde als signifikant natürlicher empfunden als die Bedingung mit dem Gamepad (niedriges NM). Diese wahrgenommene Natürlichkeit wurde in multiplen Regressionen als Prädiktoren für Spatial Presence und Spielspaß identifiziert. Ein Pfadmodell wurde berechnet, um die Zusammenhänge der Variablen darzustellen (siehe Abbildung 43). Die Ergebnisse zeigten auch, dass Spatial Presence keinen Einfluss auf die Unterhaltung hatte.

Abbildung 43. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Skalski et al. (2010)

In der zweiten Studie ($N = 78$, einfaktorielles Between-Subjects-Design) wurden für ein Rennspiel (*Need for Speed Underground 2*; Electronic Arts Black Box, 2004) vier verschiedene Controllertypen eingesetzt. Die Probanden spielten das Spiel entweder mit einer Computertastatur, einem Joystick, einem Gamepad oder einem Lenkrad-Controller. Die eingesetzten Controller bilden die von Skalski et al. (2011) postulierte Typologie von NM ab. Zur Erfassung von Presence wurde der ITC-SOPI-Fragebogen (Lessiter et al., 2001) eingesetzt, die anderen Instrumente entsprachen denen der ersten Studie. Der Lenkrad-Controller wurde als signifikant natürlicher wahrgenommen als die anderen drei Eingabegeräte, untereinander unterschieden sich die anderen Controller jedoch nicht. Auch bei Studie 2 wurde ein signifikanter Einfluss von NM auf Presence und Unterhaltung gefunden, jedoch kein direkter Einfluss von Presence auf Unterhaltung.

Der Zusammenhang von authentischen Eingabegeräten und vermuteten positiven Einflüssen auf die User Experience wurde auch von Pietschmann et al. (2012) in einem Experiment untersucht. Probanden ($N = 136$, einfaktorielles Between-Subjects-Design) spielten ein Tennis-Computerspiel (*SEGA Superstars Tennis*; Sumo Digital, 2008) auf einer Nintendo *Wii* Spielkonsole, deren Bild auf einer Videoleinwand angezeigt wurde. Die Steuerung erfolgte entweder mit niedrigem NM (Gamepad) oder hohem NM (Wii Remote mit Tennisschläger-Aufsatz). Als abhängige Variablen wurden Presence (Presence Questionnaire; Witmer et al., 2005) und Immersion (Immersion Questionnaire; Jennett et al., 2008) der Nutzer erfasst. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass die Benutzung natürlicher Eingabegeräte im Vergleich zu arbit-

rären Eingabegeräten sowohl Presence als auch Immersion signifikant steigert. Die Interaktion wurde zudem als unterhaltsamer wahrgenommen, was mit einem erhöhten Selbstwirksamkeitserleben (Klimmt & Hartmann, 2006) des Nutzers erklärt wurde. Die Studie verglich zusätzlich den Effekt von Natural Mapping bei erfahrenen Spielern und Novizen. Beide Gruppen zeigten jedoch ähnliche Werte, sodass kein statistischer Unterschied festzustellen war. Die dritte Fragestellung der Studie beschäftigte sich mit dem Transfer von realem Wissen auf das Tennisspiel. Nutzer mit ausreichender Tennispraxis sollten mentale Modelle über die erwartete Interaktion mit dem System besser anwenden können als Nutzer ohne Tenniserfahrung. Das Ergebnis konnte diese Annahme bestätigen: Bei der Benutzung des NM-Controllers wiesen Spieler mit Tennis-Erfahrung höhere Werte für Immersion und Presence auf. Spieler mit sehr großer Tennis-Erfahrung gaben jedoch vereinzelt Probleme und Irritationen mit dem System an. Dies ließ sich darauf zurückführen, dass die im Spiel einsetzbaren Schläge simplifiziert wurden, um ein einfaches, schnelles Spiel zu ermöglichen. Mit der eingesetzten Wii Fernbedienung konnten komplexe Schläge nicht erfasst und umgesetzt werden, sodass die Erwartungen professioneller Tennisspieler vom System nicht erfüllt werden konnten.

Eine sehr ähnliche Studie führten McGloin und Krcmar (2011) durch. Probanden ($N = 195$, einfaktorielles Between-Subjects-Design) spielten ein Tennisspiel (*Top Spin 3*; Power and Magic Development, 2008) entweder mit einem natürlichen (*Wii Remote* mit *Nunchuk*) oder einem abstrakten Controller (*PlayStation 3* Gamepad). Untersucht wurde einerseits der Einfluss von hohem NM auf die wahrgenommene Natürlichkeit der Interaktion und Spatial Presence. Andererseits wurde angenommen, dass die wahrgenommene Natürlichkeit des Controllers sich auch positiv auf die wahrgenommene visuelle und akustische Natürlichkeit sowie die Unterhaltung der Nutzer auswirkt. Als Skalen kamen dieselben wie bei der Studie von Skalski et al. (2010) zum Einsatz. Die Ergebnisse zeigten, dass die NM-Bedingung tatsächlich als wesentlich natürlicher wahrgenommen wurde. Dieses Ergebnis wurde in einer multiplen Regression als Prädiktor für Spatial Presence sowie visuelle und akustische Natürlichkeit mit den Kovariaten Geschlecht, Alter, Computerspielerfahrung, Tennispraxis und Tenniswissen herangezogen. NM zeigte sich dabei hypothesenkonform als einziger relevanter Faktor für Spatial Presence und visuelle und akustische Natürlichkeit. Zusätzlich bewerteten Probanden das Spiel mit dem NM-Controller als wesentlich unterhaltsamer. Insgesamt belegt die Studie

also eine ganze Reihe positiver Effekte für den Einsatz von Natural-Mapping-Controllern. Problematisch an der Studie ist jedoch, dass McGloin und Krcmar (2011) das Stimulusmaterial auf verschiedenen Systemen präsentierten. Das verwendete Computerspiel unterscheidet sich bei beiden Konsolen (Sony *PlayStation 3* und Nintendo *Wii*) hinsichtlich Bildschirmauflösung, allgemeiner Grafikqualität und angezeigter Symbole für Buttons. Der Unterschied ist zwar gering, stellt aber dennoch eine mögliche Konfundierung dar.

Ein weiteres Beispiel für positive Einflüsse auf die User Experience ist die Studie von Shafer, Carbonara und Popova (2011). In zwei Experimenten widmen sich die Autoren der Frage, wie NM die Interaktivität von Spielen beeinflusst und damit Auswirkungen auf Selbstwirksamkeitserleben, Unterhaltung, und Spatial Presence mit sich bringt. NM wurde hier im Rahmen der „Interaktivität mit einem System“ verstanden und mit verschiedenen Eingabegeräten operationalisiert. In der ersten Studie ($N = 160$, 3×2 , Between-Subjects-Design) wurde den Probanden eine von sechs Bedingungen mit hoher, mittlerer bzw. niedriger Interaktivität und je zwei unterschiedlichen Spielen zugewiesen. Dabei wurden teilweise verschiedene Spiele für verschiedene Spielplattformen eingesetzt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4. *Eingesetzte Spiele und Plattformen bei Studie 1 von (Shafer et al., 2011)*

Interaktivität	Spieltitel	Plattform
Niedrig	<i>Tiger Woods PGA Tour 11</i> (EA Tiburon, 2010)	Sony PlayStation 3 mit Gamepad
Niedrig	<i>Need for Speed: SHIFT</i> (Slightly Mad Studios, 2009)	Microsoft Xbox 360 mit Gamepad
Mittel	<i>Tiger Woods PGA Tour 11</i> (EA Tiburon, 2010)	Nintendo Wii mit Wii Remote
Mittel	<i>Need for Speed: Nitro</i> (Electronic Arts Montreal, 2009)	Nintendo Wii mit Wii Remote
Hoch	<i>Tiger Woods PGA Tour 11</i> (EA Tiburon, 2010)	Sony PlayStation 3 mit Move
Hoch	<i>Kinect Joy Ride</i> (Big Park, 2010)	Microsoft Xbox 360 mit Kinect

Als Instrumente kamen für Presence der ITC-SOPI (Lessiter et al., 2001) und für Unterhaltung eine Skala von Raney (2002) zum Einsatz. Multiple Regression wurde eingesetzt, um die Hypothesen zu prüfen. Im Ergebnis zeigte sich kein allgemeiner Einfluss der verschiedenen Operationalisierungen von Interaktivität auf Presence oder Unterhaltung. Spatial Presence konnte aber als starker Prädiktor für Unterhaltung identifiziert werden ($R^2\Delta = 0.36$). Die allgemeine

Aussagekraft der Studie leidet jedoch unter der gemischten Spielauswahl, da die Autoren auch keine Effekte angeben, die sich nur auf z.B. *Tiger Woods PGA Tour 11* beziehen.

In einer Folgestudie verglichen (Shafer et al., 2011) drei bewegungsbasierte NM-Ansätze untereinander, indem Probanden ($N = 88$, einfaktorielles Between-Subjects-Design) ein Boxspiel entweder mit Microsoft Kinect, Sony Move oder Nintendo Wii Remote spielten (siehe Tabelle 5). Als Instrumente kamen eine Skala zur Erfassung der wahrgenommenen Realität (Popova, 2011, 29 Items, $\alpha = .90$) sowie die Skalen aus Studie 1 zum Einsatz. Die Ergebnisse wurden mit MANCOVA und hierarchischer Regression berechnet.

Tabelle 5. *Eingesetzte Spiele und Plattformen bei Studie 2 von (Shafer et al., 2011)*

Interaktivität	Spieltitel	Plattform
Niedrig	<i>Wii Sports Boxing</i> (Nintendo, 2006)	Nintendo Wii mit Wii Remote
Mittel	<i>The Fight: Lights Out</i> (ColdWood Interactive, 2010)	Sony PlayStation 3 mit Move
Hoch	<i>Kinect Sports Boxing</i> (Rare, 2010)	Microsoft Xbox 360 mit Kinect

Die Natürlichkeit der Eingabegeräte stellte sich als signifikanter Prädiktor für Spatial Presence ($R^2_{adj} = 0.21$), wahrgenommene Realität ($R^2_{adj} = 0.16$) und Unterhaltung ($R^2_{adj} = 0.28$) heraus. Die Werte fielen in der Bedingung mit Kinect am höchsten aus. Erneut ist die Auswahl verschiedener Spiele für die jeweiligen Versuchsbedingungen kritisch zu sehen und schränkt die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse ein. Die Ergebnisse der Studie sind in einem Modell in Abbildung 44 dargestellt. Daraus wird auch deutlich, dass die Spielfertigkeiten der Nutzer einen fast gleichwertigen Einfluss auf Unterhaltung und Spatial Presence haben.

Abbildung 44. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge in Studie 2 von Shafer et al. (2011)

Der Einfluss von bewegungsbasierten Eingabegeräten bei Rennspielen wurde in einer Studie von Schmierbach, Limperos und Woolley (2012) untersucht. In einem Experiment ($N = 96$, 2×2 , Between-Subjects-Design) spielten die Probanden *Need for Speed: Pro Street* (Electronic Arts Black Box, 2007) entweder mit Gamepad oder einem Lenkrad-Controller. Zusätzlich wurde den Spielern entweder ein Standard-Fahrzeug vorgegeben, oder sie hatten die Möglichkeit optische Veränderungen (Farbe, Aufkleber) an ihrem Fahrzeug vorzunehmen. Als Maße kamen eigene Skalen für wahrgenommene Natürlichkeit (4 Items, $\alpha = .84$), Identifikation (6 Items, $\alpha = .95$), Presence (6 Items, $\alpha = .87$), Spielfertigkeit (3 Items, $\alpha = .81$) sowie adaptierte Skalen für Transportation (Green & Brock, 2000, 11 Items, $\alpha = .81$) und Unterhaltung (Limperos, Schmierbach, Kegerise & Dardis, 2011, 7 Items, $\alpha = .94$) zum Einsatz. Die Hypothesen wurden mittels ANOVA geprüft. Das Lenkrad wurde als signifikant natürlicher als das Gamepad bewertet, die Möglichkeit der Individualisierung des Fahrzeugs wirkte sich positiv auf die Identifikation aus. Da dies allein noch keinen wirklichen Erkenntnisgewinn darstellt, wurde ein Pfadmodell der hypothetischen Wirkzusammenhänge geprüft (siehe Abbildung 45).

Abbildung 45. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Schmierbach et al. (2012)

Im Modell zeigte sich, dass sowohl NM als auch die Möglichkeit der Anpassung des Fahrzeug-Avatars die Identifikation mit der Spielfigur beeinflussen. Die Natürlichkeit der Steuerung hat

einen direkten Effekt auf die wahrgenommene Schwierigkeit des Spiels, Presence und Transportation. Transportation und wahrgenommene Schwierigkeit stehen in direktem Zusammenhang mit Unterhaltung, Presence jedoch nicht.

Mit denselben unabhängigen Variablen untersuchten Downs, E. P. und Oliver (2009) eine andere Forschungsfrage in Bezug auf Natural Mapping. In einem Experiment ($N = 161$, 2×2 , Between-Subjects-Design mit Kontrollgruppe) auf Basis eines Golfspiels (*Tiger Woods PGA Tour 08*; EA Tiburon, 2007b) untersuchten die Autoren den Einfluss von Natural Mapping (niedrig: Gamepad vs. hoch: Wii Remote) und Avatar-Individualisierung (nein vs. ja) auf motorisches Lernen, Presence und domänenspezifisches Interesse am Golfsport. Dazu bewältigten die vier Experimentalgruppen einen Kurs mit 18 Löchern im Spiel und füllten postrezeptive Fragebögen aus. Anschließend wurden die Probanden in einen Nachbarraum geführt, wo sie mit einem realen Golf-Putter Golfbälle aus Entfernungen von ein, zwei und drei Metern einlochen sollten. Der Abstand des Balls zum Loch wurde gemessen und als Fehlerwert für alle drei Versuche gemittelt. Die Kontrollgruppe erfüllte diese Aufgabe ohne die vorherige Spielsitzung. Neben dem Leistungsmaß kamen Instrumente für Presence (Nowak & Biocca, 2003, 5 Items, $\alpha = .91$), Selbstwirksamkeit (eigene Skala, 7 Items, $\alpha = .92$) und Affekt (eigene Skala, 5 Items, $\alpha = .91$) zum Einsatz. Zusätzlich wurden Leistungsdaten aus dem Spiel erhoben. Im Ergebnis zeigte sich, dass Spieler in der Bedingung mit Wii Remote bei der Putting-Aufgabe signifikant besser waren als Spieler mit Gamepad (part. $\eta^2 = 0.06$). Die Leistung der Gamepad-Spieler war hingegen signifikant schlechter als die der Kontrollgruppe. Der verwendete Controller und die Möglichkeit der Avatar-Anpassung hatten keinen Einfluss auf Presence. Auch in dieser Studie wurde zusätzlich ein exploratives Pfadmodell aufgestellt, das die Wirkzusammenhänge der Variablen enthält (siehe Abbildung 46). Im Modell konzentrierten sich die Autoren auf die Controller-Variable.

Abbildung 46. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Downs, E. P. und Oliver (2009)

Auch wenn kein direkter Effekt von der Art des eingesetzten Controllers zum Fehlermaß bei der Putting-Aufgabe gefunden werden konnte, zeigte die Betrachtung von indirekten und direkten Pfaden (über die Leistung im Spiel) einen signifikanten Effekt ($K = -0.23$, $p < .01$). Der Einfluss auf Unterhaltung aus anderen Studien zeigte sich im Modell ebenfalls.

Die bisher betrachteten Studien untersuchten die Nutzung von Natural Mapping bei einem Nutzer. Beim gemeinsamen Spielen mehrerer Nutzer an einem Ort (co-located gaming), sei es kooperativ oder kompetitiv, wird das Spielerlebnis deutlich von sozialen Aspekten geprägt (siehe z.B. Breuer, Scharkow & Quandt, 2013; Kappen, Gregory, Stepchenko, Wehbe & Nacke, 2013). Der Einfluss von Natural Mapping kann diese sozialen Kontexte beeinflussen, da die Spieler weniger kognitive Ressourcen auf die Spielsteuerung aufwenden müssen, sondern diese auf die soziale Interaktion richten können.

Lindley, Le Couteur und Berthouze (2008) ließen beispielsweise spielunerfahrene Probanden ($N = 20$, Within-Subjects-Design) ein Trommelspiel (*Donkey Konga*; Namco, 2003) im kooperativen Mehrspielermodus („Drum-Duet“) spielen. Sie verwendeten dabei entweder zuerst den zum Spiel gehörigen Bongo-Controller (hohes NM) oder ein Gamepad (niedriges NM). Die Spielerpaare nutzen immer beide den gleichen Controllertypen in einer Bedingung. Während der Spielsitzung wurde das soziale Verhalten beobachtet und codiert (Sprache, empathische und instrumentelle Gesten sowie andere Lautäußerungen) und nach der Sitzung mittels eines

Engagement-Fragebogens (Chen, Koldo, Cuddihy & Medina, 2005) das Spielerlebnis bewertet. Die Spieler interagierten deutlich stärker miteinander bei Benutzung der Bongo-Controller, zeigten mehr empathische und instrumentelle Gesten (z.B. Zeigen auf den Bildschirm oder Taktvorgabe) und bewerteten ihre eigene Spielerfahrung als intensiver (höheres Engagement). NM zeigte also deutliche Vorteile für die soziale Interaktion der Spieler.

Abeele, Schutter, Gajadhar und Johnson (2013) untersuchten in einer Studie ($N = 78$, 2×2 , Within-Subjects-Design) den Einfluss von NM auf User Experience in einem kompetitiven Mehrspieler-Setting. Dazu bestritten zwei Spieler ein Autorennen in *Mario Kart Wii* (Nintendo, 2008) jeweils mit dem gleichen Controller. Der Controller-Typ (Gamepad vs. Lenkrad) wurde als Within-Faktor und das Geschlecht der Spieler-Dyaden (beide männlich vs. beide weiblich) als Between-Faktor variiert. Zur Erfassung der User Experience kamen Spatial Presence aus dem ITC-SOPI (Lessiter et al., 2001, 10 Items, $\alpha = .91$), die Perceived Naturalness Scale (Skalski, Lange, Tamborini & Shelton, 2007, 5 Items, $\alpha = .77$), der Social Presence in Gaming Questionnaire (De Kort, Ijsselstein & Poels, 2007, 5 Items, $\alpha_{\text{MIN}} = .56$, $\alpha_{\text{MAX}} = .91$) und der GEQ (Ijsselstein et al., in Vorbereitung, 5 Items, $\alpha_{\text{MIN}} = .57$, $\alpha_{\text{MAX}} = .92$) zum Einsatz. Zur Auswertung wurden lineare gemischte Modelle (LMMA) eingesetzt. NM zeigte einen signifikant positiven Einfluss auf die wahrgenommene Natürlichkeit, Spatial Presence und Social Presence, aber einen signifikant negativen Einfluss auf die Rundenzeiten, und die wahrgenommene Fahrzeugkontrolle. Neben der Tatsache, dass männliche Spieler den Lenkrad-Controller als natürlicher empfanden, wurden keine weiteren Haupt- oder Interaktionseffekte für das Geschlecht der Dyaden gefunden.

5.4 Zusammenfassung: Natural Mapping in virtuellen Umgebungen

Die Eingabemöglichkeiten eines Computersystems bestimmen neben den Darstellungsmodalitäten die Interaktion maßgeblich. In der HCI-Forschung entfällt seit jeher ein großer Anteil von Forschungsbemühungen darauf, die Interaktion mit einem System möglichst intuitiv und einfach zu gestalten. Bei Benutzeroberflächen lassen sich primär grafische (GUI), Stellvertreterobjekt-basierte (TUI) und natürliche (NUI) Interfaces unterscheiden.

Natural Mapping beschreibt den Umfang, inwieweit die Aktionen eines Nutzers mit einem Eingabegerät den gleichen Handlungen in der virtuellen Umgebung entsprechen. NM basiert

auf der Annahme, dass durch Handlungen mit einer höheren Ähnlichkeit zu realen Vergleichshandlungen das Vorwissen der Nutzer besser für die Interaktion einbinden kann, z.B. räumliche Analogien, kulturelle Standards. Es werden weniger kognitive Ressourcen beansprucht, da existierende mentale Modelle und Schemata für die virtuelle Handlung abgerufen werden können und weniger Ressourcen zur Konstruktion mentaler Modelle bzw. dem Erlernen neuer Interaktionsformen verbraucht werden.

NM ist dabei nicht immer für eine Aufgabe sinnvoll, da abstrakte Eingabe (z.B. Tastendruck) zwar erlernt werden muss, dafür aber körperlich wenig anstrengt und damit hoch effizient sein kann. Bei komplexen Handlungen innerhalb dreidimensionaler Umgebungen müssen umfangreiche Eingabeinformationen verarbeitet werden, sodass NM besonders in diesem Kontext einen Vorteil liefern kann. Die Relevanz des Aufgabenkontextes ist für produktive Anwendungen entscheidend, da die Interaktion sparsam und effizient sein sollte, ohne an Effektivität zu verlieren. Im Unterhaltungskontext steht die Effizienz weniger im Fokus. Hier unterstützt NM das Selbstwirksamkeitserleben der Nutzer und wird oft als generell unterhaltsam empfunden.

Auf einem Natural-Mapping-Kontinuum existieren verschiedene Umsetzungen von Eingabemethoden. Dabei lassen sich zum einen Interaktionsmetaphern von abstrakt bis natürlich einordnen (z.B. Push to Move, Touch to Select) aber auch konkrete Eingabegeräte (z.B. Tastatur, Maus, Gestensteuerung).

Natural-Mapping-Ansätze für die Selektion und Manipulation von virtuellen Objekten sowie zur Navigation durch eine virtuelle Umgebung gibt es viele. Während sich für 2D-Umgebungen die Computermaus als Standardgerät durchgesetzt hat, gibt es für 3D-Umgebungen verschiedene Lösungen. Die technische Realisierung von NM ermöglicht eine Unterscheidung von Eingabegeräten hinsichtlich ihrer Genauigkeit, Reichweite, Auflösung oder der eingesetzten Tracking-Technik. Entscheidend für eine möglichst authentische Erfassung natürlicher Bewegungen ist ein Tracking mit sechs Freiheitsgraden (6-DOF). Dabei werden drei Raumkoordinaten (X, Y, Z) sowie drei Orientierungswinkel zu jedem Messzeitpunkt erfasst. Je nach Einsatzzweck wird beispielsweise in Simulatoren ein reales Werkzeug (z.B. medizinisches Skalpell) oder eine andere reale Gerätschaft (z.B. Lenkräder in Fahrsimulatoren) nachgebildet und als Eingabegerät verwendet. Dabei wird ein hohes Natural Mapping angestrebt, um Transfer-

bzw. Lernprozesse auf Basis der virtuellen Erfahrung zu fördern (z.B. Motor Learning). Mehrzweckgeräte finden in der VR auch ihren Einsatz, da sie jeweils stellvertretend für eine ganze Klasse von Werkzeugen stehen können und daher abstrakter sind als spezifische Eingabegeräte (z.B. 3D-Maus, Magic Wand).

Ergebnisse aus wissenschaftlichen Studien zu Natural Mapping sind sehr vielfältig und in verschiedensten Forschungsdisziplinen angesiedelt. Gerade im produktiven Kontext mit VR bzw. bei Simulatoren sind diese methodisch nicht immer hochwertig und allgemein aussagekräftig.

Grundlagenforschung zu Interaktionsparadigmen schließt oft natürliche Eingabe mit ein. So wurden beispielsweise verschiedene, eher niedrige Grade an NM umfassende, Eingabemethoden bei der Navigation in virtuellen Umgebungen betrachtet. Oft empfanden Probanden die natürlicheren Eingabeformen als subjektiv angenehmer, jedoch fiel die Leistung meist schlechter aus als bei spezialisierten, abstrakteren Eingabemethoden für die betrachtete Aufgabe. User Experience in Form von Usability und Presence wurde bei natürlichen Eingabegeräten in verschiedenen Studien besser bewertet als bei weniger natürlichen Geräten. Nach wie vor fehlt ein Standard für 3D-Interaktionen, weshalb immer wieder neue Geräte und Interaktionsmethoden entwickelt und empirisch überprüft werden.

Bei Computerspielen zeigt sich ein deutliches Bild für positive Effekte von NM auf die wahrgenommene Natürlichkeit der Interaktion, Spatial Presence und Unterhaltung. Dem stehen Ergebnisse zur Performance entgegen: Aufgrund zusätzlich notwendiger motorischer Koordination und körperlicher Anstrengung sind Aufgaben in der virtuellen Umgebung mit NM meist anspruchsvoller und subjektiv schwieriger als beispielsweise die Bedienung eines Gamepads.

Bei Computerspielen steht der Unterhaltungsaspekt im Vordergrund, ein Spiel muss per Definition Spaß machen und muss keiner vollständigen Simulation folgen. Sind die Eingabehandlungen identisch zu den Vorbildern aus der Realität, lassen sich einige Spielkonzepte nur noch schwer umsetzen. Man stelle sich ein Kampfsport-Computerspiel vor, bei dem Gelegenheitspieler bereits in den ersten Minuten verzweifeln oder ein Fantasy-Spiel, bei dem Spieler mit einem Schwert gegen Monster antreten müssen. Nicht nur weil die wenigsten Spieler die dafür in der Realität notwendigen Fähigkeiten besitzen, muss eine gewisse Abstraktion erfolgen. Das Selbstwirksamkeitserleben der Spieler wird von Erfolgsmomenten gefördert. Im Spiel

möchte er der Held der Geschichte sein und das Spiel auch gewinnen. Eine vollständige Simulation kann also gar nicht das Ziel der meisten Computerspiele sein. Studien zeigten beispielsweise, dass Spieler die präzise Kontrolle von abstrakten Eingabegeräten schätzen, um eine hohe Selbstwirksamkeit (ein Tastendruck resultiert in großer Wirkung) zu erzielen und damit bessere Spielleistungen zu realisieren. Natürliche Eingabegeräte lassen diese Präzision offenbar bei kommerziellen Spielen noch vermissen.

Im Kontext von VR sieht das anders aus: Gerade wenn Transfereffekte von VR zur Realität gewünscht sind (z.B. virtuelles Training) sollte die Simulation möglichst authentisch sein. Die Unterhaltung des Nutzers ist dabei nebensächlich. Simulatoren kommen beispielsweise für das Training im Militär, in der Medizin und bei Fahrzeugen/Flugzeugen zum Einsatz und arbeiten dort mit hohem Natural Mapping, um den Transfer virtueller auf reale Fertigkeiten zu fördern.

Die meisten im Kapitel vorgestellten Studien im Kontext von Computerspielen haben gemeinsam, dass sie von einer automatisch gegebenen Passfähigkeit der Nutzeraufgabe (z.B. Spielziele) mit den Eingabegeräten ausgehen und diese nicht hinterfragen. Da die eingesetzten Stimuli hauptsächlich kommerzielle Produkte umfassen und meist ein spezielles Eingabegerät auf Basis eines realen Vorbildes zum Einsatz kommt, ist dies nicht verwunderlich. Es werden Lenkräder für die Fahrzeugsteuerung, Musikinstrumente für Musikspiele und Golf- oder Tennisschläger für die entsprechenden Ballspiele eingesetzt. Wünschenswert wäre eine umfangreichere Bedingungsmanipulation für zukünftige Studien, um besser verschiedene Interaktionsparadigmen miteinander vergleichen zu können, wie das bei der VR-Forschung der Fall ist.

Die vielen Belege für einen positiven Einfluss von NM auf das Unterhaltungserleben der Spieler basieren auf kurzfristiger Betrachtung von Effekten, da die Studien in einer Sitzung mit maximal einer Stunde Länge durchgeführt wurden. Es lassen sich daraus keine Langzeiteffekte ableiten, da der Umgang mit natürlichen Eingabegeräten für die meisten Nutzer – vor allem in einem Spielkontext – zunächst eine interessante Abwechslung zu eventuell bisher bekannten abstrakten Eingabegeräten darstellt. Es ist anzunehmen, dass die starken Effekte durch Habitualisierung geringer werden und möglicherweise auch verschwinden. Bisher existieren allerdings keine Daten aus Längsschnittuntersuchungen, die einen solchen Verlauf betrachten.

6 Spatial Mapping von Wahrnehmungsräumen

Nachdem in den vergangenen Kapiteln grundlegende Konzepte zu User Experience (Kapitel 2), mentalen Modellen (Kapitel 3), binokularen Spatial Cues (Kapitel 4) und Natural Mapping (Kapitel 5) im Detail diskutiert wurden, werden die besprochenen Ansätze in diesem Kapitel für die Konzeption von Spatial Mapping zusammengeführt.

Bei der Interaktion in virtuellen Umgebungen agiert der Nutzer gleichzeitig in mehreren Wahrnehmungsräumen. Er nimmt zum einen den physikalischen Raum wahr, z.B. eine VR-Anlage oder sein Wohnzimmer. Andererseits betrachtet er den durch die virtuellen Stimuli konstruierten virtuellen Raum, z.B. eine Landschaft. Entsprechend der Konzeption des MEC-Modells wird zunächst ein Spatial Situation Model der Umgebung konstruiert und anschließend (unbewusst) Wahrnehmungshypothesen geprüft. Im Idealfall übernimmt der Nutzer die medial dargestellte Umgebung als primären egozentrischen Referenzrahmen (PERF) und erlebt damit eine Spatial-Presence-Episode (siehe 3.3.3). Während dieser Episode ist sein Handeln vollständig in der virtuellen Umgebung verankert.

Natural Mapping bedeutet, dass die Anordnung bzw. Funktionsweise von Input-Elementen intuitiv verständlich ist, und die Interaktion nicht erst vorab gelernt werden muss. Sie kann auf existierende Wissensbestände in Form von mentalen Modellen zugreifen. NM fördert daher die Entstehung von Spatial Presence, da der Nutzer weniger kognitive Ressourcen für Transformationsprozesse der Eingabehandlungen zu virtuellen Handlungen investieren muss. Analog zum Input Mapping, das ebendiese Verknüpfung von realen, physikalischen Aktionen mit virtuellen Handlungen darstellt, bezieht sich Spatial Mapping auf die Verknüpfung der beiden Wahrnehmungsräume.

Spatial Mapping soll als Grad der Verknüpfung der physikalischen und virtuellen Umgebung verstanden werden, sodass im Idealfall einer Isomorphie Nutzer intuitiv in der VE im selben dreidimensionalen Raum interagieren können, den sie auch physikalisch wahrnehmen (Pietschmann, 2013; Pietschmann, Liebold & Ohler, 2013; Pietschmann, Liebold, Valtin & Ohler, 2013). Spatial Mapping kann daher als eine Erweiterung von Natural Mapping verstanden werden, bei der neben Eingabeinformationen auch die Ausgabeinformationen betrachtet

werden. Im Sinne der ganzheitlichen Betrachtung von Interaktionen des Embodiment-Konzepts bzw. der Sensomotorik ist die Wechselwirkung aus Eingabe- und Ausgabeinformationen dabei ein zentrales Merkmal.

Zusätzlich ist der Gegenstand der Interaktion relevant, also inwieweit die Handlungen des Nutzers in der virtuellen Umgebung mit dem Spatial Mapping vereinbar sind. Im Kapitel zu Natural Mapping wurde herausgestellt, dass NUI für einen Aufgabenkontext gut geeignet sein können, für einen anderen jedoch komplett unangebracht sind. Analog ist dies auch für Spatial Mapping der Fall: Wahrnehmungsräume müssen also immer als Kombination von Eingabeinformationen, Ausgabeinformationen und dem Gegenstand der Interaktion charakterisiert werden.

Hohes Spatial Mapping liegt dann vor, wenn beide Wahrnehmungsräume einen kombinierten Raum bilden, die Interaktion also ein hohes Maß an Natural Mapping aufweist, die virtuelle Umgebung diese natürlichen Eingabehandlungen hinreichend interpretieren kann und qualitativ hochwertige Wahrnehmungsinformationen für die weitere Interaktion liefert. Niedriges Spatial Mapping liegt vor, wenn nutzerseitige Transformationsprozesse notwendig sind, um die Interaktion in zwei getrennten Wahrnehmungsräumen ineinander zu überführen. Dabei kann weniger auf existierende Wissensbestände aufgebaut werden. Die Konstruktion neuer mentaler Modelle für den Interaktionsprozess erfordert zusätzliche kognitive Ressourcen. Im Resultat ist die Interaktion weniger intuitiv, Spatial-Presence-Episoden sind unwahrscheinlicher.

Spatial Mapping ist relevant, um im Sinne des Human-Centered-Design-Paradigmas Interaktionen mit Technik zu modellieren, die sich durch einfachere Bedienung auszeichnet – vor allem bei inaffinen Nutzern. Im Feld der Sensomotorik steht die Wahrnehmung von Reizen und gleichzeitiges, damit verbundenes motorisches Handeln im Fokus der Betrachtungen. Das Embodiment-Konzept als ein Paradigma der Kognitionswissenschaft (siehe 2.7.2) thematisiert gleichermaßen die ganzheitliche Wechselwirkung von psychischen Zuständen und Körperzuständen. Die Interaktion mit Technik und die daraus resultierenden Effekte werden beim hier vorgestellten Ansatz zu Spatial Mapping also holistisch und als Wechselwirkung von Wahrnehmung und motorischen Reaktionen betrachtet.

In diesem Kapitel wird zunächst der Ansatz von Spatial Mapping im Detail vorgestellt und mit Beispielen veranschaulicht. Mentale Modelle spielen in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle. Weiterhin werden erforderliche Rahmenbedingungen und theoretische Effekte von Spatial Mapping diskutiert. Dabei lassen sich Forschungsergebnisse zur Wirkung stereoskopischer Medien (siehe 4.3) und Natural Mapping (siehe 5.3) mithilfe von Spatial Mapping in einem Modell zusammenführen. Schließlich wird für Spatial Mapping ein Strukturmodell aufgestellt, das verschiedene UX-Variablen und hypothetische Variablenbeziehungen der Modellkomponenten beinhaltet. Das Strukturmodell wird im weiteren Verlauf der Arbeit empirisch anhand von Experimenten überprüft.

6.1 Cognitive Mapping und Spatial Mapping

Der Begriff *Spatial Mapping* wird neben der Konzeptualisierung in dieser Arbeit auch von anderen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet. Prinzipiell wird darunter die Zuordnung und Kombination verschiedener räumlicher Informationen verstanden. Aktuelle Beispiele finden sich in der Atomphysik (z.B. Mapping von Modellen der Neutronenkinetik mit thermohydraulischen Modellen, Peltonen, Ma & Kozlowski, 2014), der Energieforschung, (z.B. Verteilung des Energieverbrauchs pro Gebäude in Großbritannien, Taylor, S. C. et al., 2014) oder der Mikrobiologie (z.B. Mapping der Vorgänge extrazellulärer Sauerstoffproduktion bei der Weißfäule von Holz, Hunt et al., 2013).

In der Robotik betrachten beispielweise Jefferies und Yeap (2008) Spatial-Mapping-Prozesse bei Robotern auf Basis der Theorie kognitiver Karten. Sie verstehen Spatial Mapping als einen Vorgang, bei dem Roboter mithilfe von Sensoren Informationen aus ihrer Umgebung aufnehmen, eine interne Repräsentation dieser Umgebung erstellen und selbständig aktualisieren. Diese Konzeptualisierung greift auf Analogien zur menschlichen Informationsverarbeitung zurück: Wie bereits unter 3.2.1 beschrieben, erzeugen Menschen mentale Repräsentationen ihrer räumlichen Umgebung. Diese werden in der Regel als kognitive Karten bzw. Landkarten (cognitive map, mental map) bezeichnet (z.B. Dodge, Kitchin & Perkins, 2011). Sie stellen mental vereinfachte Repräsentationen einer komplexen Realität dar. Der Begriff ist dabei eng mit Spatial Situation Models verwandt. Im Gegensatz zu SSM beziehen sich kognitive Karten auf

eine vereinfachte (geographische) Repräsentation einer Umgebung, beispielsweise den Heimatsort einer Person. Mentale Karten sind langfristig verfügbar, während Spatial Situation Models in einer spezifischen Situation erstellt werden und daher wesentlich mehr situative Details und weniger Abstraktionen umfassen. Im Zusammenhang mit kognitiven Karten wird auch beispielsweise in den Neurowissenschaften (z.B. Lerneffekte von Handlungssequenzen in räumlichen Umgebungen bei Primaten, Adachi, 2014) der Begriff Spatial Mapping verwendet.

Kognitive Karten bilden eine fruchtbare Grundlage für das Verständnis von Spatial Mapping im Rahmen dieser Arbeit. Dazu existiert bereits ein umfangreicher Korpus an Forschungsergebnissen, der bis in die 1970er Jahre zurückgeht. Mithilfe von Cognitive Mapping wird in dieser Tradition das menschliche Verhalten in Bezug auf seine unmittelbare Umgebung bzw. Umwelt erklärt (z.B. Downs, R. M. & Stea, 2011).

6.1.1 Cognitive Mapping

Cognitive Mapping wird als Prozess definiert, der eine Reihe psychologischer Transformationen beinhaltet mit denen ein Individuum Informationen über den relativen Ort und relevante Attribute von Phänomenen aus seiner räumlichen Umwelt akquiriert, kodiert, speichert, abrufen und dekodiert (Downs, R. M. & Stea, 2011, S. 312). Die physikalische Umgebung eines Individuums setzt sich aus einer Vielzahl von Objekten mit verschiedenen Eigenschaften und zahlreichen Informationen zusammen, die weder einheitlich verteilt sind, noch allgegenwärtig verfügbar sind. Die Umwelt bildet damit ein hochkomplexes System, das Individuen aufgrund eingeschränkter Mobilität sowie eingeschränkter sensorischer und informationsverarbeitender Fähigkeiten nie komplett erfassen können. Individuen aggregieren entsprechend ihrer begrenzten Möglichkeiten Informationen der Umgebung und bilden daraus eine für sie relevante Repräsentation der Umwelt. Diese Repräsentationen enthalten vor allem Informationen über die Orte und Attribute von Phänomenen oder Objekten. Auf Basis dieser Repräsentation werden Entscheidungen über das Verhalten in der Umgebung gefällt (Spatial Behavior).

Dieses Konzept kann gleichermaßen auf virtuelle Umgebungen übertragen werden: Auch hier werden in der Regel nur bestimmte Informationen der Umgebung wahrgenommen und verarbeitet, je nachdem wie reichhaltig die virtuelle Umgebung modelliert wurde. Als Resultat werden Repräsentationen der virtuellen Umgebung gebildet, auf deren Basis Entscheidungsprozesse für das Verhalten ablaufen.

Bei der Interaktion mit virtuellen Umgebungen ist der Nutzer prinzipiell mehreren Wahrnehmungsräumen ausgesetzt. Neben dem physikalischen Raum existiert der virtuelle Raum, der durch die Stimuli der VE konstruiert wird. Wenn ein Nutzer beispielsweise eine C.A.V.E. betritt, nimmt er zum einen möglicherweise technische Artefakte wahr (z.B. die Ecken und Kanten der Wände, Geräusche der Projektoren, ein ihm zur Verfügung gestelltes Eingabegerät, etc.). Zum anderen nimmt er die virtuelle Umgebung wahr, die ihm in der C.A.V.E. präsentiert wird. Das MEC-Modell (Wirth et al., 2007) beschreibt die Vorgänge, die in dieser Situation zu einer Spatial-Presence-Episode⁹ führen:

- 1) **Aufmerksamkeitsallokation:** Zunächst richtet der Nutzer seine Aufmerksamkeit (bewusste und unbewusste Anteile) auf die virtuellen Stimuli.
- 2) **Konstruktion eines Spatial Situation Models:** Wahrgenommene Spatial Cues und Vorerfahrung werden in ein Spatial Situation Model integriert (Top-Down- und Bottom-Up-Komponenten).
- 3) **Prüfung von Wahrnehmungshypothesen:** Prüfung, ob die wahrgenommene Umgebung einen primären Bezugsrahmen für das eigene Verhalten bietet. Hierbei konkurrieren die Bezugsrahmen der physikalischen und virtuellen Umgebung miteinander.
- 4) **Spatial-Presence-Episode:** Wird durch wiederholte Akzeptanz der Wahrnehmungshypothesen die virtuelle Umgebung als primärer egozentrische Referenzrahmen angenommen, tritt eine Spatial-Presence-Episode ein.

Je ähnlicher die physikalische und virtuelle Umgebungen zueinander sind, desto weniger Widersprüche liegen vor, desto weniger muss der Nutzer seine Ungläubigkeit aussetzen und

⁹ Zur Veranschaulichung wird in diesem Beispiel angenommen, dass die Erfahrung in der C.A.V.E. tatsächlich beim Nutzer eine Spatial-Presence-Episode auslöst.

desto einfacher lassen sich demzufolge die Wahrnehmungshypothesen in Schritt 3 zugunsten der virtuellen Umgebung akzeptieren.

6.1.2 Spatial Mapping

Spatial Mapping im Sinne dieser Arbeit meint, dass sich der wahrgenommene physikalische als auch der virtuelle Raum hinsichtlich der für die Interaktion relevanten Faktoren nicht unterscheiden, was somit die Prüfung der Medium-as-PERF-Hypothese (siehe 3.3.3) begünstigt. Auch Wirth et al. (2007) argumentieren, dass die Akzeptanz der Medium-as-PERF-Hypothese begünstigt wird, wenn mehrere Sinnesmodalitäten übereinstimmende Informationen liefern. Auf Basis des Reafferenzprinzips (Von Holst & Mittelstaedt, 1950) werden beispielsweise visuelle Informationen der virtuellen Umgebung und vestibulare Informationen auf Basis der physikalischen Umgebung miteinander abgeglichen und in einer Gesamtwahrnehmung kombiniert.

In diesem Zusammenhang kommt Natural Mapping ins Spiel: Da bei virtueller Umgebung in der Regel Interaktion mit der Umgebung möglich sind (im Gegensatz zu passiven Medien wie Film), wird die Ähnlichkeit der beiden Räume durch eine natürliche Eingabe gesteigert. NM ruft existierende Wissensbestände zur Art und Weise der Interaktion ab und erlaubt damit eine intuitive Interaktion. Es werden weniger kognitive Ressourcen auf die Interaktion selbst verwendet.

Spatial Mapping stellt in diesem Sinne eine Erweiterung von Natural Mapping dar, bei der zusätzlich räumliche Informationen von Phänomenen (vgl. Cognitive Mapping) auf Basis des Vorwissens abgerufen werden und ebenso wie NM die mentalen Modelle für die Interaktion mit dem System ergänzen. Ein hohes bzw. natürliches Spatial Mapping ist demzufolge eine isomorphe Verknüpfung von wahrgenommener physikalischer (realer) Umgebung und virtueller Umgebung. Um die Begriffsgebilde von Natural Mapping analog bei Spatial Mapping zu verwenden, kann man von Natural Spatial Mapping (Isomorphismus) und Abstract Spatial Mapping (kein Isomorphismus) sprechen.

Hohes Spatial Mapping liegt dann vor, wenn Position, Abstände, Entfernungen und die Größe von wahrgenommenen Objekten in beiden Wahrnehmungsräumen übereinstimmen. Die hohe Ähnlichkeit der beiden Wahrnehmungsräume begünstigt im Resultat die Akzeptanz der

Medium-as-PERF-Hypothese und damit Spatial-Presence-Episoden. Gleichzeitig sollte sie den Transfer von Wissen und physikalischen Fertigkeiten in die virtuelle Umgebung fördern (Abruf existierender mentaler Modelle, Skripte und Schemata) sowie den Transfer von in der virtuellen Umgebung erworbenen Fertigkeiten (z.B. Motor Learning) auf die Realität vereinfachen.

Niedriges Spatial Mapping liegt vor, wenn nutzerseitige Transformationsprozesse notwendig sind, um die Interaktion in getrennten Wahrnehmungsräumen ineinander zu überführen. Konfligierende Stimuli bezüglich der physikalischen oder virtuellen Umgebung schwächen die Medium-as-PERF-Hypothese und führen demzufolge mit einer geringen Wahrscheinlichkeit zu Spatial-Presence-Episoden.

Hohes Spatial Mapping resultiert darin, dass weniger kognitive Ressourcen für Transformationsprozesse bzw. die Konstruktion mentaler Modelle für die Interaktion aufgewendet werden müssen. Diese Ressourcen stehen anderweitig zur Verfügung. Der limitierende Faktor ist dabei jedoch, dass die Interaktion so gestaltet sein muss, dass sie von einer räumlichen Umgebung mit hohem Spatial Mapping tatsächlich profitieren kann, der verfügbare Detailgrad bei der Eingabe und Ausgabe also für den Nutzer handlungsrelevant ist. Ist dies der Fall, sollten hypothetisch positive Effekte für eine natürliche Eingabe (NUI) und Ausgabe (hochwertiges SSM durch z.B. Stereoskopie) für die Leistung und UX in der virtuellen Umgebung auftreten.

6.1.3 Beispiele für Spatial Mapping

Der Unterschied zwischen hohen und niedrigen Spatial Mapping soll anhand von zwei Beispielen verdeutlicht werden (siehe Tabelle 6). Der Interaktionsgegenstand ist bei beiden Systemen ähnlich. In System A wird virtuelles Tischtennis gespielt, in System B virtuelles Tennis.

Tabelle 6. *Beispiel-Systeme für Spatial Mapping*

	System A: Virtuelles Tischtennis	System B: Wii Sports Tennis
Eingabemodalität	Tischtennisschläger, optisches Tracking durch Marker (6-DOF)	Wii Remote Controller, optisches Tracking (Infrarot) sowie Inertialsensoren (6-DOF)
Ausgabemodalität	Stereoskopische Powerwall (5x3 m) mit berechneter dynamischer Egoperspektive basierend auf Head-Tracking-Daten	Monoskopischer Flatscreen-Fernseher (65“) mit fester Third-Person-Perspektive
Interaktionsgegenstand	Virtuelles Tischtennis	Virtuelles Tennis
Eingaberaum	Dreidimensionaler Eingaberaum, Realistic Tangible Natural Mapping, exaktes 1:1 Mapping von Positionen und Abständen der Bewegungen des Tischtennisschlägers und der Berechnung im VR-System	Dreidimensionaler Eingaberaum, Realistic Tangible Natural Mapping, starke Abstraktion von Eingabeinformationen auf wenige Eingabehandlungen
Ausgaberaum	Dreidimensionaler Ausgaberaum, korrekte egozentrische Perspektive mit binokularen Spatial Cues	Zweidimensionaler Ausgaberaum, objektive Perspektive und Darstellung eines Avatars
Input Mapping	Nutzeraktion: Schlagbewegung Virtuelle Handlung: Schlag	Nutzeraktion: Schlagbewegung Virtuelle Handlung: Schlag
Spatial Mapping	Hohes Spatial Mapping (Natural Spatial Mapping)	Niedriges Spatial Mapping (Abstract Spatial Mapping)

System A ist ein VR-System und besteht aus einer 5x3 m großen stereoskopischen Powerwall als Projektionsfläche. Der Nutzer hat die Aufgabe virtuelles Tischtennis zu spielen und nutzt dafür als Eingabegerät einen realen Tischtennisschläger, der mittels Marker durch ein optisches Tracking-System erfasst wird (6-DOF). Zusätzlich werden die Kopfbewegungen des Nutzers mittels Head-Tracking erfasst, sodass ihm zu jedem Zeitpunkt dynamisch die korrekte Egoperspektive berechnet und angezeigt werden kann. Die Ausgabe des Systems beinhaltet Stereoskopie und liefert daher zusätzliche binokulare Spatial Cues zur Tiefeneinschätzung.

Der Eingaberaum ist dreidimensional, d.h. er nutzt drei Koordinatenachsen (X, Y, Z). Diese werden vom System erfasst (6-DOF) und für die Berechnung der Simulation herangezogen. Dabei wird ein 1:1 Mapping der Positionen, Abstände und Winkel des realen Tischtennisschlägers zum virtuellen Modell des Tischtennisschlägers vorgenommen. Weiterhin ist auch der Ausgaberaum dreidimensional, dem Nutzer stehen monokulare und binokulare Tiefeninformationen zur Verfügung. Dank der dynamisch berechneten Egoperspektive kann sich der Nutzer vor der Power-Wall bewegen, ohne fehlerhafte binokulare Stimuli wahrzunehmen.

Es liegt ein natürliches Input-Mapping vor: Die Aktion des Nutzers besteht beispielsweise in einer Schlagbewegung mit dem Tischtennisschläger, die vom System 1:1 als virtuelle Schlagbewegung übersetzt und für die Berechnung herangezogen wird. Insgesamt liegt ein hohes Spatial Mapping vor (siehe Abbildung 47).

Abbildung 47. VR-Tischtennis als Beispiel für hohes Spatial Mapping (eigene Darstellung)

System B ist ein kommerzielles Computerspiel für die Nintendo Wii Spielkonsole (*Wii Sports Tennis*, Nintendo, 2010). Die Aufgabe des Nutzers besteht darin, Tennis zu spielen. Für die Anzeige kommt ein 65-Zoll-Fernseher zum Einsatz. Da die Spielkonsole keine stereoskopische Ausgabe unterstützt, läuft der Fernseher im 2D-Modus. Als Eingabegerät steht dem Nutzer der Wii Remote Controller zur Verfügung. In der virtuellen Umgebung wird der Spieler von einem Avatar vertreten, der die Bewegungen des Eingabegeräts ausführt. Die Anzeige ist dabei statisch und wird aus der Third-Person-Perspektive dargestellt (siehe Abbildung 48).

Abbildung 48. Wii Sports Tennis als Beispiel für niedriges Spatial Mapping (Davis, R., 2006/eigene Darstellung)

Der Eingaberaum ist dreidimensional, d.h. er nutzt ebenfalls drei Koordinatenachsen (X, Y, Z). Diese werden vom System erfasst (6-DOF) und für die Berechnung der Simulation herangezogen. Im Gegensatz zu System A findet jedoch kein 1:1 Mapping der Positionen, Abstände und Winkel des Eingabegeräts statt. Durch den Einsatz des Avatars müssen die realen Bewegungen transformiert und auf den Avatar abgebildet werden. Die Spielkonsole reduziert jedoch zugunsten einer geringen Spielschwierigkeit die Komplexität der Bewegungen maßgeblich. Die Kombination von Laufbewegungen des Spielers (Vor-/Zurücklaufen und Körperausrichtung) wird vom System lediglich als Differenzierung zwischen Vor- und Rückhand sowie zwischen Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen verarbeitet. Der Ausgaberaum suggeriert in der Darstellung des Avatars auf dem Spielfeld jedoch einen größeren physikalisch erlebbaren Eingaberaum, der letztlich gar nicht existiert. Der Ausgaberaum ist zweidimensional, binokulare Informationen stehen nicht zur Verfügung.

Es liegt erneut ein natürliches Input-Mapping vor: Wie auch in System A besteht die Nutzeraktion beispielsweise aus einer Schlagbewegung mit dem Eingabegerät. Das System reduziert

jedoch die Komplexität der Eingabeinformationen und setzt vereinfachte physikalische Berechnungen für die Simulation ein. Dem System stehen zwar potenziell präzisere Informationen zur Verfügung, allerdings werden diese nicht genutzt. So reicht zum Schlagen beispielsweise nur eine schnelle Bewegung des Handgelenks aus, der Schläger muss dazu nicht physikalisch korrekt ausgerichtet sein. Aller Wahrscheinlichkeit nach bemerkt der Nutzer die reduzierte Komplexität im Laufe der Interaktion und wird sich entsprechend anpassen: Es ist vorstellbar, dass er aus Effizienzgründen seine eigenen Eingabehandlungen weniger komplex ausführen wird und die notwendigen Transformationsprozesse des Systems lernt. Insgesamt liegt ein niedriges Spatial Mapping vor (Abstract Spatial Mapping).

Abbildung 49 skizziert das Spatial Mapping des physikalischen und virtuellen Raumes in beiden Systemen. Beim links abgebildeten System A sind diese isomorph, beim rechts abgebildeten System B müssen nutzerseitig Transformationsprozesse stattfinden, um die eigenen Aktionen und Bewegungen vom physikalischen Raum (blau hinterlegt) auf den Avatar bzw. die virtuelle Umgebung zu übertragen (orange hinterlegt).

Abbildung 49. Beispiele: System A (Natural Spatial Mapping) mit kombinierten Wahrnehmungsraum und System B (Abstract Spatial Mapping) mit getrennten Wahrnehmungsräumen (eigene Darstellung).

6.2 Relevanz des Interaktionsgegenstands für Spatial Mapping

Nicht bei allen Interaktionen ist eine räumliche Zuordnung tatsächlich sinnvoll. Hat die räumliche Umgebung beispielsweise keine Relevanz für die Interaktion, sollte Spatial Mapping auch keine Auswirkungen auf das Nutzererleben oder seine Leistung haben und kann daher vernachlässigt werden.

Ein hoher Detailgrad bei der Eingabe (in Form von Natural Mapping) und der Ausgabe (in Form von Umgebungen mit hochwertigen und konsistenten Spatial Cues inkl. stereoskopischer Darstellung) bietet Nutzern zwar ideale Voraussetzungen für intensive Erfahrungen im Allgemeinen bzw. für Spatial-Presence-Episoden im Besonderen. Der dadurch verfügbare Detailgrad an Informationen muss jedoch auch relevant für die Interaktion und damit handlungsrelevant für den Nutzer sein. Bietet eine VE beispielsweise eine reichhaltige stereoskopische Umgebung mit der Erkennung von Körpergesten als Eingabehandlungen, während die Interaktion aber lediglich das Reagieren auf akustische Stimuli mit einer einfachen Wischgeste erfordert, sind die zusätzlich verfügbaren Informationen für die Aufgabe irrelevant und sollten die UX nicht bereichern. Sie könnten im Gegenteil die UX sogar verschlechtern, da Effekte wie Simulationskrankheit und körperliche Ermüdung eintreten können und den Eindruck der Unangemessenheit der Ein- bzw. Ausgabemodalitäten für die gestellte Aufgabe verstärken können.¹⁰ Ähnlich wie bei Natural Mapping ist daher auch bei Spatial Mapping der Kontext der Interaktion bzw. deren genauer Gegenstand entscheidend.

Es lassen sich demzufolge drei relevante Komponenten für Spatial Mapping identifizieren:

- 1) Detailgrad der Eingabemodalitäten
- 2) Detailgrad der Ausgabemodalitäten
- 3) Interaktionsgegenstand, der einen hohen Detailgrad von Eingabe- und Ausgabemodalitäten relevant macht

Das Zusammenspiel dieser drei Komponenten soll noch einmal anhand der unter 6.1.3 diskutierten Beispiele verdeutlicht werden. System A (virtuelles Tischtennis) und System B (Wii Sports Tennis) verfügen beide über einen sehr ähnlichen Interaktionsgegenstand (Tischtennis

¹⁰ Siehe analog dazu die Diskussion zum Beispiel von *Minority Report* (Spielberg, 2002) unter 5.2.1.

bzw. Tennis). Beide Systeme ermöglichen eine Eingabe mittels NUI (6-DOF), indem Spieler Schlagbewegungen mit dem jeweiligen Schläger bzw. Controller ausführen. Der Detailgrad der Eingabemodalitäten ist jedoch verschieden: Während System A die Nutzereingaben präzise erfasst und die vollständigen Bewegungen für die Berechnung der Interaktion heranzieht, werden die Eingaben in System B stark abstrahiert. Der Grund dafür liegt in der Gestaltung der Interaktion: System B erhebt im Gegensatz zu System A nicht den Anspruch einer physikalisch korrekten Computersimulation. Die Vereinfachung der Interaktion verhilft auch unerfahrenen Spielern zu Erfolgserlebnissen und Selbstwirksamkeitserfahrungen (vgl. z.B. Juul, 2009). Der Interaktionsgegenstand erfordert dafür keine räumlich hoch aufgelöste Eingabe. Der Spieler selbst ist zudem nicht Teil der dargestellten Umgebung, da der Avatar auf dem Bildschirm die Spielerhandlungen stellvertretend abbildet. Folglich ist es auch nicht zwingend notwendig, die Lage der virtuellen Objekte in Bezug zur Lage des Spielers zu berechnen und mithilfe detaillierter Tiefeninformationen auszugeben. Es reicht aus, die Lage des Avatars als Bezugspunkt zu verwenden. Präzise (binokulare) Tiefeninformationen sind für die Interaktion ebenfalls nicht notwendig, da der Avatar als Referenzobjekt für die Entfernungsschätzung innerhalb der virtuellen Umgebung dient.

Ein hoher Detailgrad der Ein- bzw. Ausgabemodalitäten im Rahmen von Spatial Mapping ist also nur dann für den Nutzer von Vorteil, wenn beides für die Interaktion relevant ist. Beispielsweise hat stereoskopische Darstellung nur dann einen positiven Einfluss auf das Spielerlebnis bei einem Computerspiel, wenn räumliche Tiefeninformationen zur Bewältigung der Spielaufgabe notwendig sind.¹¹

Die Interaktionen lassen sich hinsichtlich relevanter Dimensionen räumlicher Eingabeinformationen unterscheiden:

- 1) Interaktion erfordert eindimensionale Eingaben.
- 2) Interaktion erfordert zweidimensionale Eingaben.
- 3) Interaktion erfordert dreidimensionale Eingaben.

¹¹ Diesen Ansatz verfolgen auch Schild und Masuch (2011), der bereits unter 4.3.3 vorgestellt wurde.

Damit ist gemeint, in welcher Form die Nutzer mit dem System interagieren können bzw. welche Informationen tatsächlich verarbeitet werden können. Eine eindimensionale Eingabe erfordert vom Nutzer nur einfache räumliche Informationen, der Nutzer führt beispielsweise Bewegungen aus, die nur auf einer Koordinaten-Achse erfasst werden, z.B. der X-Achse (siehe Abbildung 50).

Abbildung 50. Interaktionsraum einfacher, eindimensionaler Interaktionen (eigene Darstellung).

Die Interaktion bei den ersten Computer-Rennspielen wie *Space Race* (Atari Inc., 1973) erfolgte mit sogenannten Zweiwege-Joysticks. Das Fahrzeug in *Space Race* bewegte sich selbstständig vorwärts, die Spieler mussten lediglich nach links oder rechts lenken. Ähnlich mussten auch Spieler in *Breakout* (Wozniak, 1976) einen Schläger am unteren Bildschirmrand nach links bzw. rechts steuern, um mit einem Ball „Mauersteine“ am oberen Bildschirmrand zu treffen. Die Interaktion findet nur auf einer eindimensionalen Strecke statt, zusätzliche räumliche Informationen sind nicht relevant.

Wesentlich häufiger werden zweidimensionale Eingaben bei Computerspielen verarbeitet. Nutzer interagieren in diesem Zusammenhang entlang zweier Koordinatenachsen, beispielsweise die X- und Y-Achse (siehe Abbildung 51).

Abbildung 51. Interaktionsraum zweidimensionaler Interaktionen (eigene Darstellung).

Moderne Computer-Rennspiele (z.B. *Gran Turismo 5*, Polyphony Digital Inc., 2010), Plattformspiele (z.B. *Super Mario Bros.*, Miyamoto, 1985) sowie prinzipiell alle anderen Spiele aus einer Seitenansicht oder Draufsicht erfordern eine derartige zweidimensionale Eingabe. Die Interaktion umfasst dabei eine Steuerung nach links, rechts, oben oder unten. Für die Interaktion sind dreidimensionale Informationen nicht zwingend relevant. Dies kann auch einer der Gründe sein, warum in den in Kapitel 4 vorgestellten Studien zu Stereoskopie bei Computer-Rennspielen wie *Need for Speed: Pro Street* (Electronic Arts Black Box, 2007) keine Effekte für die Spielleistung gefunden wurden. Da die Interaktion auf zwei Dimensionen abläuft, dürfte sich kein signifikanter Mehrwert dreidimensionaler Ein- oder Ausgabegeräte zeigen. Auch der Einsatz von Lenkrad-Controllern bei Rennspielen verändert nicht die grundlegende Art der Interaktion. Sie wird zwar als natürlicher vom Nutzer wahrgenommen, erfordert allerdings trotzdem nur zweidimensionale Handlungen vom Nutzer. Dies ist speziell in Bezug auf den Interaktionsgegenstand kein Nachteil, da beim realen Autofahren ebenfalls nur zweidimensionale Eingabehandlungen zum Einsatz kommen. Bei Computer-Rennspielen mit hohem Natural Mapping sind weniger Transformationenprozesse in Bezug auf den Eingabe- und den Ausgaberaum notwendig, weil die reale Entsprechung der Interaktion eine gleichermaßen geringere Dimensionalität aufweist.

Die Verarbeitung dreidimensionaler Eingaben erfordert in der Regel auch einen dreidimensionalen Anzeigeraum. Computerspiele, die eine dreidimensional erlebbare virtuelle Umgebung einsetzen (z.B. Ego-Shooter) ermöglichen Nutzern, sich auch frei darin zu bewegen bzw. sich umzuschauen. Die Interaktion umfasst drei Koordinatenachsen und macht damit ein hohes Spatial Mapping auf Basis von Eingabegeräten mit Erfassung natürlicher Bewegungen erst prinzipiell möglich (siehe Abbildung 52).

Abbildung 52. Interaktionsraum komplexer, dreidimensionaler Interaktionen (eigene Darstellung).

Die Nutzerhandlungen bestehen aus Bewegungen, die entweder mit abstrakten Eingabemethoden (z.B. Gamepad oder Tastatur) abgebildet, oder aber auch mit natürlichen Eingabemethoden (z.B. Körper-Tracking und Gestenerkennung) umgesetzt werden können. Da der Interaktionsraum in die Bildebene hinein- bzw. hinausgeht, wird ein dreidimensionaler Interaktionsraum aufgespannt. Objekte vor und hinter dem Nutzer sowie Entfernungen der Objekte im dreidimensionalen Raum werden somit relevant, sodass entsprechend hochwertige räumliche Ausgabeinformationen Vorteile für die Absolvierung der erforderlichen Interaktionshandlungen bringen. Da die reale Entsprechung der Bewegung durch dreidimensionale Räume hohe Anforderungen an die verfügbaren Rauminformationen stellt, sind gleichermaßen dreidimensionale Ein- und Ausgaben erforderlich, um ein hohes bzw. natürliches Spatial Mapping zu realisieren.

Prinzipiell wäre auch eine Interaktion vorstellbar, die überhaupt keine räumlichen Informationen verarbeitet. Dies wäre beispielsweise dann der Fall, wenn die Interaktion aus einem Tastendruck als Reaktion auf einen einfachen Hinweisreiz besteht. Da aber damit auch keine räumliche Umgebung vorliegt, soll eine solche Interaktion an dieser Stelle ausgeklammert werden.

Letztlich bleibt festzuhalten, dass die Gestaltung der Interaktion bereits die notwendige Dimensionalität der Ein- und Ausgaberräume vorgibt und dass ein- sowie zweidimensionale Interaktionen theoretisch nicht von zusätzlichen Dimensionen bei der Ein- oder Ausgabe profitieren sollten. Ein hohes Spatial Mapping kann für alle drei Dimensionen realisiert werden, wenn das Zusammenspiel der Ein- und Ausgabeinformationen entsprechend auf die Dimensionalität der Interaktionshandlung abgestimmt ist.

6.3 Spatial Mapping und mentale Modelle

Im Rahmen dieser Arbeit wurden bereits verschiedene Formen mentaler Modelle diskutiert (siehe 3.2.1). Prominent waren dabei Spatial Situation Models, die räumliche Informationen einer Umgebung für eine spezifische Situation enthalten. Die Art und Weise der Interaktion bzw. die Gestaltung der Nutzeraufgabe entscheidet darüber, ob Spatial Mapping die UX bereichern kann. Die Interaktionshandlungen müssen dabei mit einer angemessenen Kombination von Ein- und Ausgabemodalitäten verbunden werden.

Im Zusammenhang der Interaktion mit räumlichen Umgebungen umfassen mentale Modelle neben den reinen Rauminformationen jedoch auch Informationen über die zu erwartende Interaktion selbst. Nutzer konstruieren bei der ersten Interaktion mit einem Computersystem zunächst ein mentales Modell über den Interaktionsprozess. In diesem Modell werden physikalische Aktionen und damit verbundene virtuelle Handlungen spezifiziert (Input Mapping). Wie bereits diskutiert, erleichtert Natural Mapping die Interaktion, da auf bereits vorhandene Modelle aufgebaut werden kann. Der Interaktionsprozess beinhaltet aber auch zusätzliche Eigenschaften wie den Interaktionsgegenstand bzw. das Szenario (z.B. Tischtennis) oder die Regeln der virtuellen Umgebung (z.B. Physik oder Spielregeln). Diese Situationsmodelle können daher auch als *Interaktionsmodelle* bezeichnet werden. Interaktionsmodelle werden genauso wie alle anderen Formen mentaler Modelle in einer Kombination von Bottom-Up- und

Top-Down-Prozessen gebildet. Neben dem Mapping der Eingabegeräte und der räumlichen Umgebung umfassen Interaktionsmodelle aber zusätzlich Informationen zu den Interaktionsaffordanzen eines virtuellen Szenarios. Die Affordanzen beschreiben ein bestimmtes Set an möglichen Handlungen, die mit einzelnen Objekten der virtuellen Umgebung ausgeführt werden können (z.B. Bewegen von Objekten, Öffnen von virtuellen Türen). Die wahrgenommenen Stimuli der Systemausgabe dienen als Grundlage für die ständige Aktualisierung und Verbesserung des Interaktionsmodells.¹²

Bei der Interaktion mit einem System mit niedrigem Spatial Mapping muss das Interaktionsmodell zusätzlich die notwendigen Transformationsprozesse der verschiedenen Wahrnehmungsräume und der Interaktionshandlung selbst abbilden. Bei hohem Spatial Mapping sinkt die Komplexität des Interaktionsmodells, da auf bestehende mentale Modelle bzw. Schemata für die Interaktion zurückgegriffen werden kann.

6.4 Pfadmodell Spatial Mapping

In Kapitel 5 wurden einige Studien zu Natural Mapping bei Computerspielen vorgestellt, die Pfadmodelle der Wirkzusammenhänge aufgestellt und empirisch geprüft haben (Downs, E. P. & Oliver, 2009; Schmierbach et al., 2012; Shafer et al., 2011; Skalski et al., 2011). Da Spatial Mapping als Erweiterung von Natural Mapping verstanden werden soll, lassen sich Ergebnisse zu NM auf das neue Modell übertragen. Das Ziel ist hierbei, ein Pfadmodell für die kausalen Wirkzusammenhänge von Spatial Mapping auf die User Experience und Performance aufzustellen. Die Pfadanalyse stellt einen Spezialfall von Strukturgleichungsmodellen dar, bei der nur einzelne Indikatoren als manifeste Variablen für interessierende latente Variablen eines Kausalmodells herangezogen werden (Weiber & Mülhhaus, 2014, S. 25ff). Abbildung 53 zeigt den grundlegenden Kausalzusammenhang von Spatial Mapping über die Relevanz des SM für den Interaktionsgegenstand auf die User Experience und Performance.

¹² Boyan (2009) verwendet für eine ähnliche Konzeption mentaler Modelle bei Computerspielen den Begriff *game model*. Diese Modelle enthalten die Strukturen und Beziehungen diskreter Elemente der Interaktion in einem Computerspiel (S. 16-17) und beinhalten damit auch alle möglichen Interaktionen innerhalb der Spielwelt und die damit assoziierten Grenzen der Spielerhandlungen.

Abbildung 53. Grundlegendes hypothetisches Modell

Hohes Spatial Mapping beschreibt die Wahrnehmung eines kombinierten Interaktionsraums. Als Kernbestandteile wurden dafür drei Komponenten identifiziert:

- 1) Eingabemodalitäten (Natural Mapping)
- 2) Ausgabemodalitäten (Naturalness, Visual Fidelity)
- 3) Interaktionsgegenstand (Task Adequacy)

Die Dimensionalität bzw. Qualität der Eingabemodalitäten reicht vom einfachen Tastendruck bis zum dreidimensionalen Tracking des kompletten Körpers, die Ausgabemodalitäten liefern unterschiedlich viele und hochwertige Spatial Cues, die eine natürliche bzw. besonders reichhaltige räumliche Umgebung darstellen sollen. Der Interaktionsgegenstand kann dabei ebenfalls unterschiedliche Dimensionen erfordern. Die Kombination dieser drei Bestandteile resultiert entsprechend in einer Konfiguration auf dem Kontinuum zwischen niedrigem und hohem Spatial Mapping. Ausgangspunkt des Modells sind demzufolge die drei Basiskomponenten.

Im Rahmen der Studien zu NM wurde ein Einfluss von natürlichen Eingabegeräten als Einfluss auf die wahrgenommene Natürlichkeit, Spatial Presence, Spielschwierigkeit, Spielleistung und Unterhaltung empirisch belegt (Abeele et al., 2013; Downs, E. P. & Oliver, 2009; McGloin & Krcmar, 2011; Schmierbach et al., 2012; Shafer et al., 2011; Skalski et al., 2011).

Bei Skalski et al. (2011) zeigte sich der Einfluss von NM auf Unterhaltung und Spatial Presence nur über die wahrgenommene Natürlichkeit als Mediatorvariable. Ein direkter Einfluss wurde nicht gefunden. Im Modell von Schmierbach et al. (2012) ergab sich ein starker direkter Einfluss von NM auf wahrgenommene Natürlichkeit, jedoch auch nur ein indirekter Einfluss auf

Presence und Identification. Bei Shafer et al. (2011) wurden hingegen direkte Effekte gezeigt. In der Modellierung von Downs, E. P. und Oliver (2009) wurde ein direkter positiver Einfluss von NM auf Presence und Unterhaltung, zudem aber auch ein negativer direkter Einfluss von NM auf die Spielleistung identifiziert. Die Eingabegeräte wurden in den Studien allerdings bei Interaktionen mit hohem Spatial Mapping (Rennspiel aus der Cockpit-Perspektive bei Schmierbach et al., 2012; und bei Skalski et al., 2011) und niedrigem Spatial Mapping (Golf-Spiel mit Avatar bei Downs, E. P. & Oliver, 2009; und Box-Spiel mit Avatar bei Shafer et al., 2011) eingesetzt. Beide Studien mit hohem Spatial Mapping zeigten indirekte Effekte über die wahrgenommene Natürlichkeit der Interaktion als Mediator, weshalb auch im Spatial-Mapping-Modell von einem indirekten Einfluss auf Presence und Unterhaltung ausgegangen wird. Ein Einfluss von Presence auf Unterhaltung wurde in einigen Studien zwar gefunden (z.B. Downs, E. P. & Oliver, 2009), in anderen hingegen nicht (z.B. Abeelee et al., 2013; Schmierbach et al., 2012; Shafer et al., 2011; Skalski et al., 2011). Es wird entsprechend der mehrheitlichen Forschungsergebnisse von keinem Einfluss von Spatial Presence auf die Unterhaltung ausgegangen. Spatial Presence wird im MEC-Modell (Wirth et al., 2007) als zweistufiger Prozess verstanden, bei dem zunächst ein Spatial Situation Modell konstruiert wird. Im Rahmen dieser Konzeption werden SSM als Prädiktoren für Spatial Presence in das Modell integriert (Hofer et al., 2012). Die Qualität der räumlichen Umgebung in Form des SSM kann jedoch positive Effekte auf die Leistung haben, da ein besseres SSM mehr vorteilhafte Rauminformationen beinhalten könnte. Vorwissen und domänenspezifische Fertigkeiten sind allerdings die wichtigsten Prädiktoren für die Leistung.

Das Unterhaltungserleben hängt zum Großteil von erfolgreichen Interaktionen und dem Selbstwirksamkeitserleben (z.B. Erfolg bei einer gestellten Aufgabe) sowie weiteren inhaltlichen medialen Aspekten wie Narration oder Spannung und weiterhin auch von Nutzervariablen wie domänenspezifisches Interesse ab. Unterhaltung ist damit nur sehr schwer in ein Spatial-Mapping-Modell einzuordnen.

Entsprechend des MEC-Modells sollte die Anzahl und Qualität der multisensorischen Stimuli einen Einfluss auf die Bildung des Spatial Situation Models haben (Wirth et al., 2007). Im Strukturmodell von Hofer et al. (2012) wurde diese Annahme hingegen nicht modelliert. Der Einfluss von stereoskopischer Darstellung (und damit eine höhere Qualität von Spatial Cues)

wurde beispielsweise in einer Studie von Schild et al. (2014) als positiver Prädiktor für das SSM im MEC-Modell bestätigt. Die Interaktion in der Studie war dabei so gestaltet, dass binokulare Spatial Cues eine hohe Relevanz für den Spielerfolg hatten. Spieler mussten ein Raumschiff durch eine dreidimensionale Umgebung steuern, bei der monoskopische Spatial Cues künstlich reduziert wurden. Insgesamt besitzt das System bei Schild und Kollegen zwar ein geringes Maß an Spatial Mapping, die Relevanz der Ausgabeinformationen wurde hingegen explizit thematisiert. In einem Spatial-Mapping-Modell sollte also diese Relevanz ebenfalls abgebildet werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass hohes Spatial Mapping eines Systems nur dann positive Effekte haben sollte, wenn es für die Interaktion relevant ist. Es muss also eine adäquate Systemkonfiguration vorliegen, um eine gegebene Aufgabe zu lösen. Es sollten demzufolge keine direkten Effekte für die Spatial-Mapping-Komponenten auftreten, sondern indirekte Effekte mit der Aufgabenrelevanz als Mediatorvariable sichtbar werden. Dieses Konstrukt soll in dieser Arbeit als Aufgabenadäquanz bzw. Task Adequacy bezeichnet werden.

Abbildung 54 zeigt ein einfaches Pfadmodell auf Basis der manifesten Konstrukte existierender Forschungsarbeiten.

Abbildung 54. Hypothetisches Pfadmodell für Spatial Mapping auf Basis existierender Forschung

Das Pfadmodell lässt sich allerdings noch vereinfachen. Liegt hohes Natural Mapping vor, wird dies in der Regel auch als sehr natürlich empfunden. Analog dazu wird eine detaillierte Umgebung mit vielen Spatial Cues als natürlicher empfunden. Wenn man also davon ausgeht, dass „Perceived Natural Mapping“ und „Naturalness/Visual Fidelity“ als Konstrukte für einen Manipulation-Check eingesetzt werden, lassen sie sich aus dem Modell streichen. Empirisch sollten beide Konstrukte dennoch erfasst werden, um sicherzustellen, dass die gewünschte Ausprägung tatsächlich vorlag.

Abbildung 55 zeigt das finale hypothetische Pfadmodell.

Abbildung 55. Vereinfachtes hypothetisches Pfadmodell für Spatial Mapping

6.5 Experimentelle Überprüfung

Pfadmodelle sind theoretisch hergeleitete Kausalmodelle, die auf Basis von multiplen Regressionsanalysen berechnet werden. Dabei kommen im Gegensatz zu vollständigen Strukturgleichungsmodellen keine Messmodelle zum Einsatz. Bei der Pfadanalyse werden einzelne Indikatoren herangezogen, die ein Konstrukt theoretisch vollständig abbilden (Bortz & Schuster, 2010; Weiber & Mülhhaus, 2014, S. 25ff). Beispielsweise wird angenommen, dass der MEC-SPQ die Dimensionen „SSM“ und „Spatial Presence“ vollständig erfasst und keine Messfehler enthält. Für jeden Pfad wird ein Pfadkoeffizient p_{yx} angegeben. Dabei handelt es sich um den

standardisierten partiellen Regressionskoeffizienten β_{yx} . Jede beobachtete Korrelation zwischen zwei Variablen umfasst die Summe der direkten und indirekten Kausaleffekte sowie der indirekt korrelierten Effekte und der Effekte von Drittvariablen. Der kausale Gesamteffekt („total effect“) eines exogenen Merkmals ergibt sich aus der Summe aller direkten und indirekten Kausaleffekte (Bortz & Schuster, 2010, S. 443). Im Rahmen der Überprüfung müssen also Modellkomponenten experimentell erhoben werden, um einerseits die im Pfadmodell zusammengefassten Hypothesen zu überprüfen (Modellanpassung) und um andererseits die Richtung und die Beträge der einzelnen Kausaleffekte zu erfassen (Modellparameter).

Das Pfadmodell wurde anhand von zwei Einzelexperimenten untersucht. Diese wurden im Rahmen verschiedener Typen virtueller Umgebungen durchgeführt, sodass sich die Nutzeraufgabe und die Relevanz von Spatial Mapping für die durchgeführte Aufgabe bei beiden Experimenten unterschieden. Somit wurde der Faktor „Task“ zwischen beiden Experimenten variiert.

Experiment 1 wurde mit einer Computer-Rennspiel-Simulation (*Gran Turismo 5*; Digital Polyphony, 2010) durchgeführt, bei der die Natürlichkeit der Eingabegeräte (Faktor „Natural Mapping“) sowie die stereoskopische Darstellung (Faktor „Spatial Cues“) variiert wurden (2×2 Design). Das System zielt als kommerzielle Unterhaltungssoftware primär auf eine mediale Unterhaltung der Nutzer ab, anstatt auf Lern- bzw. Transfereffekte der virtuellen Fahrerfahrung. Die Gestaltung der Software umfasst Möglichkeiten, diese ohne zusätzliche Modifikation mit verschiedenen Eingabegeräten und Anzeigenmodalitäten einzusetzen. Dabei nimmt sie in Kauf, dass alle verwendbaren Modi dem Gesamtziel der Unterhaltung zugutekommen müssen. Die Nutzung stereoskopischer Darstellung ist daher beispielsweise optional – die Simulation ist so gestaltet, dass sie auch problemlos ohne funktionieren muss. Die Relevanz von stereoskopischen Informationen kann also nur eher gering sein. Gleiches gilt für die Natürlichkeit der Eingabe: Der Einsatz eines Lenkrades verändert eindeutig die Spielerfahrung, die Simulation muss aber auch mit einem klassischen Gamepad-Controller steuerbar sein und den Nutzer unterhalten. Computer-Rennspiele wurden bereits als Beispiel für einen zweidimensionalen Interaktionsgegenstand genannt. Da die reale Interaktion beim Autofahren auch nur zwei-

dimensionale Eingaben vom Nutzer erfordert, ist die Spielkonsole mithilfe eines Lenkrad-Controllers gut dazu in der Lage ein hohes Spatial Mapping zu ermöglichen. Zusätzliche qualitativ hochwertige binokulare Spatial Cues sind für die Interaktion jedoch nicht erforderlich.

Aufgrund der niedrigen Relevanz von Spatial Mapping für die Interaktion werden keine positiven Effekte für die stereoskopische Darstellung erwartet. Die Natürlichkeit der Eingabe wird oft aufgrund eines Novelty-Effekts als unterhaltsam empfunden. Es ist anzunehmen, dass daher vor allem mit natürlicher Eingabe unerfahrene Nutzer positive Effekte auf die User Experience berichten werden.

Für Experiment 2 wurde eine Virtual-Reality-Simulation von Tischtennis eingesetzt. Alle Nutzer spielten virtuelles Tischtennis mit natürlicher Eingabe (Tischtennisschläger, der mittels Motion-Tracking als Eingabe diente). Im Rahmen von Spatial Mapping wurde die stereoskopische Darstellung sowie die Dynamik der Kameraperspektive variiert (beides Faktor „Spatial Cues“; 2x2 Design). Das VR-System wurde an der Professur für Graphische Datenverarbeitung und Visualisierung an der Technischen Universität Chemnitz entwickelt und zielt primär auf eine realitätsnahe, physikalische Simulation von Tischtennis ab. Das System wurde nicht als Computerspiel mit Unterhaltungsanspruch entwickelt, sondern als Simulator. Die Verwendung von stereoskopischer Darstellung und damit verbundenen visuellen Hinweisen ist essenziell für die Simulation. Ebenso ist der Einsatz eines authentischen Controllers maßgeblich für die Spielerfahrung. Die Kameraperspektive wird vom System automatisch auf den Blickwinkel des Nutzers angepasst, sodass dieser sich im Raum bewegen kann und immer ein korrekt berechnetes stereoskopisches Bild erhält. Es liegt eine hohe Relevanz von Spatial Mapping für die Aufgabe vor. Fällt die stereoskopische Darstellung weg, können Nutzer den Ball nur mithilfe monoskopischer Hinweise lokalisieren und scheitern häufiger. Dies resultiert in einer Behinderung des Spielflusses und starken Einbußen in der User Experience aufgrund von Frustration der Nutzer. Mithilfe einer umfangreichen Vorstudie wurden verschiedene Variablen der Simulation identifiziert und modifiziert, die zur Manipulation der Qualität des Spatial Mapping für das Experiment eingesetzt wurden, ohne jedoch den subjektiv empfundenen Schwierigkeitsgrad für die Nutzer zu verändern. Es wird erwartet, dass bei dieser VR-Simulation positive Effekte des Spatial Mapping sowohl für User Experience als auch für Task Performance auftreten.

Die gewonnenen Daten aus beiden Experimenten werden zur Überprüfung der hypothetischen Zusammenhänge des Pfadmodells herangezogen. Dazu wurden in beiden Studien relevante Variablen des Pfadmodells erhoben und für die Gesamtauswertung in Verbindung gebracht. Darüber hinaus wurden für beide Studien zusätzliche Hypothesen aufgestellt, um weitere Fragestellungen zum Thema Spatial Mapping beantworten zu können.

Im vorliegenden Kapitel wurde Spatial Mapping und die Relevanz der Aufgabe des Nutzers in der virtuellen Umgebung diskutiert. Es wurde herausgestellt, dass das Zusammenspiel von Eingabeinformationen, Ausgabefunktionen und der Nutzeraufgabe als Gesamtsystem betrachtet werden muss, um die Wirkung des Spatial Mapping auf User Experience und Performance untersuchen zu können.

Die folgenden beiden Kapitel berichten die Ansätze, Methodik und Ergebnisse der beiden durchgeführten Experimente im Detail.

6.6 Zusammenfassung: Spatial Mapping von Wahrnehmungsräumen

Bei der Interaktion mit einer virtuellen Umgebung nimmt der Nutzer sowohl seine physikalische, reale Umwelt, als auch die durch die virtuellen Stimuli konstruierte Umgebung wahr. Im MEC-Modell konkurrieren beide Wahrnehmungsräume miteinander, Spatial Presence tritt dann auf, wenn das Medium als primärer egozentrischer Referenzrahmen übernommen wird (PERF) und das Handeln und Denken des Nutzers somit in der virtuellen Umgebung verankert ist.

In diesem Kapitel wurde Spatial Mapping als konzeptionelle Erweiterung von Natural Mapping vorgestellt. Natural Mapping bezieht sich auf eine intuitive, natürliche Anordnung von Input-Elementen, sodass Interaktionen auf Wissensbeständen (mentale Modelle) aufbauen können, und weniger kognitive Ressourcen für Transformationsprozesse der Eingabehandlungen zur virtuellen Handlungen investiert werden müssen. Spatial Mapping bezeichnet analog dazu die isomorphe Verknüpfung der beiden Wahrnehmungsräume. Nutzer nehmen einen kombinierten Raum wahr, bei dem die Eingabe- und Ausgabeinformationen einer Umgebung ganzheitlich betrachtet werden. Hohes Spatial Mapping erlaubt das Zurückgreifen auf existierende mentale Modelle, die die Systeminteraktion beschreiben (Interaktionsmodelle). Es resultiert darin, dass weniger kognitive Ressourcen gebunden werden und diese für andere Aktivitäten

zur Verfügung stehen. Der Interaktionsgegenstand bzw. die damit verbundenen relevanten räumlichen Eingabedimensionen entscheiden darüber, ob das Spatial Mapping im System für den Nutzer tatsächlich relevant ist. Der verfügbare Detailgrad des Spatial Mapping muss dafür handlungsrelevant sein. Es wurde abschließend ein Pfadmodell zur Beschreibung der kausalen Wirkzusammenhänge von Spatial Mapping aufgestellt, das in den folgenden Kapiteln empirisch überprüft werden soll.

7 Experiment 1: Spatial Mapping bei niedriger Task Adequacy

Für die empirische Überprüfung der hypothetischen Wirkzusammenhänge des Pfadmodells wurden zwei Experimente durchgeführt, die jeweils Teile des Modells abdecken. Experiment 1 betrachtet Spatial Mapping bei niedriger Relevanz für die Aufgabe des Nutzers (siehe Abbildung 56). Zur Manipulation der Qualität der Spatial Cues werden binokulare Spatial Cues betrachtet (Stereoskopie).

Abbildung 56. Hypothetisches Pfadmodell: Beitrag Experiment 1

Für die Studie wurde eine Computer-Rennspiel-Simulation (Gran Turismo 5; Digital Polyphony, 2010) als Stimulusmaterial eingesetzt, bei der in einem 2×2 Between-Subjects-Design zwei Komponenten von Spatial Mapping systematisch variiert wurden:

UV-A: Natural Mapping (hohe/geringe Natürlichkeit der Eingabe)

UV-B: Präsentationsmodus (mono-/stereoskopische Präsentation)

Die Untersuchung mit einem kommerziell erhältlichen Computerspiel garantiert eine hohe ökologische Validität des Stimulusmaterials und erlaubt gleichzeitig den Einsatz der besten technischen Rahmenbedingungen (NUI, S3D), die für Endnutzer zur Verfügung stehen. Weiterhin müssen gerade kommerzielle Computerspiele Kompromisse eingehen, um für eine

Vielzahl verfügbarer Eingabe- und Anzeigegeräte kompatibel zu sein und gleichzeitig eine unterhaltsame Spielerfahrung zu liefern. Aus diesem Grund ist der Einsatz von hohen Graden von Spatial Mapping meist optional – Spieler müssen auch mit einfacheren Endgeräten in der Lage sein, die Aufgabe zu erfüllen. Die Art der Eingabe sollte für einen Spieler zumindest keine spezifischen Nachteile mit sich bringen. Es sollte demzufolge eine eher geringe Relevanz von Spatial Mapping für den Erfolg der Aufgabe vorliegen.

Computerspiele zielen als kommerzielle Unterhaltungssoftware primär auf mediale Unterhaltung der Nutzer ab, statt auf Lern- bzw. Transfereffekte der virtuellen Erfahrung auf die Realität. Dafür ist eine genaue Simulation der Realität auch gar nicht notwendig: Meist wird die Simulation daher vereinfacht, um hohe Selbstwirksamkeitserfahrungen zu evozieren und Frustration zu vermeiden (Klimmt & Hartmann, 2006). Das vorliegende Spiel wurde jedoch ausgewählt, da es im Bereich der Fahrsimulationen als positives Beispiel hervorsticht. Die Gran-Turismo-Serie ist seit 1997 auf Sonys *PlayStation* etabliert und wird von Kritikern hoch gelobt (z.B. Kato, 2010; Robinson, 2010; Sliwinski, 2010). Die Entwickler investierten viel Mühe in eine möglichst authentische Fahrerfahrung, sei es mit der Fahrphysik, der korrekten Wiedergabe von Fahrzeugcharakteristiken oder der Umsetzung von Rennstrecken. In der Studie wurde *Gran Turismo 5* für *PlayStation 3* eingesetzt.

7.1 Hypothesen und zusätzliche Fragestellungen

7.1.1 Einfluss von Natural Mapping und stereoskopischer Präsentation

In den vorangegangenen Kapiteln wurden Effekte der Darstellung und der Interaktion virtueller Umgebungen bereits eingehend diskutiert. Computer-Rennspiele wurden bereits häufiger als Stimulus für die Untersuchung von NUI und S3D herangezogen (McMahan et al., 2010; Skalski et al., 2011; Takatalo et al., 2011). Bisher konnten aber keine Effekte stereoskopischer Darstellung auf User Experience oder Performance belegt werden. Dies lässt sich damit begründen, dass stereoskopische Informationen nicht essenziell für das Autofahren sind: Erstens erfordert die Interaktion lediglich eine zweidimensionale Eingabe von Informationen, und zweitens beschränkt sich die Relevanz binokularer Tiefeninformationen in der Regel auf kurze Distanzen (siehe 4.1). Beim Steuern von Fahrzeugen mit weitem Sichtfeld bringen binokulare

Informationen kaum zusätzliche Vorteile gegenüber monokularen Informationen. Es wird davon ausgegangen, dass die stereoskopische Darstellung keine Relevanz für die Fahraufgabe im Experiment hat (H_{1B}). Weiterhin wird davon ausgegangen, dass entsprechend auch kein direkter (H_{2Bd} , H_{3Bd} , H_{4Bd}) oder indirekter Effekt (H_{2Bi} , H_{3Bi} , H_{4Bi}) von S3D auf Unterhaltung, Spatial Presence und Performance vorliegt (siehe Abbildung 57).

Abbildung 57. Experiment 1: Hypothesen im Pfadmodell (Stereoskopie)

Der Einsatz von Natural Mapping (v.a. Lenkräder) bei Fahrsimulationen ist bei Spielern sehr beliebt, da sie den wahrgenommenen „Realismusgrad“ der Simulation erhöhen, indem vorhandene mentale Modelle angesprochen werden. Lenkräder ermöglichen zudem eine feiner aufgelöste Eingabe und ein haptisches Feedback über den Fahrzeugzustand.

Entsprechend des theoretischen Pfadmodells ist NM in diesem Szenario jedoch nicht handlungsrelevant für die Interaktion (H_{1A}). Es sollte keine indirekten Effekte über die Task Adequacy von NM für Unterhaltung, Performance oder Spatial Presence geben (H_{2Ai} , H_{3Ai} , H_{4Ai}). Meist resultiert der Einsatz authentischer Eingabegeräte unabhängig von der Relevanz

für den Interaktionsgegenstand aufgrund von Neuigkeitseffekten oder Selbstwirksamkeitseffekten (siehe 5.3) in einer gesteigerten Unterhaltung der Spieler (direkt oder indirekt). Spatial Presence wird durch die Qualität des SSM primär beeinflusst. Es besteht jedoch zusätzlich noch ein Einfluss durch andere theoretische Komponenten des MEC-Modells, z.B. hohes Involvement, Suspension of Disbelief und eventuelle Faktoren, die das perzeptuelle Hypothesentesten beeinflussen (Wirth et al., 2007). Der Einsatz von NUI könnte ein höheres Involvement mit sich bringen bzw. die erforderliche Suspension of Disbelief durch den Einsatz einer authentischen Interaktionsmodalität verringern. Auf Basis existierender Studien ist demzufolge anzunehmen, dass dieser Effekt groß genug ist, um direkte positive Effekte von NM auf Unterhaltung und Spatial Presence zu ermöglichen (H_{2Ad} , H_{3Ad}).

Der Transfer von Fahrfertigkeiten aus der Realität in die Fahrsimulation wird von NUI begünstigt, erfahrene Fahrer sollten bei adäquater Umsetzung von Natural Mapping ihre Erfahrung im Spiel durch eine bessere Performance im Vergleich zu gleich erfahrenen Spielern ohne Natural Mapping demonstrieren können. Da das Setting mit Lenkrad-Controller neben Natural Mapping zusätzlich ein hohes Spatial Mapping aufweist, wird neben dem Eingaberaum auch der wahrgenommene Ausgaberaum im Experiment betrachtet. Neben der Tatsache, dass die betrachteten Objekte auf der Strecke eine relativ hohe Distanz zum Nutzer haben, sind binokulare Informationen beim Autofahren aufgrund der eingeschränkten Art und Weise der Interaktion (zweidimensionale Interaktion, siehe 6.2) für den Nutzer nicht zwingend handlungsrelevant. Ein hohes Spatial Mapping des Gesamtsystems ist nicht relevant für die Interaktion (niedrige Task Adequacy). Die Art und Weise der Eingabe mithilfe von Natural Mapping ist allein für einen möglichen Transfer von domänenspezifischen Fertigkeiten verantwortlich. Es wird daher davon ausgegangen, dass ein direkter, positiver Effekt (H_{4Ad}) von Natural Mapping auf Performance vorliegt (siehe Abbildung 58).

Abbildung 58. Experiment 1: Hypothesen im Pfadmodell (Natural Mapping)

Entsprechend des hypothetischen Pfadmodells liegt eine niedrige Aufgabenrelevanz von Spatial Mapping vor. Dies sollte dazu führen, dass die Qualität des Spatial Situation Models (SSM) durch die Verwendung von NM und S3D weder direkt (H_{5Ad} , H_{5Bd}) noch indirekt (H_{5Ai} , H_{5Bi}) beeinflusst wird (siehe Abbildung 59). Das SSM sollte entsprechend des MEC-Modells aber ein wesentlicher Prädiktor für Spatial Presence sein (H_6).

Abbildung 59. Experiment 1: Hypothesen im Pfadmodell (MEC-Modell)

7.1.2 Betrachtung von Kovariaten

In der Studie wurden mögliche Einflussvariablen für die beiden UV erhoben. Domänenspezifisches Vorwissen und Erfahrungen umfassen stereoskopische Medien, Computerspiele im Allgemeinen, Rennspiele im Speziellen, Erfahrung mit Spiel-Controllern sowie reale Fahrerfahrung. Diese möglichen Kovariaten wurden erhoben und in der Analyse beachtet. Weiterhin wurde die Einstellung gegenüber bestimmtem Fahrverhalten (z.B. riskantes Fahrverhalten) bei jedem Teilnehmer erfasst. Spieler mit positiver Einstellung zu riskantem Fahrverhalten zeigen möglicherweise eine aggressivere Fahrweise und erreichen damit bessere Fahrzeiten (Performance) als andere Teilnehmer. Um bei Rennspielen erfolgreich zu sein, sind die Spieler angehalten, eine möglichst schnelle Rundenzeit (Performance) zu erreichen. Spieler mit erhöhter Risikobereitschaft sind dabei im Spiel potenziell erfolgreicher. Eine erhöhte Disposition zu aggressiverem Fahrverhalten beeinflusst daher die Performance im Spiel.

Es finden sich jedoch umgekehrt auch Transfereffekte von Rennspielen auf das reale Fahrverhalten. So fanden Fischer, Kubitzki, Guter und Frey (2007) positive Korrelationen zwischen

Computerspieldauer und auffälligem/kompetitivem Fahren sowie Unfallinvolvierung. In einem Folgeexperiment konnte ein positiver Effekt von Rennspielen auf die Verfügbarkeit von risikobereitschaftserhöhenden Kognitionen, Arousal und genereller Risikobereitschaft im Straßenverkehr belegt werden (Fischer, Guter & Frey, 2008; Fischer et al., 2007). Die Autoren erklären diesen Einfluss mithilfe der Priming Theorie (vgl. z.B. Iyengar, Shanto, 2008; Iyengar, S. & Kinder, 1987).

Eine Langzeitstudie (zwei Jahre; $N = 354$) von Beullens, Roe und Van den Bulck (2011) untersuchte den Einfluss der Computerspielnutzung auf das Fahrverhalten von Fahranfängern. Insgesamt konnte für männliche als auch weibliche Probanden die Rennspielnutzung (nicht jedoch die allgemeine Computerspielnutzung) als signifikanter, indirekter Prädiktor für das Fahren mit überhöhter Geschwindigkeit und Verkehrsregelverstöße ausgemacht werden. Dabei wurden Sensation Seeking und Aggressivität kontrolliert, jedoch keine Hintergrundvariablen wie soziales Umfeld erfasst. Der Effekt wird mithilfe der Kultivierungstheorie (Gerbner & Gross, 1976) erklärt: Die Rennspieldarstellung in Computerspielen verändert über die Zeit die Wahrnehmung und Einstellungen gegenüber realem Fahrverhalten. Entsprechend der Theorie des geplanten Verhaltens (Ajzen, 1991) bestimmen diese Einstellungen die Wahrscheinlichkeit von zukünftigem Verhalten. Da die Studie jedoch ein korrelatives Design aufweist, kann sie keine definitive Aussage zu Kausalitätszusammenhängen machen. Es kann ebenso nicht ausgeschlossen werden, dass die Affinität für riskantes Fahrverhalten als Motiv zur Nutzung realistischer Rennspiele dient.

Eine weitere Langzeitstudie von Hull, Draghici und Sargent (2012) komplementiert Selbstausskunft der Probanden um tatsächlich geahndete Verstöße durch die Polizei (Strafzettel) und Anzahl der Unfälle. Mittels Random-Digital-Dial-Verfahren wurden $N = 5019$ (verblieben zum letzten Messzeitpunkt: $N = 2718$) Teilnehmer telefonisch (CATI) zu vier Messzeitpunkten über vier Jahre hinweg befragt. Die Ergebnisse vorheriger Studien spiegeln sich auch hier wieder: Rennspielnutzung wurde als starker Prädiktor für riskantes Fahrverhalten identifiziert. Die große Stärke der Studie liegt darin, dass der erste Messzeitpunkt vor Erlangen der Fahrerlaubnis durchgeführt wurde, die Teilnehmer also erst zu späteren Messzeitpunkten tatsächlich Fahrverhalten entwickelten. Die Autoren schließen damit eine umgekehrte kausale Wirkungszuschreibung aus (Hull et al., 2012, S. 251).

Auch wenn das vorliegende Experiment 1 keine Aussage zu Ursachen von riskantem Fahrverhalten machen kann, soll zumindest die Einstellung der Teilnehmer zum Fahrverhalten als Kovariate erfasst und ausgewertet werden.

7.2 Methode

7.2.1 Untersuchungsdesign

Experiment 1 wurde als 2×2 Between-Subjects-Design konstruiert. Dabei wurden die beiden Faktoren (UV-A: Natural Mapping; UV-B: Präsentationsmodus) jeweils in zwei Stufen variiert. Dazu wurden bei UV-A entweder ein Gamepad (geringes Natural Mapping) oder ein Lenkrad (hohes Natural Mapping) als Controller eingesetzt (siehe Abbildung 60). Zur Manipulation von UV-B wurde die Stereoskopie-Funktion des Displays entweder aktiviert oder deaktiviert.

Abbildung 60. Experiment 1: Stufen bei UV-A: Einsatz von Gamepad-Controller bzw. Lenkrad-Controller

Eine a priori Power-Analyse mit G*Power ergab für eine angenommene Effektgröße von $f = 0.30$ (ANCOVA) eine benötigte Stichprobengröße von $N = 147$ Probanden (Details zur Rechnung sowie Diagramme befinden sich im Anhang A.2).

Es wurde ein vollständig randomisierter Versuchsplan aufgestellt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7. *Experiment 1: Versuchsplan*

VPL2RR		R-UV-A Natural Mapping	
		B1 geringes NM	B2 hohes NM
R-UV-B Präsentations- modus	A1 non- stereoskopisch	$n = 37$	$n = 37$
	A2 stereoskopisch	$n = 37$	$n = 37$

7.2.2 Stichprobe

Insgesamt konnten für das Experiment $N = 133$ Probanden rekrutiert werden. Aufgrund von unvollständigen Datensätzen und technischen Problemen (u.a. Abstütze der Spielkonsole) mussten einige Probanden ausgeschlossen werden. Weiterhin gab es Probanden, die zwar eine Sehhilfe benötigen, diese jedoch zum Experiment nicht dabei hatten. Hier mussten weitere Probanden ausgeschlossen werden ($n = 6$). Die finale Stichprobe umfasste $N = 125$ Probanden und fiel daher geringer aus, als die *a priori* Rechnung mit G*Power empfahl (Gruppengrößen $n = 31$ je Zelle statt $n = 37$).

Die Studienteilnehmer ($N = 125$, $f = 62$, Alter $M = 23.8$, $SD = 4.2$) wurden über eine Pressemitteilung der Universität und den darauf folgenden lokalen und regionalen Presseberichten sowie universitätsinterne Mailinglisten rekrutiert. Die Teilnahme wurde mit Versuchspersonenstunden bzw. der Teilnahme an einer Verlosung¹³ motiviert. Der Großteil der Teilnehmer umfasste Studierende (Semester $M = 4.33$; $SD = 2.02$) diverser Bachelor-Studiengänge. Prominent vertreten waren vor allem Kommunikations- und Medienwissenschaften (53 %). Eine Übersicht der Stichprobenzusammensetzung ist in Abbildung 61 dargestellt.

¹³ Verlost wurden eine Spielekonsole sowie zwei Gutscheine zu je 25 Euro für einen großen Onlineversandhändler.

Abbildung 61. Experiment 1: Zusammensetzung der Stichprobe

Für die Umsetzung der Fragestellung waren keine Einschränkungen beim Teilnehmerkreis erforderlich. Die Verwendung einer Gelegenheitsstichprobe mit Selbstselektion kann generell für die Gültigkeit Daten problematisch sein (vgl. z.B. Olsen, 2008), da eine Überrepräsentation von Merkmalen innerhalb der Stichprobe aufgrund von gegebenen Vorinformationen auftreten kann (beispielsweise die Rekrutierung besonders spielinteressierter Probanden). Es wurde bei der Rekrutierung daher streng darauf geachtet, keinerlei Informationen über den Zweck der Studie sowie zu deren Inhalten zu geben. Das einzige Zugeständnis war die Angabe, dass die Probanden an einer „Computerspielstudie“ teilnehmen werden, aber keinerlei Vorkenntnisse jeglicher Art notwendig sind. Da die durchführende Institution bereits in der Vergangenheit verschiedenartige Studien im Bereich Digital Game Studies durchgeführt hatte, wurden bei den Probanden keine speziellen Erwartungen geweckt. Zudem stellte die Teilnahmevergütung in der Form des Gewinnspiels einen nachweislich hohen Teilnahmeanreiz dar, sodass das eigentliche Thema für die meisten Probanden hintergründig wurde. Die meisten Teilnehmer zeigten sich überrascht, als sie später aufgefordert wurden, ein Rennspiel zu absolvieren. Der Autor geht daher davon aus, dass mögliche Nachteile durch Selbstselektion minimiert werden konnten.

7.2.3 Untersuchungsdurchführung

Alle Teilnehmer spielten die Rennsimulation *Gran Turismo 5* (Polyphony Digital Inc., 2010) auf einer *PlayStation 3* Konsole für 30 Minuten. Die Probanden absolvierten jeweils Zeitrennen (also ohne andere Fahrer) auf der Strecke „Trial Mountain Circuit“ mit einem vorgegebenen Fahrzeug (Mitsubishi Lancer Evolution X in Silber), das aufgrund seiner gutmütigen Fahreigenschaften ausgewählt wurde. Weitere Spieleinstellungen umfassten eine Automatik-Schaltung, weiche Rennreifen sowie ein vorgegebenes Interface mit Tachometer und Rückspiegel aus der Cockpit-Perspektive, aber ohne eingeblendete Fahrhilfen oder Streckenkarten. Probanden saßen dabei 3.5 Meter von einem 65 Zoll großen TV-Bildschirm mit passiver Polarisierungstechnik entfernt (siehe 4.2.2; Abbildung 62 und Abbildung 63). Spielgeräusche wurden durch ein Mehrkanal-Lautsprechersystem (5.2 System) eingespielt. Je nach Versuchsbedingung wurde das Spiel mit einem PlayStation Gamepad (UV-B1) bzw. Logitech G25 Lenkrad mit 900° Lenkwinkel sowie Fußpedalen und starkem Force Feedback (UV-B2) gesteuert. Die 3D-Funktionalität des Spiels wurde entweder deaktiviert (UV-A1) oder aktiviert (UV-A2). Der Raum war dabei vollkommen verdunkelt, die Abbildungen zeigen das beleuchtete Setup.

Abbildung 62. Experiment 1: Experimental-Setup #1

Abbildung 63. Experiment 1: Experimental-Setup #2

Die Studie war in vier Abschnitte geteilt (siehe Abbildung 64): Nach eingehender schriftlicher Instruktion wurde zunächst der erste Teil des Fragebogens ausgefüllt. Danach wurden die Teilnehmer gebeten, eine 3D-Polarisationsbrille aufzusetzen und schließlich in das Experimentallabor geführt, wo sie zufällig auf eine der vier Versuchsbedingungen verteilt wurden. Sie nahmen Platz und wurden vom Versuchsleiter in die Steuerung und die Spielziele (Speed-Accuracy-Anweisung) eingewiesen. Während einer etwa fünfminütigen Trainingssitzung sollten sie alle Steuerungselemente einsetzen (Lenken, Bremsen, Rückwärtsfahren, Fahrzeug nach Unfall zurück auf Strecke setzen) und mit Begleitung des Versuchsleiters eine komplette Trainingsrunde absolvieren. Nach dem Training verließ der Versuchsleiter das Labor und startete die eigentliche 25-minütige Spielsitzung, die er im Nebenraum durch einen Einwegspiegel überwachen konnte. Nach Ablauf der Zeit wurde das Rennen abgebrochen (die aktuelle Runde wurde nicht zu Ende gefahren) und die Probanden (mit aufgesetzter 3D-Brille) sofort an einen Computer gebracht, wo sie den zweiten Teil des Fragebogens ausfüllten. Parallel wurde die vom Spiel aufgezeichnete Sitzung vom Versuchsleiter für die spätere Auswertung

gespeichert und die Performance-Daten schriftlich entnommen. Abschließend erfolgte das Debriefing der Teilnehmer.

Abbildung 64. Experiment 1: Ablaufübersicht

7.2.4 Instrumente

Als abhängige Variablen wurden die Variablen aus dem hypothetischen Pfadmodell eingesetzt. Neben Spatial Presence, Enjoyment, Spatial Situation Model und Task Adequacy wurden domänenspezifisches Wissen und Fertigkeiten, Performance sowie soziodemografische Daten der Probanden erfasst. Die Datenerhebung erfolgte primär durch subjektive Urteilsmaße des Probanden: Es wurde ein Fragebogen zusammengestellt, der in Teilen vor (Teil 1) und nach der Experimentalsession (Teil 2) als Online-Variante via LimeSurvey ausgefüllt wurde. Der komplette Fragebogen befindet sich in Anhang A.1.

Teil 1 des Fragebogens umfasste folgende Blöcke:

1. Grundlegende Angaben

Geschlecht, Alter, Sehhilfe, Erkrankungen der Sehorgane

2. Mediennutzung und Vorkenntnisse

allgemeine Mediennutzung, stereoskopische Medien, Computerspielnutzung, Rennspielnutzung und reale Fahrerfahrung

3. Domain Specific Interest: Motorsport

Fahrerfahrung, Interesse an realem Motorsport und Rennspielen

4. Game Playing Skill Scale

9 Items mit Aussagen zur Computerspielfertigkeit (Bracken & Skalski, 2006, 2009)

5. Attitudes towards to Traffic Safety

16 Items mit Aussagen zu Einstellungen zum Fahrverhalten (Iversen & Rundmo, 2004)

Teil 2 des Fragebogens umfasste folgende Blöcke:

6. MEC Spatial Presence Questionnaire

MEC-SPQ; 36 Items (Vorderer et al., 2004)

7. ITC-Sense of Presence Inventory

ITC-SOPI; 11 Items (Lessiter et al., 2001)

8. Intrinsic Motivation Inventory

IMI; 4 Items (Ryan, R. M., 1982)

9. Perceived Natural Mapping Scale

PNMS; 11 Items (Skalski et al., 2007; Skalski et al., 2011)

10. Task Adequacy Scale

TAS; 5 Items; eigene Items zur Erfassung der Relevanz des Spatial Mapping für die gestellte Aufgabe

Im Folgenden werden die eingesetzten Instrumente im Detail erläutert. Die Itemreihenfolge wurde innerhalb der meisten Blöcke (Block 3 bis 10) randomisiert. Blöcke 6, 7 und 8 wurden zudem zu einem Block zusammengefasst und komplett randomisiert präsentiert. Den Probanden wurde jeweils immer nur ein Item gleichzeitig gezeigt.

Für die Auswertung wurden bei der Itemanalyse Schwierigkeit, Trennschärfe und Homogenität der eingesetzten Items überprüft. Zudem wurde die Reliabilität der Skalen mit den angegebenen Kennwerten der Originalpublikationen bzw. dem Einsatz der Skalen in anderen Studien verglichen. Die meisten eingesetzten Instrumente stellen quasi-standardisierte Skalen dar, d.h. sie wurden entweder in größeren Testreihen validiert oder zumindest in vielen anderen Untersuchungen eingesetzt. Eine Modifikation der Skalen durch Ausschluss von Items erhöht zwar die Reliabilität und verringert damit die Fehlervarianz, führt aber auch zu einer schlechteren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Studien. Aus diesem Grund setzt der Autor primär die unveränderten Skalen ein. In der Analyse wurden jedoch zahlreiche Items gefunden, die zur Verbesserung der Skalen ausgeschlossen werden könnten. Da sich die allgemeinen Resultate der Hypothesenprüfung mit den korrigierten Skalen aber nicht signifikant unterscheiden, werden die Ergebnisse für die unveränderten Skalen berichtet.

7.2.4.1 Mediennutzung und Vorkenntnisse

Die eingesetzten Items zur Mediennutzung wurden vom Autor für diese Studie erstellt bzw. aus anderen Studien adaptiert (Pietschmann, 2009; Pietschmann, Liebold, Valtin, Nebel, et al., 2013). Die Teilnehmer wurden gebeten, ihre Erfahrung im Umgang mit Computern im Allgemeinen, ihr Wissen um TV/Filmproduktion, ihr eigenes Wissen über die Produktion von 3D-Bildern sowie ihr Wissen über technische Hintergründe von Virtual Reality auf einer Skala von 0 bis 3 einzuschätzen. Dabei wurden die eigenen Kenntnisse im Schnitt als Grundkenntnisse bewertet.

Es wurde weiterhin erfasst, wie viele Stunden am Tag durchschnittlich mit Fernsehen (Wochentage: $M = 2.2$ Stunden, $SD = 1.75$; Wochenende: $M = 3.3$ Stunden; $SD = 1.75$) bzw. Computerspielen (Wochentage: $M = 1.2$ Stunden, $SD = 1.56$; Wochenende: $M = 2.0$ Stunden, $SD = 2.1$) verbracht wurden, welche Spielsysteme zum Spielen genutzt (Abbildung 65) und welche Genres häufig gespielt werden.

Abbildung 65. Experiment 1: Welche Spielsysteme nutzen Sie mindestens einmal im Monat?

Die Erfahrung mit stereoskopischen Bildern wurde mit verschiedenen Items abgedeckt: Gaben die Teilnehmer an, bereits stereoskopische Medien genutzt zu haben (ja: 97 %), wurden

sie gebeten, die Häufigkeit dieser Nutzung anzugeben (4-Punkte-Skala). Dies umfasste die Kategorien „Kino“, „Heimkino (aktives 3D mit Shutter-Brille)“, „Heimkino (passives 3D wie im Kino)“, „Computerspiele mit Konsolen (z.B. PlayStation 3)“, „Computerspiele am PC/MAC (z.B. Nvidia 3D-Brille)“ und „Professionelle VR-Anlage“. Erwartungsgemäß hatten die meisten Teilnehmer Erfahrung mit 3D im Kino (93 %) und im Heimkino (aktives 3D: 24 %; passives 3D: 29 %). Nur wenige haben bereits Computerspiele mit stereoskopischer Darstellung gespielt (Konsole: 16 %; PC/Mac: 11,2 %). Einige Probanden (18 %) haben mindestens einmal eine professionelle VR-Anlage benutzt. Diese hohe Zahl kann dadurch erklärt werden, dass einige Probanden kurz zuvor an einer anderen VR-Studie des Autors teilgenommen haben.

Abbildung 66. Experiment 1: Wie häufig haben Sie die folgenden stereoskopischen Medien bereits benutzt?

Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung von Vorerfahrungen auf die Experimentalbedingungen.

7.2.4.2 Domain Specific Interest: Motorsport

Um domänenspezifisches Wissen und Fertigkeiten zu erheben, wurden Probanden zunächst gefragt, ob sie einen Führerschein besitzen. War dies der Fall, sollte angegeben werden, wie

lange sie schon im Besitz des Führerscheins waren (Dauer in Monaten) und wie viele Kilometer im Schnitt pro Jahr zurückgelegt werden. Weiterhin wurden der Besitz eines eigenen Fahrzeuges und die Häufigkeit der Nutzung dieses Fahrzeuges (4-Punkte-Skala) erfragt.

Ein Großteil der Teilnehmer besitzt seit mehreren Jahren ($M = 6.22$; $SE = 0.39$) einen Führerschein (89 %), jedoch kein eigenes Fahrzeug (56 %). Im Schnitt werden dabei jährlich $M = 6162$ ($SE = 870$) Kilometer zurückgelegt. Die meisten Fahrer nutzen Ihr Auto ein paar Mal pro Woche (28 %). 21,6 % der Teilnehmer nutzen Ihr Fahrzeug täglich.

Weiterhin wurde erhoben, ob die Probanden bereits Erfahrung mit „GoKart fahren“, „Motorrad fahren“, „Verkehrssicherheitstrainings“ oder „Mitfahrt bei einem Motorsport-Rennen“ hatten. Ein letztes Item in diesem Block erforderte die Einschätzung der eigenen Kenntnisse im Bereich der Computer-Rennspiele (4-Punkte-Skala).

Abbildung 67. Experiment 1: Haben Sie bereits praktische Erfahrung mit folgenden Rennsport-Aspekten?

Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung auf die Experimentalbedingungen (siehe Anhang A.3).

7.2.4.3 Game Playing Skill Scale (GaPS)

Die von den Teilnehmern wahrgenommene Fertigkeit im Computerspielen wurde mithilfe der eindimensionalen *Game Playing Skill Scale* (GaPS; Bracken & Skalski, 2006, 2009) erfasst. Die

Skala umfasst 9 Statements (5-Punkte Likert-Skala). Beispiele sind „Ich bin ein sehr guter Computerspieler“, „Ich gewinne oft, wenn ich ein Computerspiel gegen einen menschlichen Spieler spiele“ oder „Ich bin mit verschiedenen Plattformen für Computerspiele vertraut“. Die Reliabilität der Skala erwies sich mit $\alpha = .92$ als sehr gut. Das arithmetische Mittel für die Stichprobe betrug $M = 251$, $SD = 0.54$. Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung auf die Experimentalbedingungen (siehe Anhang A.3).

7.2.4.4 Attitudes towards Traffic Safety (ATTS)

Zur Erfassung von riskantem Fahrverhalten bzw. Einstellungen gegenüber riskantem Fahrverhalten gibt es verschiedene Möglichkeiten der Erhebung. Zum einen existieren diverse Instrumente zur Erhebung des allgemeinen Fahrverhaltens: So erfasst beispielsweise das *Driving Behavior Inventory* (Gulian, Matthews, Glendon, Davies & Debney, 1989) primär aggressives Fahren, Aufmerksamkeit beim Fahren, Frustration und Irritationen beim überholt werden und allgemeinen Stress beim Fahren. Der *Driver Behavior Questionnaire* (Reason, Manstead, Stradling, Baxter & Campbell, 1990) beschränkt sich auf generelle Fahrfehler, bewusste Verletzungen normaler Fahrsicherheitspraxis und Fehler durch Unaufmerksamkeiten. Ähnlich erheben auch der *Driving Style Questionnaire* (French, West, Elander & Wilding, 1993) und das *Multidimensional Driving Style Inventory* (Taubman-Ben-Ari, Orit, Mikulincer & Gillath, 2004) die Häufigkeiten vergangenen Verhaltens in den Dimensionen Regelverstöße, gefährliche Fehler sowie Unachtsamkeit.

Andere Instrumente konzentrieren sich nicht (nur) auf das tatsächliche Fahrverhalten, sondern auf Verhaltensintentionen oder Einstellungen. Die Skala *Behavioral Intentions of Risky Driving Behavior or Speeding* (Taubman-Ben-Ari, O., Florian & Mikulincer, 1999) präsentiert zehn hypothetische Szenarien, bei denen die Verhaltenswahrscheinlichkeiten vom Probanden angegeben werden sollen. Der Ansatz von Iversen und Rundmo (2004) zielt auf Einstellungen zum Fahrverhalten ab und den Zusammenhang mit tatsächlich gezeigtem riskantem Fahrverhalten. Der dafür entwickelte Fragebogen beinhaltet je eine Skala für Einstellungen („Attitudes towards Traffic Safety“) und Fahrverhalten („Risk Behavior related to Traffic Safety“). Beide Skalen erfassen relevante Dimensionen wie „Attitude towards rule violations and speeding“, „Attitude towards the careless driving of others“, „Attitude towards drinking and driving“ sowie „Violation of traffic rules/speeding“ oder „reckless driving/funriding“. Die

Skalen zeigten akzeptable Charakteristiken ($\alpha = .70$ bis $\alpha = .84$) und fanden Verwendung in einer Reihe von Studien zum Fahrverhalten (z.B. Feenstra, Ruiter & Kok, 2010; Nabi et al., 2007).

Nach eingehender Prüfung der Items und Faktoren entschied sich der Autor dafür, die Skala zur Einstellung gegenüber Fahrsicherheit von Iversen und Rundmo (2004) einzusetzen, da hier besonders die Subskala „Attitudes towards rule violations and speeding“ mit 11 Items für den Einsatz für Fahrzeugrennen als geeignet erscheint (siehe Tabelle 8). Die Items wurden als Statements auf einer 5-Punkte Likert-Skala präsentiert. Ergänzend wurden die beiden anderen Subskalen („Attitudes towards the careless driving of others“ und „Attitudes towards drinking and driving“) in den Fragebogen integriert, später jedoch bei der Datenauswertung ausgeschlossen, weshalb an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird.

Tabelle 8. *Dimensionen des Attitudes towards Traffic Safety Questionnaires*

Dimension	Items	Beispiel-Item
Attitude towards rule violations and speeding	11	„Um einen guten Verkehrsfluss zu garantieren, müssen Verkehrsregeln ignoriert werden.“
Attitude towards the careless driving of others	3	„Ich möchte mein Leben und Gesundheit nicht durch das Mitfahren bei einem nicht-verantwortungsvollen Fahrer gefährden.“
Attitudes towards drinking and driving	5	„Ich würde niemals fahren, nachdem ich Alkohol konsumiert habe.“

Die Skala „Attitude towards rule violations and speeding“ verfügt über eine gute Reliabilität ($\alpha = .80$, $M = 2.62$, $SD = 0.59$). Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung auf die Experimentalbedingungen (siehe Anhang A.3).

7.2.4.5 MEC Spatial Presence Questionnaire (MEC-SPQ)

Zur Messung von Spatial Presence wurde der von Vorderer und Kollegen (2004) im Rahmen des Projekt „Measurement, Effects, Conditions“ (kurz: MEC) entwickelte *Spatial Presence Questionnaire* eingesetzt. Der Fragebogen ist das Ergebnis der Arbeit an einer einheitlichen kognitiven Spatial Presence Theorie und der damit verbunden Notwendigkeit, diese empirisch zu erfassen (siehe im Detail Kapitel 3). Der Fragebogen stellt das Erhebungsinstrument für das MEC-Modell von Wirth und Kollegen (2007) dar und umfasst neun Dimensionen (siehe 3.4.1), die noch einmal mit Beispielen in Tabelle 9 aufgelistet werden.

Der MEC-SPQ steht in drei Varianten zur Verfügung, in der jeweils Subskalen mit vier, sechs oder acht Items eingesetzt werden können (Statements mit 5-Punkte-Likert-Skalierung). Für den MEC-SPQ wird kein Gesamtsummenwert errechnet, alle Subskalen werden einzeln betrachtet.

Tabelle 9. *Dimensionen des MEC Spatial Presence Questionnaire*

Dimension	Items	Beispiel-Item
Attention Allocation	4, 6 oder 8	„Ich habe mich auf das Spiel konzentriert.“
Spatial Situation Model	4, 6 oder 8	„Ich hatte eine genaue Vorstellung von der im Spiel dargestellten räumlichen Umgebung.“
Spatial Presence: Self Location	4, 6 oder 8	„Ich hatte das Gefühl, in der dargestellten Umgebung selbst anwesend zu sein.“
Spatial Presence: Possible Actions	4, 6 oder 8	„Die dargestellten Gegenstände wirkten auf mich, als ob ich selbst etwas mit ihnen machen konnte.“
Higher Cognitive Involvement	4, 6 oder 8	„Ich habe darüber nachgedacht, ob das im Spiel Dargestellte für mich nützlich sein kann.“
Suspension of Disbelief	4, 6 oder 8	„Ich habe nicht besonders darauf geachtet, ob es Fehler bzw. Widersprüche im Spiel gibt.“
Domain Specific Interest	4, 6 oder 8	„Ich bin generell an [Medium/Thema] interessiert.“
Visual Spatial Imagery	4, 6 oder 8	„Es fällt mir leicht, mir einen Raum plastisch vor Augen zu führen, ohne darin zu sein.“

Validierungsstudien bescheinigten der Skala akzeptable bis sehr gute Charakteristiken (siehe Tabelle 10) entsprechend der Validierungsrichtlinien von George und Mallery (2003).

Im Rahmen von Experiment 1 wurden mit einer Ausnahme die Varianten der Subskalen mit vier Items eingesetzt, um die Gesamtzahl der Items möglichst gering zu halten. Die Subskala „Spatial Situation Model“ wurde wegen Ihrer zentralen Bedeutung im Experiment mit acht Items erhoben.

Die Subskalen zeigten Optimierungspotenzial durch Ausschluss von Items. Besonders die Subskala „Higher Cognitive Involvement“ erwies sich mit $\alpha = .51$ als problematisch. Aufgrund besserer Vergleichbarkeit mit anderen Studien wurden jedoch die vollständigen Skalen eingesetzt. SPSS-Tabellen zur Reliabilitätsprüfung der Subskalen finden sich in Anhang A.3, die Skalennennwerte sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10. *Skalencharakteristik MEC-SPQ im Vergleich zu anderen Studien*

	Vorderer et al. (2004) ¹			Hofer et al. (2012) ²			Wirth et al. (2012) ³			Experiment 1 ⁴		
	N = 290			N = 173			N = 111			N = 125		
Subskala	M	SD	Cronbachs α	M	SD	Cronbachs α	M	SD	Cronbachs α	M	SE	Cronbachs α
Attention Allocation	3.35	1.04	.90	4.00	0.84	.85	-	-	-	4.33	0.36	.76
Spatial Situation Model	2.92	0.97	.86	3.92	0.81	.76	3.22	0.79	.82	3.57	0.40	.86
Spatial Presence: Self Location	2.33	0.99	.92	3.05	1.01	.86	3.66	0.58	.95	2.64	0.34	.89
Spatial Presence: Possible Actions	2.32	0.88	.81	2.65	0.94	.75	2.81	0.87	.85	2.78	0.23	.69
Higher Cognitive Involvement	2.98	0.85	.66	3.19	0.80	.60	2.72	0.74	.74	2.85	0.91	.51
Suspension of Disbelief	3.17	1.02	.80	2.91	1.22	.73	3.43	0.90	.85	3.77	0.15	.80
Domain Specific Interest	2.39	1.01	.88	2.98	1.06	.82	-	-	-	2.35	0.29	.91
Visual Spatial Imagery	3.43	0.78	.77	3.80	0.85	.77	-	-	-	3.86	0.16	.84

1 Ursprüngliche Validierungsstudie berichtete 4-Item, 6-Item und 8-Item Variante. Tabelle enthält 4-Item Variante.

2 Reduzierte Itemzahl: Es wurden nur drei Items pro Subskala eingesetzt.

3 Nicht alle Subskalen wurden in der Studie eingesetzt, die Tabelle enthält die 8-Item Variante.

4 Für Subskala „Spatial Situation Model“ wurde die 8-Item Variante eingesetzt, für allen anderen die 4-Item Variante.

7.2.4.6 ITC-Sense of Presence Inventory (ITC-SOPI)

Das Sense of Presence Inventory (SOPI) der Independent Television Commission (ITC) wurde speziell als medienübergreifender Post-Test-Fragebogen entwickelt (Lessiter et al., 2001). Das ist zwar auch beim MEC-SPQ der Fall, der ITC-SOPI deckt jedoch andere Dimensionen ab und ist explizit sowohl für den Einsatz bei interaktiven als auch nicht-interaktiven Medien konzipiert. Während der Fokus beim MEC-SPQ namensgebend bei Spatial Presence und den damit verbundenen Dimensionen liegt, umfassen die vier Faktoren des ITC-SOPI „Spatial Presence“, „Engagement“, „Ecological Validity/Naturalness“ und „Negative Effects“ (siehe Tabelle 11). Die Dimensionen erfassen daher zusätzlich die wahrgenommene Natürlichkeit der Erfahrung

sowie damit einhergehende negative Konsequenzen der Mediennutzung. Die Subskala „Negative Effects“ erinnert mit ihren Items sehr stark an den Simulator Sickness Questionnaire (Kennedy et al., 1993). Einige Faktoren wurden ursprünglich während der Validierung des ITC-SOPI bzw. früheren Publikationen der Autoren anders bezeichnet („Physical Presence“ statt „Spatial Presence“ und „Naturalness“ statt „Ecological Validity/Naturalness“), nutzen aber nach wie vor dieselben Items.

Tabelle 11. *Dimensionen des ITC Sense of Presence Inventory*

Dimension	Items	Beispiel-Item
Spatial Presence	19	„Ich hatte das Gefühl mit der Umgebung interagieren zu können.“
Engagement	13	„Ich habe die Zeit ganz vergessen.“
Ecological Validity/ Naturalness	5	„Die dargestellten Szenen könnten in der realen Welt wirklich stattfinden.“
Negative Effects	6	„Nach dem Spiel fühlte ich mich desorientiert.“

Die Items erfordern eine subjektive Einschätzung der Eindrücke während und nach der Medienrezeption (Statements mit 5-Punkte Likert-Skala). Es gibt keinen Gesamtwert für den ITC-SOPI, alle Subskalen werden einzeln betrachtet.

Da bereits mit dem MEC-SPQ ein sehr umfangreiches Instrument für Spatial Presence eingesetzt wird, entschied sich der Autor, nur die Subskalen „Ecological Validity/ Naturalness“ und „Negative Effects“ ergänzend zum MES-SPQ einzusetzen. Die Subskalen wiesen insgesamt gute Skalencharakteristiken auf (siehe Tabelle 12). Der ITC-SOPI wurde in zahlreichen Studien als hinreichend valide bezeichnet (Brogni, Vinayagamoorthy, Steed & Slater, 2006; Villani, Repetto, Cipresso & Riva, 2012).

Tabelle 12. *Skalencharakteristik ITC-SOPI im Vergleich zu anderen Studien*

Subskala	Lessiter et al. (2001) ¹			Bernardet et al. (2011) ²			De Leo, Goodman, Radici, Secrhist und Mastaglio (2011) ³			Experiment 1 ⁴		
	N = 604			N = 40			N = 20			N = 125		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SD</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SD</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SE</i>	Cronbachs α
Spatial Presence	-	-	.94	2.8	0.5	-	3.3	1.1	-	-	-	-
Engagement	-	-	.89	3.2	0.4	-	3.5	0.9	-	-	-	-
Ecological Validity/ Naturalness	-	-	.76	2.3	0.6	-	3.2	1.0	-	2.86	0.61	.81
Negative Effects	-	-	.77	1.7	0.9	-	1.7	1.1	-	1.67	0.38	.82

1 Ursprüngliche Validierungsstudie.

2 Die Studie berichtet keine Werte für Cronbachs α .

3 Die Studie berichtet keine Werte für Cronbachs α .

4 Es wurden nur zwei Subskalen eingesetzt.

7.2.4.7 Intrinsic Motivation Inventory (IMI)

Zur Erfassung der Unterhaltung (Enjoyment) der Probanden wurde das Intrinsic Motivation Inventory von Ryan (1982) herangezogen. Die Skala stellt ein mehrdimensionales Messinstrument dar, das zur Erfassung subjektiver Erfahrungen für bestimmte Zieltätigkeiten in Laborexperimenten entwickelt wurde. Das IMI fand besonders in Experimenten zur intrinsischen Motivation und Selbstregulierung Anwendung (McAuley, Duncan & Tammen, 1989; Tsigilis & Theodosiou, 2003) und wurde dabei stetig weiterentwickelt und validiert. Es gibt für verschiedene Aktivitäten unterschiedliche Varianten des IMI. Die Standardversion enthält 22 Items mit den Subskalen „Interest/Enjoyment“, „Perceived Competence“, „Perceived Choice“ und „Tension/Pressure“ (siehe Tabelle 13). McAuley et al. (1989) haben erfolgreich eine für Basketball angepasste Variante mit 18 Items eingesetzt (Werte zwischen $\alpha = .68$ und $\alpha = .84$). Diese zeigt die größte inhaltliche Übereinstimmung für die geplante Aktivität (Computerspiel) für Experiment 1 und wurde daher ausgewählt. Die Items wurden als Statements (5-Punkte-Likert-Skala) präsentiert.

Tabelle 13. *Dimensionen des Intrinsic Motivation Inventory*

Dimension	Items	Beispiel-Item
Interest/Enjoyment	5	„Das Rennspiel war sehr unterhaltsam.“
Perceived Competence	5	„Ich denke, ich bin recht gut bei Rennspielen.“
Perceived Choice	4	„Ich habe mir beim Rennspiel sehr viel Mühe gegeben.“
Tension/Pressure	4	„Ich habe mich unter Druck gefühlt während des Rennspiels.“

Für Experiment 1 war primär die Enjoyment-Subskala interessant, die anderen wurden nicht mit erfasst. Die Skala erwies sich mit $\alpha = .53$ jedoch in dieser Form nicht als akzeptabel. Da besonders für die Rechnung des Pfadmodells verlässliche, eindimensionale Daten erforderlich sind, wurde ein problematisches Item identifiziert, dessen Ausschluss die Skala entscheidend verbessert („Während des Spiels habe ich darüber nachgedacht, wie sehr es mir gefällt“; $r = -.048$). Durch wiederholte Überprüfung konnte eine fehlerhafte Kodierung des Items ausgeschlossen werden. Offenbar stellt das Item einen komplett anderen Aspekt dar und korreliert negativ mit dem Rest der Skala. Die verbliebenen drei Items ergaben eine vertretbare Skala ($M = 3.74$, $SD = 0.38$, $\alpha = .75$).

7.2.4.8 Perceived Natural Mapping Scale (PNMS)

Der Grad zu dem die Studienteilnehmer die Spielsteuerung als authentisch bzw. natürlich empfunden haben, wurde mithilfe der Perceived Natural Mapping Scale (Skalski et al., 2007; Skalski et al., 2011) erfasst. Die finale Version der Skala enthält einen Faktor mit 11 Items, die als Statements formuliert und mit einer 7-Punkte-Likert-Skala präsentiert wurden (Tabelle 14).

Die Charakteristiken der Skala wurden in diversen Studien als akzeptabel bis gut (α zwischen .71 und .84) evaluiert (Abeelee et al., 2013; McGloin & Krcmar, 2011; Tamborini, Bowman, Eden, Grizzard & Organ, 2010).

Tabelle 14. *Dimensionen der Perceived Naturalness Mapping Scale*

Dimension	Items	Beispiel-Items
Natural Mapping	11	„Der Controller fühlte sich wie eine Erweiterung meines Körpers an.“ „Die Art und Weise wie ich den Controller im Spiel benutzt habe, fühlte sich natürlich an.“

Das Ausschließen zweier Items würde die Skala nur minimal verbessern. Es wurden daher alle Items beibehalten ($M = 4.16$; $SD = 0.72$; $\alpha = .90$).

7.2.4.9 Task Adequacy Scale (TAS)

Eine zentrale Variable des hypothetischen Pfadmodells ist die Angemessenheit bzw. Relevanz des Spatial Mapping im System für die Interaktion bzw. Aufgabe des Nutzers. Für Experiment 1 sollte die Task Adequacy gering sein, während für Experiment 2 eine hohe Ausprägung erreicht werden soll. Es ist also notwendig, die theoretisch begründeten Annahmen zur Relevanz des Spatial Mapping in beiden Experimenten empirisch zu überprüfen. Dazu wird ein Instrument benötigt, das folgende Aspekte sensitiv erfassen kann:

1. Task Adequacy ist hoch, wenn die Nutzer die ihnen im System zur Verfügung stehenden Tools tatsächlich als sehr gut für die gestellte Aufgabe geeignet bewerten.
2. Task Adequacy ist hoch, wenn die Nutzer einen Mehrwert in den eingesetzten Tools gegenüber anderen Tools wahrnehmen.
3. Task Adequacy ist hoch, wenn das im System eingesetzte Spatial Mapping entscheidende Vorteile für die erfolgreiche Bewältigung der gestellten Aufgabe hat.

Die im System verfügbaren Tools sind dabei im weiten Sinne zu verstehen. Sie umfassen die Kombination aller Eingabe- und Ausgabeinformationen, auf dessen Basis die Nutzer Entscheidungen treffen (z.B. Darstellungsqualität und angesprochene Sinnesmodalitäten) sowie verfügbare Interaktionstechniken mit dem System. Primär soll die Skala unterscheiden können zwischen einem System, bei dem Spatial Mapping für die Interaktion relevante Zusatzinformationen bereitstellt und einem System, bei dem Spatial Mapping für die Interaktion irrelevant ist.

Würde man die Performance (z.B. Reaktionszeiten zur Erfüllung einer Aufgabe bzw. Anzahl korrekt gelöster Aufgaben) als Indikator heranziehen, könnte man bereits indirekt messen, wie effizient und effektiv die vom System zur Verfügung gestellten Tools für die gestellte Aufgabe sind. Performance wurde daher in Experiment 1 als erster Indikator für Task Adequacy erhoben. Da der Mehrwert einer der Aufgabe angemessenen Kombination von Tools bzw. Spatial-Mapping-Komponenten nicht nur die Performance betrifft, sondern auch Effekte auf psychische Variablen der User Experience (z.B. Spatial Presence, Unterhaltung) haben sollte, reicht die Betrachtung der Performance allein nicht aus. Nur weil eine Aufgabe mit z.B. wenigen Mausklicks effizient zu lösen ist, muss das nicht bedeuten, dass die Interaktion mit der Computermouse eine hohe UX aufweist (siehe Ansatz zu Cognitive Absorption unter 2.6). Die Angemessenheit der verfügbaren Tools bzw. eine Bewertung des Zusammenspiels der Spatial-Mapping-Komponenten sollte also zusätzlich subjektiv vom Nutzer evaluiert werden.

Da für diese sehr spezielle Fragestellung kein existierendes Instrument gefunden werden konnte, wurde eine Skala für den Einsatz in beiden Experimenten entwickelt. Die Skalonstruktion erfolgte dabei induktiv in sechs Schritten (z.B. nach Hartmann & Reinecke, 2013). Dabei wird ein umfangreicher und für die Zielkonstrukte repräsentativer Itempool generiert und der Zielgruppe vorgelegt. Mithilfe einer Faktorenanalyse werden die Items zu Gruppen interkorrelierender Skalen zusammengefasst.

In Schritt 1 wurde aufgrund der Literaturrecherche und Diskussionen in Expertengesprächen angenommen, dass das zu messende Konstrukt aufgrund seines spezifischen Auftretens im Rahmen von Spatial Mapping tendenziell eher als eindimensional (= Angemessenheit des System-Setups für die Aufgabe) umzusetzen ist. Als Subkomponenten könnten einzelne Bestandteile des System-Setups in Frage kommen, etwa die grafische Darstellung/Passfähigkeit sowie die Eignung der Steuerung.

In Schritt 2 wurde demzufolge zunächst ein Itempool erstellt. DeVellis (2012) empfiehlt die doppelte Itemzahl zu generieren, als die finale Skala letztlich aufweisen soll. Um verschiedene Facetten des Konstrukts möglichst erschöpfend abzubilden, wurden also zunächst zehn Statements formuliert und diese internen Expertenratings unterzogen (Face Plausibility). Einige Items waren dabei negativ gepolt. Es wurden die fünf Items ausgewählt, die das gewünschte

Konstrukt nach Expertenmeinung am besten erfassen (7-Punkte-Likert-Skala). Diese Items kamen in Experiment 1 zum Einsatz (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15. *Experiment 1: Items der Task Adequacy Scale*

Item	Formulierung
1	„Der Controller war sehr gut für das Autofahren geeignet.“
2 (R)	„Mit dem Controller konnte ich nicht alles so genau steuern, wie ich es wollte.“
3	„Der Controller erschien mir für das Spiel sehr angemessen.“
4	„Ich habe meine Spielziele mit dem Controller sehr gut umsetzen können.“
5 (R)	„Ich hätte mir für die Steuerung des Spiels einen anderen Controller gewünscht.“

Im nächsten Schritt wurden die negativ gepolten Items umcodiert und die Itemkennwerte aus Experiment 1 analysiert (siehe Tabelle 16). Die Items beziehen sich primär auf die Angemessenheit bzw. Eignung der Steuerung. Items zur spezifischen Überprüfung der Eignung der Darstellung bzw. der Kombination des Spatial Mapping für die Aufgabe sind noch nicht erschöpfend mit der Skala abgebildet. Die Skala wurde daher für Experiment 2 um weitere Items erweitert (siehe 8.2.5.7), die schließlich eine Zwei-Faktorenlösung zur Folge hatte. An dieser Stelle werden zunächst die vorliegenden fünf Items eingesetzt.

Tabelle 16. *Experiment 1: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale*

Item	M	SD	Schiefe	Kurtosis	Itemschwierigkeit	Trennschärfe
1	4.91	1.79	-0.52*	-0.82	0.70	0.79
2 (R)	3.65	1.81	0.26	-1.28**	0.52	0.31
3	5.25	1.68	-0.67**	-0.63	0.75	0.76
4	4.81	1.52	-0.50*	-0.46	0.69	0.58
5 (R)	4.74	2.19	-0.45*	-1.34**	0.68	0.69

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

Die Items zeigten sich dabei mehrheitlich rechtsschief ($p < .05$ für Item 1, 3, 4 und 5) und platykurtisch ($p < .05$ für Item 2 und 5). Die Itemschwierigkeit sollte idealerweise zwischen 0.2 und 0.8 liegen (Hartmann & Reinecke, 2013). Alle Items erfüllen diese Empfehlung und weisen auch eine hinreichend gute Trennschärfe auf.

Keines der Items folgte der Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test; Item 1: $D(133) = 0.194, p < .001$; Item 2: $D(133) = .189, p < .001$; Item 3: $D(133) = 0.204, p < .001$; Item 4: $D(133) = .167, p < .001$; Item 5: $D(133) = 0.215, p < .001$). Tabellen siehe Anhang A.3.

Die Homogenität der Stichprobe ist eine der Hauptursachen für die Verletzung der Normalverteilung, die Ergebnisse der Skalenkonstruktion müssen daher kritisch bei einer anderen Stichprobe geprüft werden. Dies ist jedoch kein generelles Ausschlusskriterium für die Items, da die Hauptkomponentenanalyse (PCA) für wenige Dimensionen robust genug für die Datenreduktion mit nicht-normalverteilten Daten ist (Jolliffe, 2002). Die Interpretation der Faktoren wird jedoch problematisch, wenn zu viele nicht normalverteilte Variablen benutzt werden. Es gibt Varianten der Analyse, die für komplexer dimensionierte Daten ohne Normalverteilung (Independent Component Analysis, ICA; Kim, D. & Kim, 2012) oder gar für abhängige Daten verwendet werden können (Copula Component Analysis, COCA; Han & Liu, 2012). Da von einer Eindimensionalität ausgegangen wurde, kann zur Überprüfung eine PCA eingesetzt werden. Weitere Voraussetzungen für eine PCA ist eine ausreichende Stichprobengröße zum Errechnen einer stabilen Faktorenlösung und genügend hoch korrelierende Variablen, um interpretierbare Ergebnisse zu liefern.

Das Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = .68$), hohe Kommunalitäten (bis auf Item 2: mit $h^2 = .402$ alle über $h^2 = .55$) deuteten eine ausreichende Eignung der Stichprobe für die Faktoranalyse an (Field, 2013; Hutcheson & Sofroniou, 1999). Die Korrelationsmatrix der Items zeigte bei Item 2 niedrige Korrelationen ($r < .3$) mit allen anderen Items, es liegt jedoch keine Einheitsmatrix vor (Bartlett-Test auf Sphärizität: $\chi^2(6) = (283.036), p < .001$). Field (2013) empfiehlt in diesem Fall dennoch, betroffene Items auszuschließen, um die Interpretierbarkeit der PCA zu erhöhen. Item 2 wurde dementsprechend entfernt.

Die Betrachtung der Eigenwerte der Daten offenbarte einen Faktor über Kaisers Kriterium von 1 und erklärte damit 72 % der Varianz. Der Screeplot unterstützte diese Interpretation (siehe Anhang A.3).

Die vorliegende Skala erwies sich mit $\alpha = .87$ als sehr reliabel. Die Trennschärfekoeffizienten (siehe Tabelle 16) sind ebenfalls als sehr gut zu bezeichnen. Die Skala zeigte insgesamt zwar überdurchschnittliche Werte ($M = 0.65, SD = 0.25$, standardisiert auf Werte zwischen 0 und

1). Im Vergleich zu Experiment 2 ($M = 0.71$, $SD = 0.24$) ist jedoch eine deutlich niedrigere Bewertung der Relevanz von der Angemessenheit eingesetzter Ein-/Ausgabegeräte festzustellen, Mann-Whitney U-Test, $U(132, 133) = 7522.5$, $p < .05$, $z = -2.02$, $r = .175$. Der Unterschied entspricht einem kleinen bis mittleren Effekt. Das System-Setup weist also planmäßig eine niedrige Task Adequacy für Experiment 1 auf.

7.2.4.10 Performance-Maße

Während des Experiments kam eine Reihe verschiedener Performance-Maße zum Einsatz. Die komplette Spielsitzung wurde über die im Spiel integrierte Replay-Funktion aufgezeichnet und für jeden Probanden gespeichert. Eine anschließende Auswertung des Replays ermöglichte es, die Anzahl absolvierter Runden innerhalb des Zeitfensters (25 Minuten Fahrzeit) sowie die einzelnen Rundenzeiten zu erfassen. Weiterhin wurde die Sektorenzeit (für einzelne Streckenabschnitte) erhoben, jedoch später nicht mit ausgewertet. Die durchschnittliche Rundenzeit betrug $M = 118.61$ Sekunden ($SD = 15.13$).

Die Leistung der Teilnehmer steigert sich im Verlauf der Spielsitzung. Hier ist entscheidend, dass alle Teilnehmer dieselbe Trainingszeit besitzen, um diese als Störvariable ausschließen zu können. Die Betrachtung intuitiver Performance ist interessant, weil man gerade bei kurzer Einspielzeit von größeren Gruppenunterschieden ausgehen kann, die wahrscheinlich mit der Zeit durch die Anpassung der Nutzer an die Ein-/Ausgabekombination geringer werden.

Als weiteres Performance-Maß wurde die Anzahl der Runden (inkl. prozentualer Fortschritt zur nächsten vollen Runde) bei Minute 10 und Minute 20 gezählt. Aus beiden wurde die Differenz gefahrener Runden gebildet, sodass ein Maß gefunden wurde, dass die aktivsten 40 Prozent der Fahrzeit beschreibt. Diese Methode parallelisiert die Trainingszeit und eliminiert Runden mit anfänglichen Fehlern sowie Runden kurz vor Ende der Spielzeit, in denen bei einigen Spielern bereits Ermüdungserscheinungen zu beobachten waren. Die Rundenanzahl (Minute 10 bis 20) stellt ein exakteres Maß dar als die Erfassung der durchschnittlichen Rundenzeiten pro Teilnehmer über die gesamte Spielsitzung ($M = 5.24$ Runden, $SD = 0.56$).

7.3 Ergebnisse

Alle Skalen für abhängige Variablen (bis auf Performance) wurden zur besseren Interpretierbarkeit auf Werte zwischen 0 und 1 skaliert. Weiterhin wurden die Daten auf Verletzungen von Voraussetzungen für parametrische Auswertungsverfahren geprüft (normalverteilte Residuen, Varianzhomogenität, Gruppengleichheit) und ein Manipulationscheck für die Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Im Folgenden werden anschließend die Ergebnisse der Hypothesenprüfung sowie weitere Befunde berichtet.

7.3.1 Prüfung von Voraussetzungen

Das Modell für die Varianzanalyse basiert auf den Gruppenmittelwerten der vier Untersuchungsbedingungen in den interessierenden Variablen. Eine Voraussetzung dafür ist, dass entweder die Daten der vier Gruppen normalverteilt sind oder deren Abweichungen zum Gruppenmittelwert, also die Residuen der entsprechenden Skalen. Um dies zu prüfen, wurde in SPSS eine MANOVA aller Skalen mit den beiden UV gerechnet und die Residuen der Skalen gespeichert. Anschließend wurde ein KS-Test durchgeführt (siehe Anhang A.4 und Tabelle 17).

Tabelle 17. *Experiment 1: Test auf Normalverteilung der Residuen (Kolmogorov-Smirnov)*

Skala	<i>D</i>	<i>df</i>	Sig.
Residuen für ITC-SOPI-Negative Effects	0.156	125	.000
Residuen für ITC-SOPI-Naturalness/Ecological Validity	0.053	125	.200
Residuen für MEC-SPQ-Attention Allocation	0.119	125	.000
Residuen für MEC-SPQ-Domain Specific Interest	0.106	125	.002
Residuen für MEC-SPQ-Higher Cognitive Involvement	0.069	125	.200
Residuen für MEC-SPQ-Suspension of Disbelief	0.109	125	.001
Residuen für MEC-SPQ-Spatial Presence/Possible Actions	0.071	125	.200
Residuen für MEC-SPQ-Spatial Presence/Self Location	0.088	125	.020
Residuen für MEC-SPQ-Spatial Situation Model	0.068	125	.200
Residuen für MEC-SPQ-Visual Spatial Imagery	0.162	125	.000
Residuen für Perceived Natural Mapping Scale	0.052	125	.200
Residuen für Task Adequacy Scale	0.061	125	.200

Die Residuen innerhalb der vier Versuchsbedingungen folgten bei vielen der Skalen nicht der Normalverteilung. Weiterhin wurde eine signifikante Schiefe und Kurtosis (siehe Tabelle 18) festgestellt. Die Schiefe resultierte aus einheitlich hohen (z.B. MEC-SPQ Attention Allocation, $M = 0.83$, $SD = 0.15$; Suspension of Disbelief, $M = 0.69$, $SD = 0.24$; Visual Spatial Imagery, $M = 0.71$, $SD = 0.20$) bzw. niedrigen (z.B. Negative Effects, $M = 0.17$, $SD = 0.18$; Domain Specific Interest, $M = 0.33$, $SD = 0.31$) Skalenwerten. Eine visuelle Inspektion der Histogramme und Q-Q-Diagramme unterstützte die Einschätzung der Nicht-Normalverteilung.

Bei größeren Stichproben ist eine Normalverteilung durch die Gültigkeit des zentralen Grenzwerttheorems allgemein gewährleistet, sofern das Merkmal in der Population tatsächlich auch normalverteilt ist. Die vergleichsweise geringen Zellbesetzungen ($n = 31$) können hier Ursache sein, dass die Normalverteilung nicht erfüllt ist. Eine fehlende Normalverteilung bedeutet daher nicht, dass parametrische Testverfahren generell ausgeschlossen werden müssen, da z.B. die F-Statistik einer ANOVA trotz gegebener Schiefe und Nicht-Normalverteilung bei zweiseitigen Tests robuste Ergebnisse liefert (Field, 2013; Glass, Peckham & Sanders, 1972). Dies gilt allerdings nur für gleiche Gruppengrößen (Donaldson, 1968; Wilcox, 2005), die in Experiment 1 jedoch gegeben sind.

Kurtosis hat einen stärkeren Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Alpha-Fehlern als die Verletzung der Normalverteilung. ITC-SOPI „Negative Effects“ und MEC-SPQ „Visual Spatial Imagery“ sind signifikant platykurtisch, die Wahrscheinlichkeit eines Alpha-Fehlers steigt demzufolge. Beide Skalen sind jedoch für die Hypothesenprüfung nicht zentral.

Tabelle 18. *Experiment 1: Schiefe und Kurtosis der Skalen*

Item	M	SD	Schiefe	Kurtosis
Scale: IMI-Interest/Enjoyment	0.68	0.24	-0.66**	0.25
Scale: ITC-SOPI-Negative Effects	0.17	0.18	1.94***	4.18***
Scale: MEC-SPQ-Attention Allocation	0.83	0.15	-0.94***	0.27
Scale: ITC-SOPI-Naturalness/Ecological Validity	0.47	0.21	0.08	-0.45
Scale: MEC-SPQ-Domain Specific Interest	0.34	0.31	0.68**	-0.59
Scale: MEC-SPQ-Higher Cognitive Involvement	0.46	0.18	0.31	-0.11
Scale: MEC-SPQ-Suspension of Disbelief	0.69	0.24	-0.78***	0.22
Scale: MEC-SPQ-Spatial Presence/Possible Actions	0.44	0.22	0.16	-0.37
Scale: MEC-SPQ-Spatial Presence/Self Location	0.41	0.25	0.36	-0.67
Scale: MEC-SPQ-Spatial Situation Model	0.64	0.18	-0.50*	0.12
Scale: MEC-SPQ-Visual Spatial Imagery	0.71	0.20	-1.18***	1.94***
Scale: Perceived Natural Mapping Scale	0.82	0.36	-0.17	-0.83
Scale: Perceived Video Skill	0.38	0.25	0.31	-0.97*
Scale: Task Adequacy	0.65	0.25	-0.53*	-0.64

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Auf eine Transformation der Daten wurde an dieser Stelle verzichtet. Es konnte keine Annäherung an eine Normalverteilung mithilfe von logarithmischer oder Wurzeltransformation festgestellt werden.

Die normalverteilten Skalen wurden mittels Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen geprüft. Bei der Task Adequacy Scale wurden ungleiche Varianzen gefunden, $F(3, 121) = 3.134$, $p < .05$. Hartley's F_{MAX} (Varianzquotient) wurde zusätzlich berechnet, um das Ergebnis des Levene-Tests zu verifizieren (Hartley, 1950). Dazu wird ein Quotient aus der größten Varianz in einer Gruppe mit der kleinsten Varianz in einer Gruppe gebildet und dieser mit den Kennwerten von Kanji (2006) verglichen. Für die Task Adequacy Scale beträgt $F_{MAX} = 3.79$. Der ermittelte Wert liegt über dem Grenzwert (bei 4 Gruppen und 30 Probanden) von $F_{MAX} = 2.61$, das Ergebnis des Levene-Tests ist verifiziert.

Mittels non-parametrischen Levene-Test (Nordstokke & Zumbo, 2010) wurde die Varianzhomogenität in den nicht-normalverteilten Skalen verifiziert.

7.3.2 Manipulationscheck

ITC-SOPI „Naturalness/ Ecological Validity“ (ITC-SOPI NEV), „Perceived Natural Mapping“ sowie ein einzelnes Item (S3Dcheck; „Die stereoskopische 3D-Darstellung im Spiel war deutlich erkennbar“) diente als Manipulationscheck für die Versuchsbedingungen.

Eine univariate Varianzanalyse (ANOVA) für ITC-SOPI NEV zeigte, dass der Einsatz des Lenkrads zu einer signifikanten Veränderung der wahrgenommenen Natürlichkeit geführt hat, $F(1, 123) = 4.676, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = .04$. Das Lenkrad wurde natürlicher bewertet ($M = 0.51, SD = 0.2$) als das Gamepad ($M = 0.43, SD = 0.22$).

Das zeigte sich auch sehr deutlich an der Bewertung des Natural Mapping: Probanden bewerteten NM in der Bedingung mit Lenkrad signifikant höher ($M = 0.66, SD = 0.15$) als in der Bedingung mit Game Controller ($M = 0.39, SD = 0.18$), $F(1, 123) = 85.44, p < .001, \eta^2_{\text{part}} = .41$.

Die stereoskopische Darstellung wurde ebenfalls von den Probanden deutlich als solche erkannt, $F(1, 123) = 7.0, p < .01, \eta^2_{\text{part}} = .05$ (siehe Anhang A.4).

7.3.3 Hypothesenprüfung: ANCOVA

Durch Einsatz von Kovarianzanalysen wurden zunächst alle direkten Pfade des Modells geprüft (siehe Abbildung 68).

Abbildung 68. Experiment 1: Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell

Für die Prüfung der Hypothesen wurden separate Kovarianzanalysen (ANCOVA) mit den beiden Untersuchungsfaktoren durchgeführt. Zur Überprüfung der Nullhypothesen kamen ebenfalls Tests zur Äquivalenzprüfung (Weber & Popova, 2012) zum Einsatz.

Es wurden folgende Hypothesen geprüft:

H_{1A} : Natural Mapping ist nicht relevant für die Aufgabe der Nutzer.

H_{1B} : Stereoskopische Darstellung ist nicht relevant für die Aufgabe der Nutzer.

H_{2Ad} : Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf Unterhaltung.

H_{2Bd} : Stereoskopische Darstellung hat keinen direkten Effekt auf Unterhaltung.

H_{3Ad} : Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.

H_{3Bd} : Stereoskopische Darstellung hat keinen direkten Effekt auf Spatial Presence.

H_{4Ad}: Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf Performance.

H_{4Bd}: Stereoskopische Darstellung hat keinen direkten Effekt auf Performance.

H_{5Ad}: Natural Mapping hat keinen direkten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.

H_{5Bd}: Stereoskopische Darstellung hat keinen direkten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.

7.3.3.1 Task Adequacy

Zur Prüfung der Hypothese H_{1A} und H_{1B} wurde eine ANCOVA mit den UV und Task Adequacy gerechnet. Als mögliche Kovariaten wurden eine Reihe von Variablen zunächst mit einzelnen ANOVAs auf Unabhängigkeit zur Zielvariablen geprüft (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19. *Experiment 1: Prüfung der Unabhängigkeit von Kovariaten (ANOVA)*

Variable	UV-A (NUI)	UV-B (S3D)
1 Alter	$F(1, 121) = 1.48$, n.s.	$F(1, 121) = 4.42$, $p < .05$, $\eta^2_{\text{part}} = .04$
2 Attitudes towards Rule Violations and Speeding	$F(1, 121) = 0.38$, n.s.	$F(1, 121) = 0.07$, n.s.
3 Erfahrung Gamepads	$F(1, 121) = 0.03$, n.s.	$F(1, 121) = 0.37$, n.s.
4 Erfahrung Lenkräder	$F(1, 121) = 3.68$, n.s.	$F(1, 121) = 0.77$, n.s.
5 Erfahrung Rennspiele	$F(1, 121) = 0.95$, n.s.	$F(1, 121) = 0.17$, n.s.
6 Fahrpraxis (Jahre Führerschein)	$F(1, 121) = 0.71$, n.s.	$F(1, 121) = 3.41$, n.s.
7 Game Playing Skill Scale	$F(1, 121) = 0.07$, n.s.	$F(1, 121) = 0.22$, n.s.
8 Geschlecht	$F(1, 121) = 0.07$, n.s.	$F(1, 121) = 1.77$, n.s.
9 MEC-SPQ Domain Specific Interest	$F(1, 121) = 0.05$, n.s.	$F(1, 121) = 0.14$, n.s.
10 MEC-SPQ Visual Spatial Imagery	$F(1, 121) = 0.12$, n.s.	$F(1, 121) = 0.01$, n.s.

Bis auf Alter sind alle geprüften Kovariaten unabhängig zum experimentellen Treatment und können daher für die Analyse zum Einsatz kommen. Das bedeutet jedoch nicht, dass alle Variablen als Kovariaten für die einzelnen Berechnungen in das Modell eingeflossen sind. Bei jeder Kovarianzanalyse wurden nur Variablen inkludiert, bei denen ein theoretischer Zusammenhang besteht. Die Regressionsgeraden sind innerhalb und zwischen den Gruppen homogen für alle betrachteten Kovariaten aus Tabelle 19.

Die „Task Adequacy Scale“ verletzt zwar die Voraussetzung der Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen, weist jedoch hinreichend gleiche Zellbesetzungen auf ($n = 62$ bzw. $n = 63$). In diesem Fall sollte eine ANOVA dennoch valide Ergebnisse liefern (Field, 2013; Glass et al., 1972). Alternativ kann eine angepasste F-Statistik mithilfe der Welch-ANOVA und des Brown-Forsythe-Tests berechnet werden. Beide sind jedoch nur für einfaktorielle ANOVA verfügbar. Um die Berechnung demzufolge durchführen zu können, wurden die beiden unabhängigen Variablen in einer Variable („Conditions“) zusammengefasst und eine Welch-ANOVA gerechnet, $F(3, 64,236) = 16.171, p < .001, \omega = 0.49$. Geplante Kontraste zeigen einen Haupteffekt für NUI, $t(103,155) = 6.127, p < .001$ (einseitig), $r = .52$, jedoch keinen für S3D, $t(193,155) = -1.856, n.s.$

Die Analyse wurde per ANOVA wiederholt. Ohne Betrachtung von Kovariaten (ANOVA) ist ein signifikanter Effekt von UV-A (NUI), $F(1, 121) = 37.91, p < .001, \eta^2_{\text{part}} = 0.24$ auf Task Adequacy zu beobachten, jedoch kein Effekt für UV-B (S3D), $F(1, 121) = 3.48, n.s.$ Es liegt kein Interaktionseffekt vor, $F(1, 121) = 0.32, n.s.$

Als relevante Kovariate wurde die reale Fahrerfahrung in das Modell eingefügt. Die Fahrerfahrung beeinflusst das Modell signifikant, $F(1, 106) = 6.461, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = 0.06$. Nutzer mit hohem Natural Mapping ($M = 0.79, SD = 0.20$) bewerteten die Kombination von Eingabegerät und Darstellung als angemessener als Nutzer mit niedrigem Natural Mapping ($M = 0.51, SD = 0.29$). Es gab keinen Effekt für Stereoskopie, $F(1, 106) = 1.465, n.s.$, und keinen Interaktionseffekt (Abbildung 69).

Abbildung 69. Experiment 1: Profildigramm Task Adequacy

Auch Hypothese H_{1B} ging davon aus, dass keine Effekte auf Task Adequacy bestehen. Es wurden zwar keine Effekte gefunden, dies bedeutet jedoch nicht im Umkehrschluss, dass die Nullhypothese angenommen werden kann.

Ein nicht signifikantes Ergebnis kann nicht so gedeutet werden, als dass innerhalb der Population eine gleiche Verteilung des untersuchten Merkmals vorherrscht. Dies geschieht in der Praxis jedoch häufig (Anderson, S. & Hauck, 1983; Levine, Weber, Park & Hullett, 2008). Es ist vielmehr wichtig, zwischen trivialen bzw. praktisch bedeutsamen Effektgrößen zu unterscheiden. Wird eine minimale Effektstärke definiert, die für ein Forschungsproblem relevant ist, lässt sich zumindest prüfen, ob ein Effekt dieser Größe tatsächlich empirisch belegt werden kann. Bedingt durch das Untersuchungsdesign ist die Prüfung der Hypothesen in Experiment 1 durch minimal auffindbare Effektstärken limitiert. Damit wird kann nicht ausgeschlossen werden, dass eventuell geringere Effekte existieren.

Eine Möglichkeit, die Gleichheit bzw. Äquivalenz zweier Verteilungen statistisch zu prüfen, um somit die Abwesenheit von Effekten in der Population zu belegen, bieten Äquivalenztests (Levine et al., 2008; Weber & Popova, 2012). Es wird zunächst vorab eine minimale Effektstärke definiert, die bei der Forschungsfrage eine praktische Relevanz besitzt. Der Test prüft nun, mit welcher Wahrscheinlichkeit der untersuchte Effekt in den Daten kleiner (Alternativhypothese) oder größer (Nullhypothese) als die vorab definierte minimale Effektgröße ausfällt. Bei der Auswertung in dieser Arbeit werden daher Äquivalenztests eingesetzt, um die Prüfung von Hypothesen zu ermöglichen, die von keinem Zusammenhang ausgehen.

Weber und Popova (2012) geben eine Übersicht zu minimalen praxisrelevanten Effektgrößen am Beispiel von 112 Meta-Analysen aus den Kommunikationswissenschaften. Einen Ausschnitt davon zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20. *Perzentile von $|r|$ in Meta-Analysen in unterschiedlichen Bereichen der Kommunikationswissenschaften (Weber & Popova, 2012)*

Perzentil	5	10	25	50	75	90	95	#
Medien	.027	.053	.103	.190	.300	.469	.521	430
Interpersonell	.012	.031	.083	.160	.270	.440	.560	300
Persuasion	.012	.027	.060	.129	.309	.510	.630	278
Instruktion/Entwicklung	.022	.030	.076	.158	.313	.490	.508	209
Methodologie	.006	.008	.016	.024	.042	.083	.093	14*
Organisation	.037	.038	.055	.075	.109	.195	.195	14*
Gruppen	.003	.003	.004	.147	.212	.212	.212	6*
Interkulturell	.104	.104	.105	.157	.372	.372	.372	4*

* Die Anzahl der Effektgrößen (#) in verfügbaren Meta-Analysen ist zu gering für eine verlässliche Richtlinie

Eine Möglichkeit besteht darin, Standard-Effektgrößen als minimale Effektgrößen heranzuziehen, z.B. Cohens (1988) Kategorien mit 0.10 als kleinen, 0.30 als mittleren und 0.50 als großen Effekt. Alternativ empfehlen Weber und Popova (2012) den Wert auf Basis der Korrelationen von Metaanalysen im Forschungsfeld zu berechnen. Eine liberale Strategie besteht darin, den tatsächlich berichteten Effekt, z.B. $\Delta = r = .19$ als minimalen Effekt zu definieren. Eine konservative Strategie wäre die Nutzung von $\Delta = r = .10$ als kleinen Effekt in Cohens (1988) Kategoriensystem. Klemmert (2004) schlägt als Kompromiss den Mittelwert beider Strategien (z.B.

$\Delta = (0.19 + 0.10)/2 = 0.145$ vor. Eine weitere ausgeglichene Variante stammt von Murphy, Myers und Wolach (2009), die die Hälfte der aufklärten Varianz der Metaanalyse als minimalen Effekt definieren (Formel 1)

$$\Delta = \sqrt{\frac{r^2}{2}} \quad (1)$$

Für den Äquivalenztest für Task Adequacy wird entsprechend der Referenztabellen (Weber & Popova, 2012, S. 197) ein durchschnittlicher Wert von $r = .19$ als Basis herangezogen¹⁴. Als minimaler Effekt wird $\Delta = \sqrt{(0.19^2/2)} = 0.134$ angenommen. Zur Berechnung wurden die von Weber und Popova (2012) zur Verfügung gestellten SPSS-Dialoge eingesetzt.

Der Äquivalenztest für S3D und Task Adequacy ist nicht signifikant, $t(123) = 1.68$, $\Delta = 0.134$, n.s. (zwei-seitig) für die angenommene minimale Effektgröße. Wenn ein größerer Effekt angenommen wird ($\Delta = 0.24$; zwischen 50. und 75. Perzentil aus Weber und Popov's Übersichtstabelle für „Media“ Meta-Analysen), kann eine Äquivalenz festgestellt werden, $t(123) = 0.46$, $\Delta = 0.24$, $p_{eq} = .042$ (zwei-seitig).

Ein mittlerer Effekt nach Cohen (1988) ist jedoch zu liberal, da entsprechend Tabelle 20 bereits zwischen 75 % und 90 % aller berichteten Effekte im Bereich „Media“ kleinere Effektstärken vorweisen konnten. Es muss davon ausgegangen werden, dass der praktisch relevante minimale Effekt in der Tat kleiner ist und die vorliegende Studie keine statistische Äquivalenz nachweisen konnte.

7.3.3.2 Unterhaltung

Für Hypothesen H_{2Ad} und H_{2Bd} wurde eine ANCOVA mit den UV und der Skala IMI „Interest/Enjoyment“ gerechnet. Die unabhängigen Kovariaten (siehe Tabelle 19) kamen für die Analyse zum Einsatz. Die Regressionsgeraden sind innerhalb und zwischen den Gruppen homogen.

¹⁴ 50.tes Perzentil über sämtliche aggregierte Meta-Analysen aus dem Bereich „Media“, d.h. die Hälfte aller berichteten Effekte liegt sowohl über als auch unter diesem Schwellenwert.

Ohne Betrachtung von Kovariaten (ANOVA) ist ein signifikanter Effekt von UV-A (NUI) auf die Unterhaltung zu beobachten ($F [1, 121] = 10.56, p < .005, \eta^2_{\text{part}} = 0.08$), jedoch kein Effekt für UV-B (S3D), $F (1, 121) = 0.2, \text{n.s.}$ und kein Interaktionseffekt, $F (1, 121) = 0.01, \text{n.s.}$

„Domain Specific Interest“, „Attitudes towards Rule Violations and Speeding“, „Fahrpraxis“ und „Game Playing Skill Scale“ und Performance wurden als Kovariaten betrachtet. „Domain Specific Interest“ beeinflusst die Unterhaltung als Kovariate signifikant, $F (1, 102) = 11.0, p < .001, \eta^2_{\text{part}} = 0.1$. Unter Berücksichtigung der Kovariaten bleibt der Haupteffekt für NUI erhalten, $F (1, 102) = 12.11, p < .001, \eta^2_{\text{part}} = .11$. Nutzer mit hohem Natural Mapping bewerteten das Spiel als unterhaltsamer ($M = 0.62, SD = 0.26$) im Vergleich zu Nutzern mit niedrigem Natural Mapping ($M = 0.75, SD = 0.21$). Das Profildigramm in Abbildung 70 veranschaulicht diese Beziehung (Tabellen siehe Anhang A.4).

Abbildung 70. Experiment 1: Profildigramm IMI-Interest/Enjoyment

Hypothese H_{2Bd} ist eine Nullhypothese. Neben der ANCOVA wurde daher ein Äquivalenztest für $\Delta = 0.134$ durchgeführt. Der Äquivalenztest für UV-B und Enjoyment ist nicht signifikant mit der verwendeten Effektgröße, $t(123) = 0.46$, $\Delta = 0.134$, n.s. (zwei-seitig). Der Test wird allerdings signifikant mit $\Delta = 0.30$ (75. Perzentil aus Weber und Popov's Übersichtstabelle für „Media“ Meta-Analysen, $t(123) = 0.46$, $\Delta = 0.30$, $p_{eq} = .01$ (zwei-seitig).

Bei maximaler praxisrelevanter Effektstärke von $r = .134$ kann aus den Daten nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass ein Einfluss von stereoskopischer Darstellung auf Unterhaltung existiert.

7.3.3.3 Spatial Presence

Für Hypothesen H_{3Ad} und H_{3Bd} wurde zunächst eine ANCOVA mit den UV und Spatial Presence in Form der MEC-SPQ „Spatial Presence/ Self Location“ Skala gerechnet. Die unabhängigen Kovariaten (siehe Tabelle 19) kamen für die Analyse zum Einsatz. Die Regressionsgeraden sind innerhalb und zwischen den Gruppen homogen.

Ohne Betrachtung von Kovariaten (ANOVA) ist ein signifikanter Effekt von UV-A (NUI) auf Spatial Presence zu beobachten ($F(1, 121) = 11.64$, $p < .001$, $\eta^2_{part} = 0.09$), jedoch kein signifikanter Effekt für UV-B (S3D), $F(1, 121) = 0.66$, n.s. oder Interaktionseffekt der beiden UV, $F(1, 121) = 0.4$, n.s.

Für die ANCOVA wurde dem Modell „Visual Spatial Imagery“ als Kovariate hinzugefügt. Diese zeigte jedoch keinen signifikanten Einfluss auf Spatial Presence, $F(1, 120) = 0.781$, n.s. Nutzer mit hohem Natural Mapping erzielten höhere Spatial Presence Werte ($M = 0.48$, $SD = 0.25$) als Nutzer mit niedrigem Natural Mapping ($M = 0.34$, $SD = 0.23$), $F(1, 120) = 11.421$, $p < .001$, $\eta^2_{part} = 0.09$ (siehe Abbildung 71; Tabellen siehe Anhang A.4).

Abbildung 71. Experiment 1: Profildigramm Spatial Presence

Die Hypothese H_{3Bd} ist eine Nullhypothese. Bisher konnte die Alternativhypothese nicht bestätigt werden, es lag kein Effekt für die stereoskopische Darstellung vor.

Für den Äquivalenztest für Spatial Presence wird entsprechend der Referenztabellen (Weber & Popova, 2012, S. 197) erneut ein Wert von $\Delta < 0,134$ angenommen. Der Äquivalenztest für UV-B und Spatial Presence ist mit der verwendeten maximalen Effektgröße nicht signifikant, $t(123) = 0.46$, $\Delta = 0.134$, n.s. (zwei-seitig), jedoch mit $\Delta = 0.24$ (zwischen 50. und 75. Perzentil aus Weber und Popov's Übersichtstabelle für „Media“ Meta-Analysen, $t(123) = 0.46$, $\Delta = 0.24$, $p_{eq} = .042$ (zwei-seitig).

Bei maximaler praxisrelevanter Effektstärke von $r = .134$ kann aus den Daten nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass ein Einfluss von stereoskopischer Darstellung auf Spatial Presence existiert. Wenn als maximale Effektstärke $r = .24$ angenommen wird, dann ist ein

signifikante Äquivalenz gegeben. Entsprechend Tabelle 20 weisen zwischen 50 % und 75 % aller berichteten Effekte im Bereich „Media“ kleinere Effektstärken auf. Erneut muss davon ausgegangen werden, dass der praktisch relevante Effekt tatsächlich kleiner ist und die vorliegende Studie keine statistische Äquivalenz nachweisen konnte.

7.3.3.4 Performance

Die Leistung im Spiel hängt direkt von der Schwierigkeit der gestellten Aufgabe zusammen. Eine unterschiedliche subjektiv wahrgenommene Schwierigkeit ist direkt für verschiedene Leistungsdaten verantwortlich und kann im Falle einer zu hohen Schwierigkeit die Gesamtbewertung der Interaktion mit dem System beeinflussen (Halo-Effekt, im Detail dazu siehe 8.2.2). Mithilfe eines Kontroll-Items wurde daher ein Einfluss der subjektiven Aufgabenschwierigkeit geprüft („Es war schwer, mein Auto im Spiel zu steuern“). Dabei zeigte sich jedoch kein Einfluss der Art der Eingabegeräte, $F(1, 121) = 0.72$, n.s., oder Darstellung, $F(1, 121) = 2.81$, n.s.

Für die Hypothesen H_{4Ad} und H_{4Bd} wurde eine ANCOVA mit den UV und dem ermittelten Performance-Maß (Anzahl gefahrener Runden zwischen 600 und 1200 Sekunden des Versuchs) gerechnet. Ohne Betrachtung von Kovariaten (ANOVA) ist ein signifikanter Effekt von UV-A (NUI) auf die Performance zu beobachten ($F[1, 121] = 7.02$, $p < .01$, $\eta^2_{\text{part}} = .06$), jedoch kein Effekt für UV-B, $F(1, 121) = 0.23$, n.s. und auch kein Interaktionseffekt, $F(1, 121) = 0.34$, n.s.

Als Kovariaten kamen Geschlecht, „Attitudes towards Rule Violations and Speeding“, „Game Playing Skill Scale“, „Domain Specific Interest“, sowie die reale Fahrpraxis, die Erfahrung mit Rennspielen, Gamepad und Lenkrad-Controllern für die Analyse zum Einsatz. Der Levene-Test zur Prüfung von Varianzhomogenität zeigte signifikant ungleich verteilte Varianzen, weshalb Hartley's F_{MAX} (Varianzquotient) berechnet wurde ($F_{\text{MAX}} = 1.61$). Da dies unter dem Grenzwert (bei 4 Gruppen und 30 Probanden pro Gruppe) von $F_{\text{MAX}} = 2.61$ liegt, kann die Annahme der Varianzhomogenität bestätigt und die ANCOVA regulär durchgeführt werden.

Geschlecht beeinflusst Performance als Kovariate signifikant, $F(1, 99) = 32.11$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.25$. Der starke Effekt des Geschlechts lässt auf latente Merkmale schließen, die nicht hinreichend im Modell abgedeckt sind. Dabei handelt es sich höchstwahrscheinlich um verzerrte Erfahrungswerte mit Computerspielen. In einer zweiten ANCOVA wurde Geschlecht

aus dem Modell entfernt. Hier zeigten sich „Game Playing Skill Scale“, $F(1, 100) = 10.04$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.09$, sowie „Domain Specific Interest“, $F(1, 100) = 4.06$, $p < .05$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.04$ als signifikante Einflussfaktoren auf das Modell. Der Haupteffekt für NUI bleibt erhalten, $F(1, 100) = 6.918$, $p < .01$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.07$.

Nutzer mit hohem Natural Mapping absolvierten innerhalb des Zeitrahmens weniger Rennrunden ($M = 5.11$, $SD = 0.58$) als Nutzer mit niedrigem Natural Mapping ($M = 5.38$, $SD = 0.52$). Das Profildigramm in Abbildung 72 veranschaulicht diese Beziehung (Tabellen siehe Anhang A.4).

Abbildung 72. Experiment 1: Profildigramm Performance

Der Effekt ist nicht zu beobachten, wenn nur die Probanden mit ausreichender Fahrpraxis für die Analyse herangezogen werden (Besitz eines Führerscheins, Besitz eines eigenen Fahr-

zeugs; $n = 49$), $F(1, 45) = 0.024$, n.s. Die Vermutung liegt nahe, dass die vergleichsweise geringe Fahrerfahrung in der Gesamtkohorte für den Haupteffekt zur Verschlechterung der Fahrleistung mit NUI verantwortlich ist.

Die Hypothese H_{4Bd} ist eine Nullhypothese. Neben der ANCOVA wurde daher eine Äquivalenzprüfung (Weber & Popova, 2012) mit einem Effekt von $\Delta < 0.134$ angenommen.

Der Äquivalenztest für UV-B und Performance ist mit der verwendeten maximalen Effektgröße nicht signifikant, $t(123) = -0.82$, $\Delta = 0.134$, n.s. (zwei-seitig). Bei maximaler praxisrelevanter Effektstärke von $r = .134$ kann aus den Daten nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass ein Einfluss von stereoskopischer Darstellung auf Performance existiert.

7.3.3.5 Spatial Situation Model

Für Hypothesen H_{5Ad} und H_{5Bd} wurde eine ANCOVA mit UV-A und MEC-SPQ „Spatial Situation Model“ gerechnet. Die unabhängigen Kovariaten (siehe Tabelle 19) kamen für die Analyse in Frage. Die Regressionsgeraden sind innerhalb und zwischen den Gruppen homogen.

Ohne Betrachtung von Kovariaten (ANOVA) ist ein signifikanter Effekt von UV-A (NUI) auf die Qualität des SSM zu beobachten, $F(1, 121) = 8.58$, $p < .005$, $\eta^2_{\text{part}} = .07$, jedoch kein signifikanter Effekt für UV-B (S3D), $F(1, 121) = 0.61$, n.s. Es konnte auch kein Interaktionseffekt gefunden werden, $F(1, 121) = 0.85$, n.s.

Für die ANCOVA wurden „Visual Spatial Imagery“, „Domain Specific Interest“, reale Fahrpraxis, und die „Game Playing Skill Scale“ als Kovariaten angenommen.

„Visual Spatial Imagery“, $F(1, 103) = 8.61$, $p < .005$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.08$), „Domain Specific Interest“, $F(1, 103) = 9.25$, $p < .005$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.08$) und reale Fahrpraxis, $F(1, 103) = 4.24$, $p < .05$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.04$ beeinflussen die Qualität des SSM als Kovariaten signifikant. Der Haupteffekt für NUI bleibt erhalten, $F(1, 103) = 9.89$, $p < .005$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.09$.

Nutzer mit hohem Natural Mapping berichteten ein signifikant besseres Spatial Situation Model ($M = 0.69$, $SD = 0.14$) als Nutzer mit niedrigem Natural Mapping ($M = 0.59$, $SD = 0.20$). Das Profildigramm in Abbildung 73 veranschaulicht diese Beziehung (Tabellen siehe Anhang A.4).

Abbildung 73. Experiment 1: Profildigramm Spatial Situation Model

Mit Einsatz einer ANCOVA konnte zwar ein Effekt für NUI, jedoch nicht für stereoskopische Darstellung gefunden werden.

Der Äquivalenztest für UV-B und Spatial Situation Model ist nicht signifikant, $t(123) = -0.23$, $\Delta = 0.134$, n.s. (zwei-seitig). Bei maximaler Effektstärke von $r = .134$ kann aus den Daten nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass ein Einfluss von stereoskopischer Darstellung auf Performance existiert. Bei einer angenommenen maximalen Effektgröße von $r = .21$ würde der Äquivalenztest hingegen die Hypothese bestätigen.

7.3.4 Hypothesenprüfung: Pfadanalyse

Durch den Einsatz einer Pfadanalyse konnten parallel zu den direkten auch indirekte Pfade des Modells geprüft werden (siehe Abbildung 74). Die direkten Effekte wurden ebenfalls im Modell abgebildet, sodass die Pfadanalyse als Ergänzung zu den Kovarianzanalysen für die Hypothesenprüfung herangezogen werden kann.

Abbildung 74. Experiment 1: Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell

Bei der eingesetzten Analyse handelt es sich um eine Strukturgleichungsanalyse (SEM) mit manifesten Variablen, sodass auf ein zusätzliches Messmodell verzichtet werden kann. Die gegebenen Skalen werden in diesem Fall als manifeste, also (mehr oder weniger) direkt beobachtbare Variablen aufgefasst (Bortz & Schuster, 2010, S. 435). Dies hat eine enorme Reduktion der Komplexität zur Folge, dafür müssen allerdings mögliche Messfehler in Kauf genommen werden. Bei komplexeren latenten Variablen werden zusätzlich empirische Messmodelle eingesetzt, um diese Messfehler genau spezifizieren zu können. Diese Form der Strukturgleichungsanalyse wird entweder als kovarianzanalytischer oder varianzanalytischer Ansatz in vollständigen SEM umgesetzt. Für die Fragestellung in dieser Arbeit sind mehrere

Vorgehensweisen möglich. Die Prüfung der Wechselwirkung zwischen den manifesten Variablen soll daher mithilfe der Pfadanalyse (PA) realisiert werden. Dabei werden komplexe Kausalzusammenhänge mit dem Einsatz mehrerer multipler Regressionsanalysen geprüft (Weiber & Mülhhaus, 2014, S.24ff). Die PA geht davon aus, dass die Indikatoren keine Messfehler aufweisen und somit ihre Zieldimensionen vollständig abbilden. Weiterhin korrelieren die Vorhersagefehler der einzelnen Regressionsgleichungen nicht untereinander und auch nicht mit den exogenen Variablen (UV). Für jede endogene Variable (Kriteriumsvariable im Modell) wird genau eine Regressionsgleichung bzw. Strukturgleichung formuliert. Zur Bildung der Gleichungen werden alle Pfadkoeffizienten im Modell herangezogen. Diese sind in Abbildung 75 dargestellt.

Abbildung 75. Experiment 1: Pfaddiagramm als Grundlage der Strukturgleichungen

Der kausale Gesamteffekt einer exogenen Variablen ergibt sich aus der Summe seiner direkten und indirekten Effekte. Indirekte kausale Effekte werden durch die Multiplikation der dazu gehörigen Pfadkoeffizienten berechnet.

Für die endogenen Variablen ergibt sich daraus folgendes Gleichungssystem:

$$y_1 = p_{y_1,x_1}x_1 + p_{y_1,x_2}x_2 + e_1 \quad (2)$$

$$y_2 = p_{y_2,y_1}y_1 + p_{y_2,x_1}x_1 + p_{y_2,x_2}x_2 + e_2 \quad (3)$$

$$y_3 = p_{y_3,y_2}y_2 + p_{y_3,x_1}x_1 + p_{y_3,x_2}x_2 + e_3 \quad (4)$$

$$y_4 = p_{y_4,y_2}y_2 + p_{y_4,x_1}x_1 + p_{y_4,x_2}x_2 + e_4 \quad (5)$$

$$y_5 = p_{y_5,y_1}y_1 + p_{y_5,x_1}x_1 + p_{y_5,x_2}x_2 + e_5 \quad (6)$$

Als Dateninput für die Pfadanalyse dient die Korrelationsmatrix der betrachteten Variablen (Tabelle 21).

Tabelle 21. *Experiment 1: Korrelationsmatrix der exogenen und endogenen Variablen (N = 125)*

	y₁	y₂	y₃	y₄	y₅	x₁	x₂
y₁:TAS	1						
y₂:SSM	0,212	1					
y₃:SP	0,265	0,414	1				
y₄:PERF	-0,11	0,252	0,007	1			
y₅:ENJ	0,25	0,511	0,442	0,137	1		
x₁:NM	0,483	0,256	0,296	-0,234	0,283	1	
x₂:S3D	-0,15	0,02	-0,041	0,074	-0,041	-0,008	1

Auf dieser Basis wird für jede endogene Variable eine multiple Regression gerechnet. Da die Pfadanalyse standardisierte Variablen betrachtet, sind die standardisierten (β) und nicht standardisierten Regressionskoeffizienten (B) identisch. Zudem ist der konstante Term der Regressionsgleichung jeweils Null, sodass die standardisierten partiellen Regressionskoeffizienten die Pfadkoeffizienten für das Kausalmodell liefern.

Die Regressionsanalysen wurden mithilfe von SPSS durchgeführt. Anschließend wurde das Modell in AMOS geprüft. Die Voraussetzungen für Regressionen wurden erfüllt (keine Nullvarianzen, keine Multikollinearität; $\overline{VIF} = 1.11$; Homoskedastizität, keine Autokorrelationen; Unabhängigkeit, Linearität).

Die Ergebnisse der multiplen Regressionen für y_1 bis y_5 sind in Tabelle 22 festgehalten.

Tabelle 22. *Experiment 1: Ergebnisse der multiplen Regressionen für die Strukturgleichungen*

	$B = \beta$	$SE B$	95 % K.I.	R^2
y_1:TAS				0.26
x_1 :NM	0.482***	0.78	0.327; 0.637	
x_2 :S3D	-0.146	0.78	-0.301; 0.009	
y_2:SSM				0.08
y_1 :TAS	0.123	0.1	-0.077; 0.323	
x_1 :NM	0.197	0.1	-0.001; 0.395	
x_2 :S3D	0.040	0.09	-0.135; 0.215	
y_3:SP				0.21
y_2 :SSM	0.363***	0.08	0.198; 0.528	
x_1 :NM	0.203*	0.08	0.037; 0.368	
x_2 :S3D	-0.047	0.08	-0.206; 0.113	
y_4:PERF				0.16
y_2 :SSM	0.332***	0.09	0.162; 0.503	
x_1 :NM	-0.319***	0.09	-0.489; -0.148	
x_2 :S3D	0.065	0.09	-0.100; 0.230	
y_5:ENJ				0.12
y_1 :TAS	0.084	0.09	-0.099; 0.267	
x_1 :NM	0.187	0.09	-0.009; 0.365	
x_2 :S3D	-0.026	0.09	-0.185; 0.133	

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$; K.I. = Konfidenzintervall

Die Koeffizienten der Störgrößen e_1 bis e_5 werden mithilfe des Bestimmtheitsmaßes R^2 (Anteil der durch die Regression erklärten Varianz) berechnet (Bortz & Schuster, 2010, S. 447).

$$P_{y1,e1} = \sqrt{1 - R^2_{y1}} = 0.86 \quad (7)$$

$$P_{y2,e2} = \sqrt{1 - R^2_{y2}} = 0.96 \quad (8)$$

$$P_{y3,e3} = \sqrt{1 - R^2_{y3}} = 0.89 \quad (9)$$

$$P_{y4,e4} = \sqrt{1 - R^2_{y4}} = 0.92 \quad (10)$$

$$P_{y5,e5} = \sqrt{1 - R^2_{y5}} = 0.94 \quad (11)$$

Die Überprüfung dieser Rechnung mit AMOS bestätigte die Ergebnisse der Pfadkoeffizienten.

Da das Pfadmodell kein vollständig rekursives Modell darstellt, d.h. einige Direktverbindungen von Variablen aufgrund theoretischer Überlegungen fehlen, muss der Fit bzw. die Anpassungsgüte des Modells berechnet werden. Dazu werden die Differenzen zwischen den empirisch beobachteten und den aus dem Modell implizierten Korrelationen betrachtet. Bortz und Schuster (2010) verweist auf über 30 verschiedene Fit-Indices in der Literatur. Meist wird der Modellgültigkeitstest auf Basis eines χ^2 -Tests eingesetzt (Maximum-Likelihood-Prinzip). Im vorliegenden Modell werden mit AMOS die empirischen mit den implizierten Varianzen und Kovarianzen subtrahiert, sodass eine Residual(ko)varianzmatrix entsteht (siehe Tabelle 22).

Tabelle 23. *Experiment 1: Standardisierte Residual(ko)varianzmatrix zur Modellprüfung*

	x₁ :NM	x₂ :S3D	y₁ :TAS	y₂ :SSM	y₄ :PERF	y₃ :SP	y₅ :ENJ
x₁ :NM	0						
x₂ :S3D	-0.008	0					
y₁ :TAS	0.001	-0.004	0.001				
y₂ :SSM	0	-0.002	0	0			
y₄ :PERF	-0.001	0.002	-0.017	0	0		
y₃ :SP	0	-0.002	0.083	0	-0.034	0	
y₅ :ENJ	0	-0.002	0	0.423	0.2	0.349	0

Das Pfadmodell zeigte insgesamt einen nicht akzeptablen Fit ($\chi^2 = 41.739$, $df = 14$, $p = 0.000$, $\chi^2/df > 2.5$, $RMSEA = 0.13$), sodass Modifikationen vorgenommen werden sollten. Zur Beurteilung der Fehlspezifikationen im Modell werden die (standardisierten) Residuen sowie Critical Ratios der Regressionsgewichte im Modell betrachtet. Dabei fallen vor allem hohe residuale Kovarianzen für Unterhaltung mit Performance (0.2), Spatial Presence (0.35) und SSM (0.42) auf, die im Modell nicht modelliert wurden (siehe Tabelle 22). Ergebnisse zu Pfadmodellen für Natural Mapping konnten in einigen Fällen Effekte von Spatial Presence auf Enjoyment zeigen (Downs, E. P. & Oliver, 2009), weshalb der Pfad zusätzlich in das Modell integriert wurde. Weiterhin wurde ein Pfad von Performance zu Unterhaltung ergänzt, da dieser Zusammenhang möglicherweise ebenfalls direkt wirkt und nicht nur über die Aufgabenrelevanz modellierbar ist. Auf Basis dieser Modellmodifikation wurden die Pfadkoeffizienten mittels multipler Regression für die veränderten endogenen Variablen erneut berechnet (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24. *Experiment 1: Ergebnisse der multiplen Regressionen für die Strukturgleichung y_5 nach Modellerweiterung*

	$B = \beta$	$SE\ B$	95 % K.I.	R^2
$y_5 : ENJ$				0.27
$Y_1 : TAS$	0.153	0.09	-0.26; 0.333	
$Y_3 : SP$	0.353***	0.08	0.188; 0.510	
$Y_4 : PERF$	0.183*	0.08	0.023; 0.344	
$x_1 : NM$	0.152	0.09	-0.31; 0.335	
$x_2 : S3D$	-0.012	0.08	-0.170; 0.147	

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$; K.I. = Konfidenzintervall

Der neue Koeffizient für den Fehlerterm beträgt $P_{y_5, e_5} = \sqrt{1 - R^2_{y_5}} = 0,85$. Die neuen Pfade für Spatial Presence und Performance auf Unterhaltung erwiesen sich als signifikante zusätzliche Modellpfade. Das modifizierte Modell (Abbildung 76) erreicht eine akzeptable Modellgüte ($\chi^2 = 17.190$, $df = 12$, $p = .143$, $\chi^2/df = 1.43$, $RMSEA = 0.059$).¹⁵

¹⁵ Die vollständigen Ausgabedaten von AMOS finden sich im digitalen Anhang A.4

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Abbildung 76. Experiment 1: Pfaddiagramm mit Pfadkoeffizienten

Eine weitere Modellreduktion kann durch die Ausblendung zu kleiner ($r < 0,1$) und/oder nicht signifikanter Pfade erfolgen. Dies würde zwar das Modell potenziell weiter verbessern, widerspricht aber dem konfirmatorischen Einsatz der Pfadanalyse. Durch die bereits erfolgte Erweiterung des Modells wurde die Pfadanalyse bereits als exploratives Datenanalyseinstrument eingesetzt. Der Autor verzichtet daher auf eine stärkere Modifikation des Modells. Die Prüfung des erweiterten Modells kann erst mit einer weiteren Stichprobe in Experiment 2 erfolgen. Zur besseren Anschaulichkeit wird das Modell in Abbildung 77 noch einmal in reduzierter Form dargestellt.

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Abbildung 77. Experiment 1: vereinfachtes Pfadmodell

Für y_1 werden zwei direkte Pfade der exogenen Variablen auf Task Adequacy betrachtet. Es ist ein direkter Effekt von NM auf TAS sichtbar ($r_{NM \rightarrow TAS} = 0.48$), aber kein Effekt für Stereoskopie. Dies bestätigt die Ergebnisse aus den Kovarianzanalysen. Insgesamt nahmen H_{1A} und H_{1B} an, dass weder NM noch S3D einen Einfluss auf die wahrgenommene Relevanz des Spatial Mapping für die Aufgabe haben. Offensichtlich ist dies für die eingesetzte Task-Adequacy-Skala dennoch der Fall.

Die Pfadkoeffizienten für y_2 zeigen ein ähnliches Muster wie bei der Prüfung der Effekte auf SSM mittels ANOVA, bei der sich NM als signifikante Einflussvariable erwies. Insgesamt fällt

der Determinationskoeffizient des Regressionsmodells allerdings recht klein aus ($r = .09$). Diese Ergebnisse sprechen für die Annahme der beiden Hypothesen H_{5Ad} und H_{5Bd} . H_{5Ai} und H_{5Bi} gingen ebenfalls davon aus, dass auch keine indirekten Effekte über Task Adequacy existieren. Der indirekte Effekt von NM auf SSM über TAS ergibt sich aus der Multiplikation der beiden Koeffizienten $p_{y1, x1}$ und $p_{y2, y1}$ ($r_{NM \rightarrow TAS \rightarrow SSM} = 0.06$). Der Effekt fällt für eine sinnvolle Interpretation zu gering aus und kann daher vernachlässigt werden. Der indirekte Effekt von S3D auf SSM über TAS ist mit $r_{S3D \rightarrow TAS \rightarrow SSM} = -0.02$ ebenfalls für die Analyse irrelevant. Die Hypothesen H_{5Ai} und H_{5Bi} werden dadurch bekräftigt.

Bei Betrachtung der Pfadkoeffizienten für y_3 zeigen sich signifikante Einflüsse des SSM ($r_{SSM \rightarrow SP} = 0.36$) und NM ($r_{NM \rightarrow SP} = 0.20$) auf Spatial Presence. Für S3D ist der Pfadkoeffizient nicht signifikant. Bei der Betrachtung der direkten Pfade mittels ANOVA zeigte sich ebenfalls ein positiver Effekt von NM auf Spatial Presence. Dies entspricht auch der Annahme von H_{3Ad} , bei der von einem direkten Einfluss von NM auf Spatial Presence ausgegangen wurde. Indirekte Effekte von NM und S3D über Task Adequacy und SSM wurden nicht angenommen (H_{3Ai} , H_{3Bi}) und konnten im Modell auch nicht gefunden werden.

Der signifikante Pfad von SSM zur Spatial Presence ($r_{SSM \rightarrow SP} = 0.36$) ist ein Beleg für die Struktur des MEC-Models und bestätigt H_6 . Zumindest kann davon ausgegangen werden, dass mithilfe des MEC-SPQ das SSM als wichtigster Prädiktor für Spatial-Presence-Episoden erfasst werden kann.

In der Regression zu y_4 ergibt sich ein ähnliches Muster wie bei y_3 . Sowohl SSM ($r_{SSM \rightarrow PERF} = 0.33$) und NM ($r_{NM \rightarrow PERF} = -0.32$) besitzen einen signifikanten direkten Einfluss auf Performance, S3D hat keinen Effekt. Bei der direkten Analyse mittels ANCOVA zeigte sich ebenfalls ein negativer Effekt von NM auf die Performance. Die Betrachtung der indirekten Effekte von NM und S3D über Task Adequacy und SSM zeigte keine signifikanten Ergebnisse. Dies bekräftigt die Annahme der Hypothesen H_{4Ai} und H_{4Bi} .

Ein anderes Ergebnis als bei der Prüfung mittels ANCOVA wurde bei der Regressionsgleichung zu y_5 gefunden. Während bei der ANCOVA ein signifikanter Einfluss von NM auf Unterhaltung identifiziert wurde, ist dieser im Regressionsmodell nicht signifikant. Dafür zeigten sich die Pfade von Performance ($r_{PERF \rightarrow ENJ} = 0.18$) und Spatial Presence ($r_{SP \rightarrow ENJ} = 0.35$) als relevante

Prädiktoren für die Unterhaltung. H_{2Ai} und H_{2Bi} gingen davon aus, dass keine indirekten Effekte von NM und S3D über TAS auf Enjoyment vorliegen sollten. Diese waren im Experiment auch nicht zu finden.

7.4 Diskussion

In der Ergebnisdiskussion werden zunächst die Hypothesen zu den direkten und indirekten Pfaden des Modells zusammengefasst sowie Effekte auf Performance und User Experience der Nutzer diskutiert. Weiterhin wird die Gültigkeit des Modells bewertet. Anschließend wird in der Kritik auf die Sensitivität des Experiments und die Effektstärken eingegangen, die im gegebenen Setup auffindbar waren.

7.4.1 Zusammenfassung zu direkten und indirekten Pfaden

Die mittels Äquivalenztest geprüften Nullhypothesen konnten mit der verarbeiteten Fallzahl nicht definitiv belegt werden. Für Stereoskopie zeigten sich erwartungsgemäß weder in den Kovarianzanalysen noch in der Pfadanalyse Effekte auf die betrachteten Variablen. Mittels Äquivalenztest konnte allerdings nicht ausgeschlossen bestätigt werden, dass eventuell kleinere Effekte existieren.

Für Natural Mapping wurden unerwartete Ergebnisse gefunden: Während davon ausgegangen wurde, dass NM die Performance verbessern sollte, zeigte sich ein negativer Einfluss auf die Spielleistung. Weiterhin wurde erwartet, dass NM keinen Einfluss auf die Qualität des SSM haben sollte, allerdings wurde ein positiver Effekt mittels ANOVA gefunden, der jedoch im Pfadmodell nicht vorhanden ist, obwohl eine Tendenz zur Signifikanz vorlag. Die positiven Einflüsse von NM auf Unterhaltung und Spatial Presence zeigten sich sowohl in der ANCOVA als auch in der Pfadanalyse.

Abbildung 78 fasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfung der direkten Pfade im Modell grafisch zusammen.

Abbildung 78. Experiment 1: Ergebnisse der Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell

Mittels Pfadmodellierung konnten indirekte Effekte betrachtet werden. Bei der Modellprüfung wurden zwei zusätzliche, indirekte Pfade hinzugefügt. So enthält das Modell nun einen Pfad von Performance zu Unterhaltung ($r_{\text{PERF} \rightarrow \text{ENJ}} = 0.18$) sowie einen weiteren Pfad von Spatial Presence zu Unterhaltung ($r_{\text{SP} \rightarrow \text{ENJ}} = 0.35$). Zu beiden Pfaden existierte jedoch keine Hypothese. Insgesamt zeigten sich erwartungskonform keine signifikanten indirekten Effekte für Natural Mapping oder die stereoskopische Darstellung. Dies kann allerdings nicht als Beleg dafür herangezogen werden, dass keine Effekte existieren, da an dieser Stelle auch keine Äquivalenztests berechnet wurden. Formal müssen die Hypothesen daher abgelehnt werden.

Das Pfadmodell bestätigte die Annahme aus dem MEC-Modell, bei der das SSM als wichtigster Prädiktor für Spatial Presence gilt. Abbildung 79 fasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfung der indirekten Pfade im Modell grafisch zusammen.

Abbildung 79. Experiment 1: Ergebnisse der Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell

H_{1A} und H_{1B} nahmen an, dass weder NM noch S3D einen Einfluss auf die wahrgenommene Relevanz des Spatial Mapping für die Aufgabe haben. Sowohl bei den Kovarianzanalysen als auch bei der Pfadanalyse ist ein direkter Effekt von NM auf TAS sichtbar, aber kein Effekt für Stereoskopie. Die Nutzer empfanden demzufolge die Verwendung der natürlichen Eingabegeräte als relevanter für den Interaktionsgegenstand als das Gamepad. Da mittels Äquivalenztest nicht verlässlich bestätigt werden konnte, dass keine Effekte für Stereoskopie vorliegen, muss die Hypothese H_{1B} formal abgelehnt werden.

7.4.2 Effekte auf User Experience

Effekte auf die User Experience umfassen die im Experiment betrachteten Variablen Spatial Presence und Unterhaltung der Nutzer. Hohes Natural Mapping resultierte in einer deutlichen Erhöhung von Spatial Presence und Unterhaltung, während keine direkten oder indirekten Effekte von stereoskopischer Darstellung gefunden werden konnten.

Entsprechend des Models von Wirth und Kollegen (2007) ist die Qualität des Spatial Situation Models eine primäre Voraussetzung für Spatial Presence. Diese Annahme konnte durch Pfadmodellierung bestätigt werden ($r_{SSM \rightarrow SP} = 0.36$).¹⁶ Weitere Einflussfaktoren sind nutzerseitige Involvierung/Immersion, Suspension of Disbelief und Faktoren, die die Prüfung von Wahrnehmungshypothesen beeinflussen. Im Experiment konnte mittels Kovarianzanalyse ein signifikanter Einfluss von NM auf die Qualität des SSM gefunden werden: Nutzer mit Lenkrad-Steuerung bildeten ein besseres SSM ($M = 0.69$; $SD = 0.14$) als Nutzer mit Gamepad ($M = 0.59$; $SD = 0.20$). Als Kovariaten wurde das räumliche Vorstellungsvermögen, domänenspezifisches Interesse und reale Fahrpraxis identifiziert. Der Effekt ist zunächst unerwartet, lässt sich aber mit den Einflussfaktoren des SSMs erklären. Der Autor ging davon aus, dass im Experiment primär visuelle und auditive spatiale Informationen für die Bildung eines konsistenten und umfangreichen SSM verantwortlich sind. Diese Informationen liegen in niedriger und hoher Natural Mapping Bedingung gleichermaßen vor. Jedoch unterschieden sich die verfügbaren haptischen Informationen deutlich voneinander. Während bei Gamepad-Einsatz arbiträre Buttons und Richtungskreuze die virtuelle Umgebung primär mit den Fingern erfahrbar machen, fordert der Lenkrad-Einsatz den kompletten Körper: Beide Arme werden zum Lenken benötigt, die Füße sind für Beschleunigung und Bremsen verantwortlich. Haptisches Feedback durch den Lenkrad-Controller ermöglicht es, genau einzuschätzen, wie weit das Lenkrad eingeschlagen ist, und wie stark Gas und Bremse dosiert wurden. Zudem ist die Intensität der Reize bei hohem NM größer, z.B. der Verlust der Lenkradkontrolle, wenn ein Nutzer einen Fahrfehler begeht und stark abbremsten muss oder durch Gegenstände gestoppt wird. Die virtuelle Umgebung wird dadurch wahrscheinlich intensiver erlebt und daher besser memoriert, was zu einem besseren SSM führt. Dies stellt einen direkten Bezug zum Embodiment-Ansatz dar. Ein indirekter Effekt von Natural Mapping über Task Adequacy (Hypothese H_{5Ai}) wurde nicht gefunden. Der Gesamteffekt für Natural Mapping kann entsprechend der Spezifikationen von Cohen, J. (1988) allerdings als mittlerer Effekt ($r = .26$) verstanden werden. Das sowohl H_{5Ad} und H_{5Ai} davon ausgingen, dass keine Effekte existieren, werden sie abgelehnt.

¹⁶ Parallel zum Pfadmodell wurde der vermutete Zusammenhang auch über eine lineare Regression mit den Rohdaten bestätigt, $F(1, 123) = 25.47$, $p < .001$; $b = .41$; $t = 5.05$, $df = 123$, $p < .001$; korrigiertes $R^2 = 0.17$).

Die zusätzlichen binokularen Informationen durch stereoskopische Darstellung führten erwartungsgemäß nicht zu einer Verbesserung der Qualität des SSM. Nach Einsatz eines Äquivalenztests kann aber ein kleiner Effekt nicht ausgeschlossen werden, der unter der Sensitivitätsschwelle für Experiment 1 liegt. Die praktische Relevanz dieser minimalen Effektgrößen wird in der Kritik zur Studie diskutiert. Hypothese H_{5Bd} wird daher formal abgelehnt. Dasselbe gilt auch für den indirekten Effekt auf das SSM. Er erscheint praktisch bedeutungslos, konnte aber mittels statistischer Verfahren nicht eindeutig widerlegt werden. Hypothese H_{5Bi} wird daher ebenfalls formal abgelehnt.

Im Experiment wurde ein signifikanter direkter Effekt von NM auf Spatial Presence identifiziert. Keine der betrachteten Kovariaten hatte einen Einfluss auf diesen Effekt. Der Einfluss von NM auf Spatial Presence lässt sich auf Basis des MEC-Modells mit einem höheren Involvement und einer niedrigeren Schwelle für Suspension of Disbelief erklären. Weiterhin berichteten die Nutzer mit Lenkrad-Steuerung eine höhere auf die Interaktion gerichtete Aufmerksamkeit (Attention Allocation; $F(1, 121) = 3.06, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = 0.03$) als Nutzer mit Gamepad. Ein indirekter Effekt konnte im Pfadmodell nicht gefunden werden.

Die Experimentalanordnung für hohes Natural Mapping war so aufgebaut, dass Nutzer mithilfe eines Gestells das Lenkrad und die Pedale ähnlich wie in einem Fahrzeugcockpit nutzen konnten. Der Bildschirm zeigte die Sicht von der Stoßstange, jedoch ohne das Cockpit selbst noch einmal einzublenden – dies befand sich in Form des Eingabegeräts vor dem Nutzer. Der Ort der Handlung (Point of Action) lag damit nicht auf der Bildschirmenebene, sondern direkt vor dem Nutzer. Dies entspricht der Umsetzung des Settings mit einem hohen Grad an Spatial Mapping. Es ließe sich spekulieren, dass die Anordnung der Steuerung von Nutzern als physisches Cockpit wahrgenommen wurde, und damit die Integration der virtuellen Fahrerperspektive für die Nutzer einfacher war. Im Resultat fiel es Nutzern idealerweise einfacher, die realen und virtuellen Wahrnehmungsräume zu kombinieren und haben aus diesem Grund einen hohen Wert von Spatial Presence im Experiment erreicht. Nutzer mit Gamepad hatten zwar dieselbe Darstellung auf dem Bildschirm, jedoch hatten sie kein physisches Cockpit vor sich und demzufolge ein geringeres Spatial Mapping. Die Einbezogenheit war daher schwä-

cher und resultierte möglicherweise in einer niedrigeren Spatial Presence Bewertung. Die Hypothesen H_{3Ad} wird daher angenommen. Ein indirekter Effekt konnte nicht nachgewiesen werden, H_{3Ai} muss daher abgelehnt werden.

Stereoskopie hatte weder einen direkten noch indirekten Einfluss auf Spatial Presence. Da auch kein Effekt auf das SSM auffindbar ist, wäre ein direkter Effekt auf Spatial Presence sogar problematisch im Sinne des MEC-Modells. Die zusätzlichen binokularen Informationen haben keinen messbaren Einfluss. Der Äquivalenztest kann einen geringen Effekt ($r < 0.24$) nicht mit Sicherheit ausschließen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass dieser Effekt so gering ausfallen müsste, dass er praktisch keine Bedeutung haben würde. Hypothesen H_{3Bd} und H_{3Bi} müssen dennoch formal abgelehnt werden.

Für die Unterhaltung der Teilnehmer spielte Stereoskopie ebenfalls keine Rolle. Mittels Äquivalenztest konnte auch hier nicht ausgeschlossen werden, dass ein kleiner direkter Effekt auf Unterhaltung existiert. H_{2Bd} muss daher formal abgelehnt werden. Der indirekte Effekt fällt zwar vernachlässigbar gering aus, konnte aber auch nicht eindeutig als nicht vorhanden belegt werden. Hypothese H_{2Bi} wird daher ebenfalls abgelehnt.

Natural Mapping hatte den erwarteten direkten Effekt auf die Unterhaltung. Spieler mit Lenk-
rad bewerten das Spiel als unterhaltsamer ($M = 0.62$; $SD = 0.26$) im Vergleich zu Nutzern mit
Gamepad ($M = 0.62$; $SD = 0.26$). Dies entspricht den Ergebnissen diverser anderer Studien
(McGloin & Krcmar, 2011; Pietschmann et al., 2012; Shafer et al., 2011).

Das domänenspezifische Wissen ist dabei ein signifikanter Prädiktor für Unterhaltung durch
Natural Mapping. Wie bei vergleichbaren Studien (z.B. McMahan et al., 2010), könnten vor
allem der Neuigkeitswert der Interaktion und ein erhöhtes Selbstwirksamkeitserleben für die
Steigerung der Unterhaltung verantwortlich sein (siehe 5.3).

Hypothese H_{2Ad} wird daher angenommen. In der Pfadanalyse wurde eine Reihe von indirekten
Effekten untersucht. So stellen beispielsweise Performance und Spatial Presence signifikante
Prädiktoren für Unterhaltung dar. Dadurch setzt sich der indirekte Effekt auf Unterhaltung
additiv aus sechs verschiedenen Pfaden im Modell zusammen ($r_{NM \rightarrow \dots \rightarrow ENJ} = 0.06$), die jedoch
vernachlässigbar gering ausfallen. Dennoch ist nicht ein Effekt statistisch nicht auszuschlie-
ßen, sodass H_{2Ai} formal abgelehnt werden muss.

7.4.3 Effekte auf Task Performance

Entgegen vorheriger Annahme (H_{4Ad}) zeigte sich im Experiment ein negativer Effekt von Natural Mapping auf Performance. Ein ähnliches Ergebnis fanden auch Schmierbach et al. (2012), nur dass der Effekt sich in deren Studie als höhere wahrgenommene Schwierigkeit manifestierte. Bei Downs, E. P. und Oliver (2009) hingegen zeigte sich eine positive Leistungsverbesserung durch die Benutzung von NM-Controllern.

In Experiment 1 beeinflusste das Geschlecht der Probanden die Spielleistung als Kovariate am stärksten, was vermutlich mit latenten Erfahrungsunterschieden zusammenhängt. Lässt man das Geschlecht im Modell außen vor, zeigen sich erwartungsgemäß domänenspezifisches Wissen und Computerspielerfahrung als Kovariaten.

Der Einsatz von NM sollte Nutzern mit Fahrerfahrung ermöglichen, schneller und einfacher vorhandene mentale Modelle abzurufen und daher im Spiel eine bessere Leistung zu zeigen. Zudem lässt sich das Fahrzeug damit besser kontrollieren. Der negative Effekt ist jedoch nicht zu beobachten, wenn nur die Probanden mit ausreichender Fahrpraxis für die Analyse herangezogen werden (Besitz eines Führerscheins, Besitz eines eigenen Fahrzeugs; $n = 49$; das entspricht 39 % der Teilnehmer). Die Stichprobe enthielt daher möglicherweise zu wenige fahrerprobte Probanden, sodass nur wenige Teilnehmer tatsächlich über die mentalen Modelle für die Tätigkeit verfügten und diese in der Spielsituation abrufen konnten. Für die Untergruppe der Probanden mit hoher Fahrpraxis wurde zumindest gezeigt, dass die Übertragung der Fahrerfahrung auf den Spielkontext keine negativen Effekte mit sich bringt, auch wenn kein Effekt für eine Verbesserung gefunden wurde. Es ist sogar durchaus möglich, dass es einen – wenn auch sehr kleinen – positiven Effekt gibt, der im Umfang der Stichprobe nicht auffindbar war. Bei Betrachtung der Gesamtkohorte muss H_{4Ad} jedoch abgelehnt werden.

Andere, alternative Erklärungsansätze kommen hingegen auch in Frage:

Das Steuern mit Lenkrad ist komplexer und erfordert mehr sensomotorische Koordination der Nutzer als das Steuern mit Gamepad, was sich in der geringeren durchschnittlichen Leistung niederschlägt. Diese Annahme wird von anderen Studien gestützt, die die Konvention Lenkräder für die Fahrzeugsteuerung einzusetzen generell anzweifeln, da andere Controller einfa-

cher zu handhaben sind (z.B. McMahan et al., 2010). Die Hälfte der Teilnehmer gab an, vertraut mit Gamecontrollern zu sein ($M = 50\%$), sodass es Ihnen möglicherweise leichter fiel, ihre Erfahrung mit diesen Controllern auszuspielen.

Insgesamt wurde das Natural Mapping in der Bedingung mit Lenkrad als sehr hoch bewertet ($M = 0.66$; $SD = 0.15$). Möglicherweise zeigten Probanden aufgrund der hohen Ähnlichkeit zum realen Fahren Verhaltensmuster aus dem Alltag wie vorsichtiges Anfahren und Abbremsen in den Kurven. Aufgrund des authentischen Fahrerlebnisses riskierten sie weniger und erreichten keine besseren Leistungen als Gamepad-Nutzer. Schließlich hatte fast keiner der Teilnehmer tatsächliche Rennerfahrung (2 %) bzw. nur wenige Erfahrung mit Lenkrad-Controllern in Computerspielen (12 %).

Eine weitere Erklärung basiert auf einer eventuell ungenügenden Qualität des Natural Mapping. Erwartungen an das Fahrverhalten basieren auf Annahmen aus der Realität und werden entsprechend abgerufen und eingesetzt. Setzt das System diese Erwartungen jedoch nicht korrekt um (z.B. aufgrund von Einschränkungen bei physikalischen Berechnungen oder fehlenden Feedback-Kanälen wie die Zentripetalkraft), kommt es möglicherweise zu Fehleinschätzungen und Fahrfehlern, die in schlechterer Leistung resultieren.

Die Pfadanalyse brachte nur einen sehr geringen indirekten Effekt von NM auf die Performance zu Tage ($r_{NM \rightarrow \dots \rightarrow PERF} = 0.09$). Dieser fällt zwar positiv aus, ist aber zu gering für eine weiterführende Interpretation. Insgesamt kann nicht belegt werden, dass kein der Effekt unbedeutend ist, sodass H_{4Ai} abgelehnt wird.

Ein genereller Einfluss von Einstellungen zu riskantem Fahrverhalten auf die Leistung konnte nicht gefunden werden.

Im Experiment konnte auch kein Einfluss von stereoskopischer Darstellung auf die Performance gefunden werden – Äquivalenztests können einen möglichen kleinen Effekt jedoch nicht vollständig ausschließen. Die Vermutung liegt nahe, dass die zusätzlichen visuellen Hinweise für die Spielaufgabe nicht entscheidungsrelevant sind und monoskopische Hinweise ausreichen. Hypothese H_{4Bd} muss dennoch formal abgelehnt werden. Auch in der Pfadanalyse konnten keine signifikanten direkten oder indirekten Effekte von Stereoskopie für Performance gefunden werden. H_{4Bi} wird daher ebenfalls abgelehnt.

Dies wird ergänzt durch die Ergebnisse zur Task Adequacy. Während NM erwartungsgemäß als angemessener für die Rennspielaufgabe bewertet wird, konnte kein Einfluss der Angemessenheitsbewertung durch stereoskopische Darstellung gefunden werden. Hypothese H_{1B} ging davon aus, dass Stereoskopie Task Adequacy nicht beeinflusst. Ein Äquivalenztest konnte einen mittleren, jedoch keinen kleinen Effekt ausschließen. Die Hypothese muss daher formal abgelehnt werden, auch wenn kein Effekt im Experiment gefunden wurde.

Im Experiment wurde entgegen der Annahme von H_{1A} ein direkter Effekt von NM auf Task Adequacy gefunden ($\eta^2_{\text{part}} = 0.06$). Im Pfadmodell konnte der Effekt ebenfalls reproduziert werden ($R^2_{\text{NM} \rightarrow \text{TAS}} = 0.48$). Ein Effekt von Stereoskopie auf die Task Adequacy zeigte sich in keiner der Analysen, jedoch konnten erneut Äquivalenztests einen kleinen Effekt nicht gänzlich ausschließen, H_{1B} wird daher formal abgelehnt.

Auch wenn die meisten Hypothesen für Experiment 1 aus formalen Gründen abgelehnt werden mussten, konnten viele Erkenntnisse zur Wirkung von Natural Mapping und Stereoskopie im Kontext von Spatial Mapping mit niedriger Task Adequacy gewonnen werden.

Zur besseren Übersicht werden die Ergebnisse der Hypothesenprüfung in Tabelle 25 zusammengefasst.

Tabelle 25. *Experiment 1: Ergebnis der Hypothesenprüfung*

	Hypothese	Urteil
H _{1A}	Natural Mapping ist nicht relevant für die Aufgabe der Nutzer.	Abgelehnt
H _{1B}	Stereoskopie ist nicht relevant für die Aufgabe der Nutzer.	Abgelehnt
H _{2Ad}	Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf Unterhaltung.	Angenommen
H _{2Ai}	Natural Mapping hat keinen indirekten Effekt auf Unterhaltung.	Abgelehnt
H _{2Bd}	Stereoskopie hat keinen direkten Effekt auf Unterhaltung.	Abgelehnt
H _{2Bi}	Stereoskopie hat keinen indirekten Effekt auf Unterhaltung.	Abgelehnt
H _{3Ad}	Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.	Angenommen
H _{3Ai}	Natural Mapping hat keinen indirekten Effekt auf Spatial Presence.	Abgelehnt
H _{3Bd}	Stereoskopie hat keinen direkten Effekt auf Spatial Presence.	Abgelehnt
H _{3Bi}	Stereoskopie hat keinen indirekten Effekt auf Spatial Presence.	Abgelehnt
H _{4Ad}	Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{4Ai}	Natural Mapping hat keinen indirekten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{4Bd}	Stereoskopie hat keinen direkten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{4Bi}	Stereoskopie hat keinen indirekten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{5Ad}	Natural Mapping hat einen direkten positiven Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H _{5Ai}	Natural Mapping hat keinen indirekten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H _{5Bd}	Stereoskopie hat keinen direkten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H _{5Bi}	Stereoskopie hat keinen indirekten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H ₆	Die Qualität des Spatial Situation Models hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.	Angenommen

7.4.4 Gültigkeit des Pfadmodells

Das theoretische Pfadmodell wurde in Experiment 1 empirisch geprüft. Dazu wurde ein konstanter Task mit Fahrzeugsteuerung als Interaktionsgegenstand eingesetzt. Es wurde davon ausgegangen, dass ein hohes Spatial Mapping für die Interaktion nicht handlungsrelevant sei, da beim Autofahren keine dreidimensionalen räumlichen Eingabeinformationen erforderlich sind. Zudem ist das eingesetzte Stimulusmaterial – ein kommerzielles Computerspiel – so gestaltet, dass Nutzer es mit verschiedenen Eingabegeräten und Ausgabemodalitäten spielen können. Der Einsatz des Lenkrads zur Steuerung hingegen erwies sich subjektiv für die Aufgabe als angemessen und wurde entsprechend von den Nutzern auch so eingeschätzt. Das

Pfadmodell ging von einer vermittelnden Funktion der Task Adequacy für die UX-Variablen und Performance aus, das möglichst wenig direkte Effekte der UV auf die UX-Variablen enthält.

Das Pfadmodell konnte mit AMOS geprüft werden. Allerdings erforderte es zwei zusätzliche Pfade, die bisher in den theoretischen Betrachtungen ausgeklammert wurden: Je eine Verbindung von Performance und Spatial Presence zu Unterhaltung. Mit diesen beiden Pfaden weist das Modell einen guten Fit auf. Letztlich sind die indirekten Pfade aber unterbrochen, da im Experiment kein signifikanter Pfad von Task Adequacy zu SSM identifiziert wurde. Weiterhin waren auch die direkten Pfade der UV zum SSM nicht signifikant. Die Fehlervarianzen für SSM stellen den größten Anteil dar ($R^2 = 0,95$), sodass die eigentlichen relevanten Einflussvariablen für das SSM im Experiment gar nicht bewusst variiert wurden. Es wurde in den vergangenen Kapiteln bereits verdeutlicht, dass Stereoskopie theoretisch nur einen geringen Anteil am SSM haben sollte. Dies wird umso klarer, wenn Stereoskopie – wie in Experiment 1 – keinen handlungsrelevanten Part hat. Für die Gültigkeit des Pfadmodells bedeutet dies jedoch, dass die im Experiment operationalisierte Task Adequacy keinen Einfluss auf die interessierenden Variablen hat und weitere, wesentliche Variablen nicht modelliert wurden. Eine alternative Erklärung wäre, dass die Operationalisierung von Task Adequacy in Form des Fragebogens nicht hinreichend gut umgesetzt werden konnte.

Das Pfadmodell enthält insgesamt dennoch viele theoretisch erwartete Einzeleffekte. Das SSM hat einen signifikanten Einfluss auf die Leistung im Spiel und ist ein entscheidender Prädiktor für Spatial Presence, Stereoskopie hatte keinen nachweisbaren Einfluss auf die UX und Performance.

7.4.5 Kritik zur Studie: Sensitivität des Experiments und triviale Effekte

Ein wesentlicher Kritikpunkt an der Studie ist die Sensitivität, mit der kleine Effekte aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht verlässlich geprüft werden konnten.

Vor dem Experiment wurde die minimal erforderliche Probandenzahl zur Erhebung von mittleren Effekten bestimmt. Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse mit G*Power 3.1.9 kann die tatsächliche Sensitivität des Experiments bestimmt werden.

Entsprechend einer *Post-Hoc-Analyse* erreicht Experiment 1 eine Power von .90 zur Detektion der Effekte für UV-A (NUI) auf Performance, .94 bei Unterhaltung und Spatial Presence. Bei gleicher Testpower liegt der kleinste Haupteffekt, der für UV-B (S3D) aufspürbar sein sollte, bei $f = 0.29$ bzw. $\eta^2_{\text{part}} = 0.079$ (Sensitivitätsanalyse; $\alpha = .05$; Power = .90; $N = 125$; $df = 1$; Gruppenanzahl = 4). Die minimal auffindbare Effektstärke beträgt im vorliegenden Fall $r = .286$ bei gleichbleibender Test-Power. Das entspricht einem mittleren Effekt (Cohen, J., 1988), der 8 % Anteil der Gesamtvarianz erklärt. Sofern ein Effekt von Stereoskopie auf Performance, Spatial Presence, Unterhaltung oder das Spatial Situation Model existiert, müsste dieser kleiner sein und konnte daher nicht im Experiment nachgewiesen werden.

Im Äquivalenztest wurde als minimaler Effekt $r = .13$ angenommen (2 Prozent Anteil der Gesamtvarianz). Mit dem vorliegenden Sample ließen sich derart kleine Effekte leider nicht mit hinreichender Power erfassen. Abbildung 80 zeigt eine Berechnung von erforderlichen Fallzahlen um bestimmte Effektgrößen mit .90 Power zu erkennen. Es werden ca. 600 Probanden benötigt, um einen Effekt von $f = 0.13$ verlässlich bestimmen zu können.

Abbildung 80. Experiment 1: Berechnung Probandenzahl für kleine Effektstärken (G*Power 3.7.9)

Es stellt sich hier jedoch die Frage, wie groß ein Effekt sein muss, um praktisch bedeutend zu sein. Die Annahme im Äquivalenztest entspricht einem Effekt, der 2 Prozent der Varianz erklärt. Zieht man die Mittelwerte für Spatial Presence und UV-B heran (ohne Stereoskopie:

$M = 0.42$; $SD = 0.25$; mit Stereoskopie: $M = 0.40$; $SD = 0.25$), unterscheiden sich beide Mittelwerte um 0.02 Zählerpunkte. Das entspricht einem Mittelwertunterschied von ca. 2 Prozent und einer Effektgröße von $d = 0.08$ (Cohens d). Das bedeutet, dass der Wert einer durchschnittlichen Person in der Experimentalgruppe (mit Stereoskopie) 0.08 Standardabweichungen unter dem Wert der Kontrollgruppe (ohne Stereoskopie) liegt. Mithilfe von Formel (12) lässt sich die Effektgröße d als Korrelationskoeffizient r ausdrücken.

$$r = \sqrt{\frac{d}{4 + d^2}} \quad (12)$$

Der Unterschied zwischen stereoskopischer und non-stereoskopischer Darstellung auf Spatial Presence in Experiment 1 entspricht $r = .14$, also in etwa dem für den Äquivalenztest angegebenen minimalen Effekt. Hierbei sind Fehler und andere Einflüsse jedoch unberücksichtigt. Der Effekt kann daher durchaus als praktisch trivial interpretiert werden, auch wenn der Äquivalenztest für Stereoskopie auf Spatial Presence dies beispielsweise nur mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $p = .33$ anstatt $p = .05$ bestätigen kann.

Ein weiterer Kritikpunkt an der Studie sind die subjektiven Fragebögen, die als Instrumente eingesetzt wurden. Wie bereits ausführlich in Kapitel 4 diskutiert, erfasst der MEC-SPQ Konstrukte wie das Spatial Situation Model und räumliches Vorstellungsvermögen vom Probanden, anstatt objektivere Verhaltens- bzw. Leistungsmaße heranzuziehen. Das hat die üblichen Probleme subjektiver Methoden zur Folge.

7.5 Zusammenfassung: Spatial Mapping bei niedriger Task Adequacy

Experiment 1 hatte zum Ziel, den Einfluss der Natürlichkeit der Eingabegeräte sowie der stereoskopischen Darstellung auf Leistung und User Experience zu betrachten. Dazu wurde eine kommerzielle Rennspielsimulation eingesetzt, bei der Spatial Mapping nur eine geringe Relevanz für Spielaufgabe aufweist. Das Computerspiel ist als kommerzielles Produkt für eine Vielzahl von Einsatzsituationen und Anzeigegegeräten ausgerichtet. Es wurde so gestaltet, dass stereoskopische Informationen und authentische Eingabegeräte das Spiel zwar theoretisch bereichern sollten, aber deren Abwesenheit kein Hindernis für ein erfolgreiches und unterhalt-

sames Spiel darstellt. Dies zeigte sich auch im Experiment: Es konnten keine Effekte stereoskopischer Darstellung auf Spielleistung, Unterhaltung, Spatial Situation Models, Spatial Presence oder die Bewertung der Angemessenheit des Spatial Mapping für die Aufgabe gefunden werden. Für die Aufgabe im Rennspiel waren die zusätzlichen binokularen Informationen nicht entscheidungsrelevant. Äquivalenztests ermöglichen die statistische Prüfung der Annahme, dass keine Effekte auftreten. Aufgrund eingeschränkter Fallzahlen konnten nur mittlere Effekte mit Sicherheit ausgeschlossen werden, kleine Effekte sind nur mit erheblich größeren Fallzahlen (ca. $N = 600$) überprüfbar. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass kleinere Effekte für die Praxis trivial sind.

Die Benutzung authentischer Eingabegeräte hatte einen großen Einfluss in Experiment 1: Hohes Natural Mapping hatte einen förderlichen Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models, Spatial Presence und Unterhaltung. Die Wahrnehmung der Aufgabenangemessenheit war deutlich höher bei Spielern mit Lenkrad. Das zeigte sich jedoch nicht in der Leistung, die mit Lenkrad-Controller schlechter ausfiel. Mögliche Erklärungen sind zum einen der gesteigerte Schwierigkeitsgrad durch die sensomotorische Koordination, die eine Lenkrad- und Pedalsteuerung erfordert. Zum anderen führt der Einsatz von authentischen Eingabegeräten jedoch auch zu Erwartungen der Nutzer an das System, die möglicherweise nicht erfüllt werden konnten, sodass es zu Fehleinschätzungen und Fahrfehlern gekommen ist. Es kann aufgrund des hohen Natural Mapping aber auch dazu geführt haben, dass Nutzer einen Transfer eigenen Fahrverhaltens aus dem Alltag in das Spielszenario vollzogen. Da die Nutzer keine Rennfahrer sind, erwies sich der Transfer für sie als nachteilhaft. Diese widersprüchlichen Erklärungsansätze zum Einfluss von authentischen Eingabegeräten und Transferleistungen zur Leistung sollten in Folgestudien detailliert aufgeschlüsselt und geprüft werden.

Mithilfe einer Pfadanalyse wurde das hypothetische Modell experimentell geprüft. Dabei wurden alle direkten und indirekten Pfade für die Modell- und Hypothesenprüfung in AMOS modelliert. Das Modell musste zunächst um zwei Pfade erweitert werden, um einen guten Fit zu erreichen. Mit der Betrachtung des Einflusses der Spielleistung und Spatial Presence auf die Unterhaltung stellt das Modell die Grundlage für Experiment 2 dar. Die Prüfung indirekter Effekten konnte mit dem Modell erfolgreich umgesetzt werden. Im Ergebnis zeigten sich allerdings nur einige vernachlässigbare, sehr geringe indirekte Effekte.

Experiment 1 leistet damit einen Beitrag zum hypothetischen Spatial-Mapping-Modell, indem es Daten für ein Szenario mit niedriger Relevanz von Spatial Mapping liefert, bei dem Natural Mapping im Vordergrund stand und Stereoskopie keinen empirischen Einfluss hatte.

8 Experiment 2: Spatial Mapping bei hoher Task Adequacy

Als Ergänzung zum ersten Experiment wurde in Experiment 2 gezielt eine Aufgabe gewählt, für die Spatial Mapping eine hohe Relevanz für den Nutzer haben sollte. Zur Manipulation der Spatial Cues werden erneut binokulare Spatial Cues (Stereoskopie) variiert, sowie die Kameraperspektive des Nutzers manipuliert. Natural Mapping wird in Experiment 2 konstant hoch gehalten. Als Grundlage diente das durch Experiment 1 erweiterte Pfadmodell (siehe Abbildung 81).

Abbildung 81. Hypothetisches Pfadmodell: Beitrag Experiment 2

Entsprechend der Annahmen im hypothetischen Spatial Mapping Modell stellt ein hohes Maß an Spatial Mapping eine isomorphe Zuordnung der räumlichen Eingabe- und Ausgabeinformationen dar (siehe Kapitel 6). Dieses Mapping wird für Nutzer nur relevant, wenn daraus Vorteile (z.B. für die Lösung der Aufgabe, Unterhaltung oder Spatial Presence) resultieren. Im Gegensatz zu kommerziellen Computerspielen ist der primäre Einsatzzweck immersiver Virtual-Reality-Systeme und -Anwendungen die Simulation von realen Sachverhalten (Cohen, A. R. et al., 2013; Cruz-Neira et al., 1993; Utsugi, Moriya & Takeda, 2001) bzw. Visualisierung von

komplexen Daten (Simpson, LaViola, Laidlaw, Forsberg & van Dam, 2000). Unterhaltungsspiele sind meist nicht relevant. Demzufolge ist VR-Hardware oftmals spezifisch für einen Anwendungszweck konfiguriert (Giraldi, Silva & Oliveira, 2003; Steuer, 1992).

Um die Vergleichbarkeit zu Experiment 1 zu gewährleisten, wurde als Aufgabe ein Tischtennis-Spiel gewählt, das als physikalisch korrekte Simulation umgesetzt wurde. Beide Experimente setzen daher auf (im Rahmen der technischen Möglichkeiten) maximal authentisch simulierte Tätigkeiten, die in ein Spielkonzept eingebunden wurden und bei denen ein sportlicher Wettbewerb im Vordergrund steht.

Im Experiment wurde eine immersive Virtual-Reality-Umgebung eingesetzt, bei der in einem 2×2 Between-Subjects-Design zwei Dimensionen der visuellen Wahrnehmungskomponente von Spatial Mapping systematisch variiert wurden:

UV-A: Kameraperspektive (statisch/dynamisch)

UV-B: Präsentationsmodus (non-/stereoskopische Präsentation)

Die Perspektive des Nutzers ist dynamisch, wenn mittels Headtracking eine Echtzeitaktualisierung und Anpassung des Blickwinkels erfolgt. Damit steht mit der Bewegungsparallaxe ein weiterer zusätzlicher visueller Hinweisreiz für Tiefeninformationen zur Verfügung (siehe 3.2.2). Die Perspektive ist somit ein förderlicher Faktor für Spatial Mapping, insbesondere im Zusammenspiel mit stereoskopischer Darstellung. Im Experiment 2 wird die Eingabemethode konstant gehalten: Es kommen nur natürliche Eingabegeräte zum Einsatz, auf einen Vergleich mit abstrakten Eingabemethoden wurde verzichtet. Experiment 1 zeigte bereits einen signifikanten Einfluss von Natural Mapping auf User Experience, Leistung und der Bewertung für die Angemessenheit des Spatial Mapping (Task Adequacy). Der Interaktionsgegenstand erfordert eine dreidimensionale Interaktion mit dem System, sodass die Spieler die Rauminformationen auswerten und sich entsprechend bewegen bzw. darauf reagieren müssen. Ein hohes Spatial Mapping mit möglichst genauen Ausgabeinformationen sollte für dementsprechend für die Interaktion vorteilhaft sein. Im zweiten Experiment stehen daher primär die visuellen Anteile des Spatial Mapping im Vordergrund.

8.1 Hypothesen und zusätzliche Fragestellungen

8.1.1 Einfluss von Head Tracking und stereoskopischer Präsentation

Die Gestaltung von VR-Systemen ist oft auf ein primäres Anwendungsszenario ausgerichtet. Diese umfassen unter anderem Trainings- bzw. Ausbildungsszenarien, z.B. in der (Tele-)Medizin (Cohen, A. R. et al., 2013), Katastrophenschutz (Farra, Miller, Timm & Schafer, 2013) oder Fahrzeugtraining (Bayarri, Fernandez & Perez, 1996). Weiterhin wird VR bei der Visualisierung von Planung und Konstruktionen (Dorozhkin, Vance, Rehn & Lemessi, 2010) und Therapien (Goncalves, Pedrozo, Coutinho, Figueira & Ventura, 2012) eingesetzt. Spezialisierte Systeme werden in zahlreichen weiteren Szenarien eingesetzt. Für die Forschung ergeben sich durch VR-Technologie viele Möglichkeiten spezielle Stimuli und Aufgabenkombinationen zu erzeugen, weshalb sie regelmäßig für Wahrnehmungs- und Verhaltensforschung eingesetzt wird (z.B. Linkenauger, Leyrer, Bulthoff & Mohler, 2013). Auch für konkrete Fragestellungen der Sozialwissenschaften findet immersive VR bereits seit der Jahrtausendwende vermehrt Anwendung (Fox, Arena & Bailenson, 2009; Persky & McBride, 2009).

VR-Systeme werden in der Regel für eine neue Anwendung neu konfiguriert, um je nach Einsatzzweck die bestmögliche Simulationsqualität zu erreichen. Kommerzielle Computerspiel-systeme müssen so gestaltet sein, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Software damit kompatibel ist. Eine Spielkonsole mit Gamepad erlaubt das Steuern von Rennfahrzeugen genauso wie das Steuern von Avataren in Abenteuerspielen oder das Lösen von Puzzle-Spielen. Während *Gran Turismo 5* (Digital Polyphony Polyphony Digital Inc., 2010) sowohl mit Gamepad als auch mit einer Vielzahl von Lenkrad-Controllern sowie mit und ohne Stereoskopie funktionieren muss, können VR-Anlagen perfekt für eine Anwendung optimiert werden.

Die eingesetzte VR-Anlage ist für die Tischtennissimulation optimiert (Rusdorf, Brunnett, Lorenz & Winkler, 2007) und realisiert einen hohen Grad an Spatial Mapping: Spieler bewegen sich vor einer Bildfläche um einen virtuellen Tisch und spielen mit einem realen Tischtennis-Schläger, der mit Tracking-Targets ausgerüstet wurde. Die Interaktion ist dabei vollständig isomorph, sodass ein Zentimeter in Realität auch einem Zentimeter in der Simulation darstellt. Das visuelle Feedback wird stereoskopisch präsentiert und erlaubt damit Tiefeneindrücke zur besseren Koordination der Spielbewegungen im Raum.

Die Spielaufgabe erfordert eine dreidimensionale Interaktion im Eingaberaum vom Nutzer (siehe 6.2). Die Komplexität der Aufgabe ist hoch genug, dass die Nutzer von den zusätzlichen Informationen (Stereoskopie, Bewegungsparallaxe) und präziser Eingabe räumlicher Informationen (dreidimensionaler Interaktionsraum) profitieren sollten. Gleichzeitig sollte es zu einer besseren UX führen, da auf existierende mentale Modelle aufgebaut werden kann und damit weniger Transferprozesse geleistet werden müssen. Es stehen mehr kognitive Ressourcen für den Inhalt zur Verfügung.

Dies würde im hypothetischen Modell bedeuten, dass Perspektive und Präsentationsmodus als Teil des Spatial Mapping relevant für die gegebene Aufgabe sind (H_{1A} , H_{1B}). Damit sollte ein positiver indirekter Effekt (über Task Adequacy) auf Unterhaltung, Spatial Presence und SSM für Perspektive (H_{2Ai} , H_{3Ai} , H_{5Ai} , siehe Abbildung 82) als auch Stereoskopie (H_{2Bi} , H_{3Bi} , H_{5Bi} , siehe Abbildung 83) zu verzeichnen sein.

Abbildung 82. Experiment 2: Hypothesen im Pfadmodell (Kameraperspektive)

Ähnlich wie bei Natural Mapping in Experiment 1 kann die höhere Natürlichkeit der Interaktion durch Einsatz von Head-Tracking über andere Einflussvariablen auch zu Effekten führen, die nicht über die Task Adequacy im Modell abgebildet sind. Diese wären als direkte Effekte zu beobachten. Aus diesem Grund werden wie in Experiment 1 auch die direkten Pfade der beiden UV auf die interessierenden AV Unterhaltung (H_{2Ad} , H_{2Bd}), Spatial Presence (H_{3Ad} , H_{3Bd}) und Spatial Situation Model (H_{5Ad} , H_{5Bd}) geprüft. Da das gesamte System entsprechend des geplanten Setups ein hohes Spatial Mapping besitzt und die dadurch verfügbaren zusätzlichen Informationen für die Interaktion tatsächlich relevant sind, werden eventuelle direkte Effekte als positiv angenommen.

Abbildung 83. Experiment 2: Hypothesen im Pfadmodell (Präsentationsmodus)

Im Experiment wird der Schwierigkeitsgrad über alle Bedingungen hinweg parallelisiert. Dies wird mithilfe von Performance-Daten in einer Vorstudie realisiert. Aus diesem Grund sollte sich die Performance im Experiment zwischen den Bedingungen nicht signifikant unterscheiden (H_{4Ad} , H_{4Bd} , H_{4Ai} , H_{4Bi}).

Das Modell wurde gegenüber Experiment 1 um zwei Pfade erweitert (Performance → Enjoyment und Spatial Presence → Enjoyment). Als zusätzliche Fragestellung werden diese neuen Pfade aus Experiment 1 geprüft (H_6 , H_7), um die Modellstruktur zu verifizieren (siehe Abbildung 84).

Abbildung 84. Experiment 2: Hypothesen im Pfadmodell (zusätzliche Pfade aus Experiment 1)

8.1.2 Betrachtung von Kovariaten

Analog zum Vorgehen im ersten Experiment sollen mögliche Einflussvariablen für die beiden UV kontrolliert werden. Dies umfasst domänenspezifisches Vorwissen und Vorerfahrungen zu stereoskopischen Medien, Computerspiele im Allgemeinen und Tennis- bzw. Tischtennis-Anwendungen im Speziellen, Erfahrung mit Spiel-Controllern und reale Tischtennis-Erfahrung.

8.2 Methode

8.2.1 Untersuchungsdesign

Experiment 2 wurde als 2x2 Between-Subjects-Design konstruiert. Dabei wurden die beiden Faktoren (UV-A: Kameraperspektive; UV-B: Präsentationsmodus) jeweils in zwei Stufen variiert. Dazu wurden bei UV-A entweder eine statische Kameraperspektive oder eine dynamische berechnete Kameraperspektive (Bildberechnung auf Basis von Headtracking des Nutzers) verwendet. Zur Manipulation von UV-B wurde die Bildausgabe entweder auf zwei Bilder mit 6,5 cm Versatz (Augenabstand; erzeugt stereoskopisches Bild) oder 0 cm Versatz (erzeugt monoskopisches Bild) konfiguriert.

Abbildung 85. Experiment 2: Versuchsaufbau Tischtennis-Simulation

Da das Untersuchungsdesign sehr ähnlich zu Experiment 1 konstruiert wurde, gelten die gleichen Annahmen für die erforderliche Probandenzahl wie bei Experiment 1 (siehe 7.2.1). Für die verlässliche Prüfung von Effekten bis $f = 0.3$ sind $N = 147$ Probanden notwendig.

Es wurde ein vollständig randomisierter Versuchsplan aufgestellt (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26. *Experiment 2: Versuchsplan*

VPL2RR		R-UV-A Kameraperspektive	
		B1 statisch	B2 dynamisch
R-UV-B Präsentations- modus	A1 non- stereoskopisch	$n = 37$	$n = 37$
	A2 stereoskopisch	$n = 37$	$n = 37$

8.2.2 Pretest: Schwierigkeit und User Experience

Im Vorfeld zur Studie hat sich gezeigt, dass die Schwierigkeit der Tischtennis-Simulation enorm steigt, wenn sie ohne stereoskopische Darstellung oder ohne dynamische Kameraperspektive ausgeführt wird. Dies allein ist bereits ein wesentlicher Indikator dafür, dass beide Modalitäten für die gestellte Aufgabe als essenziell gesehen werden können.

Die Probanden der Vorbetrachtung zeigten sich frustriert, was sich stark auf die Bewertungen ihrer Erfahrungen auswirkte. Neben der Unterhaltung wurde entsprechend die Task-Adequacy als gering eingestuft; die Performance fiel offensichtlich ebenfalls gering aus. Eine Reduzierung von Anzahl und Qualität relevanter Spatial Cues sollte zu einem eingeschränkten Spatial Situation Model beim Nutzer führen. Gleichzeitig erhöht sich die Schwierigkeit, da die Positionierung der Spieler und des Schlägers auf weniger verfügbaren Informationen basiert. Übersteigt die Schwierigkeit die Fähigkeiten des Nutzers, scheitert er. Je schwieriger die Aufgabe ist und je schlechter die individuelle Leistung ausfällt, desto frustrierter werden die Nutzer reagieren (Csikszentmihalyi, 1975). Die User Experience mit dem Gesamtsystem sinkt. Ausgelöst durch Misserfolg, können negative Attributionen das gesamte System überschatten (Halo-Effekt). Die Aufgabenschwierigkeit würde damit jeden möglichen Effekt der Spatial Mapping Modalitäten überschatten.

Da im Rahmen des Experiments aber vor allem der Einfluss des Spatial Mapping auf Wahrnehmungsprozesse und daraus resultierende Effekte (Spatial Situation Model, Spatial Presence, Unterhaltung) im Fokus stand, entschied sich der Autor, die Aufgabenschwierigkeit

zu parallelisieren. Es musste dafür eine Methode gefunden werden, bei der die vier Bedingungen einzeln angepasst werden können, ohne die Task Adequacy maßgeblich zu verändern.

Im Resultat wurde eine Vorstudie durchgeführt, die die durchschnittliche Schwierigkeit der einzelnen Versuchsbedingungen evaluierte, indem Performance-Maße und subjektive Urteile herangezogen wurden (Pietschmann & Rusdorf, 2014).

Fitts Gesetz (Fitts, 1954) liefert ein Modell, dass die benötigte Zeit vorhersagt, um ein Objekt mit einer schnellen, gerichteten Bewegung in ein Zielgebiet zu bewegen. Es lieferte einen maßgeblichen Beitrag zur Entwicklung des modernen User Interface Design und der Evaluation mit verschiedenen Arten von Eingabemodalitäten (z.B. MacKenzie & Zhang, 1999; Watson, B. A., Walker, Woytiuk & Ribarsky, 2003).

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A}{W} + K \right) \quad (13)$$

Fitts Gesetz (15) ermöglicht die Berechnung der durchschnittlichen Bewegungszeit MT durch eine gegebene Start-/Stopzeit des Controllers a , der inhärenten Geschwindigkeit des Controllers b , die Entfernung zum Ziel A und die Breite W der Zielfläche auf der Bewegungsachse. Die Werte a und b der Gleichung müssen empirisch für das gegebene Setup ermittelt werden, indem die Messwerte per Kurvenanpassung auf eine lineare Funktion gelegt werden. Die Formel bringt ein *speed-accuracy-trade-off* mit sich, d.h. dass mehr Zeit benötigt wird, wenn die Zielfläche kleiner oder weiter entfernt ist. Eine Aufgabe ist schwieriger, wenn die Zielfläche klein oder weit entfernt ist und eine bestimmte Zeit erreicht werden soll.

Insgesamt bietet Fitts Gesetz eine gute Grundlage, um die Aufgabenschwierigkeit für Experiment 2 anzupassen: Es wurde eine Möglichkeit implementiert, die Trefferbox um den Schläger zu verändern. Damit wird die Zielfläche reduziert oder vergrößert und die Schwierigkeit entsprechend verändert. Weiterhin ermöglichte der Einsatz einer Hilfefunktion die Manipulation der ballistischen Flugkurve des Tischtennisballs in zehn Schritten. Aufgrund der hochdynamischen Natur der Tischtennis-Simulation mit verschiedenen Positionen der Zielflächen und Startpositionen der Nutzer (d.h. auch unterschiedliche Abstände zum Target im dreidimensionalen Raum vor der Leinwand) wurde Fitts' Formel nicht direkt eingesetzt, aber eine ähnliche Methode gewählt.

Es wurden durchschnittliche Schwierigkeitswerte in Form von Trefferquoten (Ball wurde erfolgreich nach der Angabe vom Gegenspieler angenommen) bzw. Rückspielquoten (Ball wurde erfolgreich nach der Angabe vom Gegenspieler zurückgespielt) herangezogen. Wenn diese Quoten für durchschnittliche Spieler in allen Anzeigebedingungen gleich ausfallen, bedeutet dies, dass die Aufgabe eine konstante durchschnittliche Schwierigkeit aufweist.

8.2.2.1 Methode

Um ideale Werte für die Trefferbox des Schlägers zu finden, wurde eine Within-Subjects-Studie mit $N = 5$ Teilnehmern durchgeführt. Um Unterschiede aufgrund verschiedener Vorkenntnisse zu minimieren, wurden die Probanden auf Basis ihrer realen Tischtennis-Erfahrungen rekrutiert. Potenzielle Teilnehmer gaben Ihre Erfahrung auf einer 5-Punkte-Likert-Skala zwischen 1 (keine Erfahrung mit Tischtennis) und 5 Punkten (professioneller Tischtennis-Spieler) an. Die Erfahrung von fünf Teilnehmern war dabei auf das komplette Spektrum verteilt (jeweils Erfahrungswert 1, 2, 3, 4 bzw. 5), sie wurden daher für den Pretest ausgewählt. Nur einer der Probanden hatte vorher Erfahrungen mit einer VR-Anlage gemacht, sie entsprachen daher der Zielgruppe für die Hauptstudie.

Die Schwierigkeit wurde manipuliert, indem der Radius der Trefferbox des Schlägers (10 cm; 15 cm; 20 cm; 30 cm) sowie die Hilfe zur Flugkurvenanpassung (0 %; 30 %, 60 %) erhöht wurden. Jeder der Probanden durchlief eine andere, vorsortierte Reihenfolge der Präsentationsbedingungen (statische Perspektive/ monoskopische Darstellung; statische Perspektive/ stereoskopische Darstellung; dynamische Perspektive/ monoskopische Darstellung; dynamische Perspektive/ stereoskopische Darstellung). Innerhalb jeder Bedingung wurde die Schwierigkeit sequenziell gesenkt (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27. *Experiment 2: Pretest-Versuchsreihenfolge*

Zeit	0s	30s	60s	90s	120s	150s	180s	210s	240s	300s	330s	360s
Trefferbox Schläger (cm)	10	10	10	15	15	15	20	20	20	30	30	30
Hilfe zur Flugkurvenanpassung (Prozent)	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60

Während des Versuchs wurden alle Simulationsvariablen (Tracking-Koordinaten von Spieler, Schläger sowie Ballposition, Spielstand, etc.) chronologisch in einer Logfile erhoben. Nach der

Sitzung füllten die fünf Probanden zur Erfassung der User Experience des Gesamtsystems die beiden Fragebögen AttrakDiff (Hassenzahl et al., 2003) und User Experience Questionnaire (Laugwitz et al., 2008) aus.¹⁷

8.2.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Für die Evaluation der Aufgabenschwierigkeit wurden Rückspielquote, Gesamtpunktzahl und der durchschnittliche Abstand des Schlägerzentrums zum Ballzentrum berechnet. Die durchschnittliche Rückspielquote in den vier Präsentationsbedingungen schwankte zwischen 51 % (mono/statisch) und 73 % (stereo/statisch), ungeachtet der Assistenzfunktionen.

Anschließend wurden RM-ANOVAs mit den Innersubjektvariablen Perspektive, Präsentationsmodus, Trefferboxgröße und Hilfemodus gerechnet. Wie erwartet zeigte sich ein signifikanter positiver Einfluss von Perspektive ($F [1, 4] = 16.23, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = 0.80$) und Präsentationsmodus ($F [1, 4] = 15.57, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = 0.79$) auf die Rückspielquote. Die Analyse der Assistenzfunktionen zeigte keinen Effekt für den Hilfemodus ($F [1, 4] = 0.63, \text{n.s.}$), aber für die Trefferboxgröße des Schlägers, $F (1, 3) = 10.97, p < .01, \eta^2_{\text{part}} = 0.85$).

Für das Hauptexperiment sollten die Probanden ein flüssiges Spiel mit mehreren Ballwechseln erreichen, die Schwierigkeit sollte daher eher gering sein. Als Zielschwierigkeit wurde eine durchschnittliche Rückspielquote von 75 % angesetzt, sodass individuelle Fähigkeiten noch genügend Einfluss haben können. Die Daten zur Rückspielquote wurden mittels Kurvenanpassung auf eine logarithmische Regressionsfunktion für die Trefferbox-Größe modelliert ($R^2_{\text{mono/statisch}} = .97, R^2_{\text{mono/dynamisch}} = .92, R^2_{\text{stereo/statisch}} = .80, R^2_{\text{stereo/dynamisch}} = .74$). Anschließend wurden die Trefferbox-Größen (x) für $y = 0.75$ ermittelt: Als Trefferbox-Größe wurden die Werte 25.1 cm (mono/statisch), 20.4 cm (mono/dynamisch), 17.9 cm (stereo/statisch) und 20.7 cm (stereo/dynamisch) für das Hauptexperiment eingesetzt.

Die Rückspielquote in Experiment 2 ($N = 130$) wurde später mit der Zielschwierigkeit verglichen. Eine ANOVA wurde durchgeführt, um die Verteilung in den vier Experimentalbedingungen zu prüfen. Dabei wurde kein Effekt für S3D, $F (1, 127) = 2.508, \text{n.s.}$ oder Perspektive gefunden, $F (1, 127) = 3.766, \text{n.s.}$

¹⁷ Die Fragebögen werden in Kapitel 2 im Detail vorgestellt.

Die Mittelwerte für die vier Präsentationsbedingungen lagen jeweils innerhalb einer Standardabweichung von 0.75: $M = 0.79$, $SD = 0.17$ (mono/statisch), $M = 0.74$, $SD = 0.14$ (mono/dynamisch), $M = 0.73$, $SD = 0.13$ (stereo/statisch) und $M = 0.88$, $SD = 0.13$ (stereo/dynamisch).

Diese Ergebnisse deuten auf eine ähnliche subjektiv wahrgenommene Schwierigkeit in den vier Bedingungen hin. Eine Konfundierung durch negative Attributionen und Frustration aufgrund systematisch verschiedener Aufgabenschwierigkeit konnte damit vermieden werden.

Das System wurde von den Probanden des Pretests auch hinsichtlich der User Experience evaluiert (AttrakDiff und User Experience Questionnaire). Dabei zeigten sich durchweg durchschnittliche Bewertungen. Es wurde keine Kategorie identifiziert, die besonders positiv oder negativ hervor sticht, das System-Setup erschien damit ideal für das Experiment geeignet.

8.2.3 Stichprobe

An Experiment 2 nahmen $N = 138$ Probanden teil. Aufgrund unvollständiger Datensätze und technischen Problemen bzw. Unterbrechungen während des Experiments mussten sechs Probanden ausgeschlossen werden, sodass im finalen Datensatz $N = 132$ Probanden verblieben.

Die *a priori* Berechnung der Probandenanzahl mit G*Power legte eine Gruppengröße von $n = 37$ pro Zelle nahe, im finalen Sample entfielen je 31, 32, 32 und 37 Probanden auf die einzelnen Gruppen. Die Gruppengrößen sind nicht exakt gleich groß, aber hinreichend gleich.

Die Probanden ($N = 132$, $f = 84$; Alter $M = 22.1$, $SD = 2.8$) wurden über Mailinglisten der lokalen Universität rekrutiert. Die Studienteilnahme wurde mit Versuchspersonenstunden bzw. der Teilnahme an einer Verlosung vergütet.¹⁸ Der Teilnehmerkreis setzte sich größtenteils aus Studierenden diverser Bachelor-Studiengänge zusammen (Semester $M = 2.71$, $SD = 1.49$).

Es bestand eine teilweise Überschneidung der Probanden zur ersten Studie (ca. 25 % der Teilnehmer). Beide Studien wurden in einem Abstand von drei Monaten durchgeführt. Eine Übersicht der Stichprobenzusammensetzung gibt Abbildung 86.

¹⁸ Verlost wurden ein Tablet PC sowie zwei Gutscheine zu je 25 Euro für einen großen Onlineversandhändler.

Abbildung 86. Experiment 2: Zusammensetzung der Stichprobe

Für das Experiment waren keine Einschränkungen beim Teilnehmerkreis erforderlich, die Probanden wurden daher ohne Gabe von Vorausinformationen rekrutiert. Einzig der Titel „Virtual-Reality-Studie“ wurde kommuniziert. Die Teilnahmevergütung in der Form von Verlosung und Versuchspersonenstunden stellte einen hohen Teilnahmeanreiz dar, sodass das eigentliche Thema für die meisten Probanden prinzipiell irrelevant wurde. Der Autor geht daher davon aus, dass mögliche Nachteile durch Selbstselektion minimiert werden konnten.

8.2.4 Untersuchungsdurchführung

Die Studie wurde in einem Virtual-Reality-Labor der lokalen Universität durchgeführt. Die Teilnehmer bestritten eine Tischtennis-Simulation gegen einen computergesteuerten Gegenspieler für ca. 30 Minuten.

Die Simulation lief über eine VR-Anlage, die als Rückprojektionssystem in Form einer Power-Wall konzipiert war. Die Projektionsfläche wurde dabei in vier Einzelbereiche geteilt, die jeweils von zwei Epson EHTW 8100 Projektoren ausgeleuchtet wurden (Rusdorf & Brunnett, 2005; Rusdorf et al., 2007). Zusammen liefert das System eine Pixeldichte von ca. 88 Pixel/cm² bei einer Projektionsfläche von 4x3 m. Bei einem regulären Probanden-Abstand von 2.5 m zur

Leinwand konnte damit eine hohe stereoskopische Auflösung umgesetzt werden. Die Bildberechnung wurde durch Parallelrendering auf vier PCs mit mehreren Grafikkarten durchgeführt. Die Anwendung selbst wurde auf einem weiteren Rechner ausgeführt.

Abbildung 87. Experiment 2: Prototypische Spielsituation

Das eingesetzte VR-System verwendet ein ARTTRACK Infrarot-Tracking-System auf einem separaten Computer, um die für die Anwendung notwendigen Bewegungen zu erfassen. Als Tracking-Objekte kamen eine stereoskopische Shutter-Brille und ein Tischtennisschläger zum Einsatz (siehe Abbildung 88).

Abbildung 88. Experiment 2: Tracking-Objekte der eingesetzten VR-Anwendung (Rusdorf et al, 2007)

Abbildung 89. Experiment 2: Tracking-System ARTTRACK 1

Die Brille wurde mit dem Standard von fünf Targets und der Schläger mit sechs Targets erfasst. Die Verwendung von sechs Targets erlaubt eine bessere Lageerkennung im Raum bei Teilverdeckung der Marker. Die Simulation setzt zudem vier Tracking-Kameras ein (jeweils zwei links und zwei rechts an der Projektionsfläche angebracht), um die Verdeckung zu minimieren. Die hohe Anzahl an Targets und Kameras stellt sicher, dass auch bei den für Tischtennis üblichen schnellen Bewegungen eine hohe Erkennungsrate gewährleistet ist.

Die Software-Applikation basiert auf dem Szenegraph V3D (Lorenz, Rusdorf, Woelk & Brunnett, 2003) und setzt räumliches Audio, eine authentische Spielphysik, einen animierten, computergesteuerten Gegenspieler ein. Die Anwendung wurde in der Vergangenheit auf Fachtagungen und Messen durchweg positiv evaluiert (z.B. IEEE VR, 2005; CeBIT, 2006). Ein großer Vorteil des Systems ist die Intuitivität, wodurch von den Nutzern keinerlei VR-Erfahrungen erforderlich sind.

Für die unterschiedlichen Versuchsbedingungen konnten diverse Parameter von einem Operator-PC aus manipuliert werden. Dazu zählen auch die in der Vorstudie untersuchten Assistentenfunktionen. Für die einzelnen Bedingungen wurden die ermittelten Werte für die Trefferboxgröße des Schlägers eingestellt. Die Schwierigkeit des Gegenspielers konnte ebenfalls in 20 Stufen konfiguriert werden, alle Teilnehmer spielten die Simulation jedoch auf dem kleinsten Schwierigkeitsgrad.

Für UV-A (Perspektive) wurde die Kamera entweder dynamisch oder statisch eingestellt. Dynamisch bedeutet, dass die Bildberechnung auf Basis der Echtzeit-Koordinaten durchgeführt wird, die vom Tracking der Shutter-Brille geliefert wird. Statisch bedeutet, dass feste Koordinaten für die Perspektive verwendet werden. Diese wurden zu Beginn für jeden Nutzer individuell festgelegt. Dazu standen die Probanden auf einer Bodenmarkierung im Raum und blickten mit der getrackten Shutter-Brille auf das Zentrum der Leinwand. Die Koordinaten der Brille (und damit ihrer zentralen Perspektive) wurden anschließend erfasst und als Standardperspektive für die Simulation eingesetzt. Die individuelle Erfassung der Standardperspektive hatte zum Vorteil, dass die unterschiedliche Größe der Probanden berücksichtigt wird und keine darauf basierenden optisch verzerrten Perspektiven entstehen.

Für UV-B (S3D) wurde die Anwendung entsprechend auf stereoskopische (Bildseparation mit eingestellten Augenabstand von 65mm) oder monoskopische Darstellung (Augenabstand 0 mm) konfiguriert.

Wie auch in Experiment 1 war die Studie in vier Abschnitte geteilt (siehe Abbildung 90).

Abbildung 90. Experiment 2: Ablaufübersicht

Die Teilnehmer wurden zunächst vom Wartebereich abgeholt und in einen Nachbarraum des VR-Labors gebracht. Nach eingehender schriftlichen Instruktion wurde dort der erste Teil des Fragebogens ausgefüllt. Parallel dazu wurde das VR-System konfiguriert und das Bild der Leinwand deaktiviert. Die Probanden betraten den Raum und wurden gebeten, sich auf die Bodenmarkierung zu stellen. Diese Markierung stellte den optimalen Abstand zur Leinwand und zum Trackingsystem dar. Sie bekamen Shutter-Brille und Schläger ausgehändigt und erklärt. Es folgte die Einmessung der Brillenkoordinaten für die Untersuchungsbedingungen mit statischer Perspektive. Das Bild wurde anschließend aktiviert und die Trainingssitzung begonnen. Während des Trainings wurden die Spielregeln erklärt und sichergestellt, dass die Probanden das Equipment korrekt benutzen können. Nach dem Training absolvierten die Teilnehmer die eigentliche 25-minütige Experimentalsitzung, bei der die Aufzeichnung aktiviert wurde. Nach Ablauf der Zeit wurde die Sitzung abgebrochen, indem der Bildschirm deaktiviert wurde. Die Versuchsleiter brachten die Probanden wieder zurück in das Nebenzimmer, um den zweiten Teil des Fragebogens auszufüllen. Abschließend erfolgte das Debriefing der Teilnehmer.

8.2.5 Instrumente

Wie auch in Experiment 1 wurden die entsprechenden Variablen aus dem hypothetischen Pfadmodell als abhängige Variablen erfasst. Es kamen erneut dieselben Instrumente zu Spatial Situation Models, Spatial Presence und Unterhaltung zum Einsatz. Die Skala für Task Adequacy wurde für Experiment 2 um weitere Items ergänzt. Domänenspezifisches Wissen zu Computerspielen, Tennis- bzw. Tischtennisspielen sowie die praktische Erfahrung mit Tischtennis wurde ebenfalls erfasst. Zudem wurde ein Wissensquiz zum Thema Tischtennis erstellt, das ergänzend zur Erfassung der Vorerfahrung zum Einsatz kam. Mediennutzungsdaten und soziodemographische Variablen wurden ebenfalls erfasst, um als mögliche Kovariaten betrachtet werden zu können.

Die Leistung wurde mit verschiedenen Simulationswerten ermittelt: Die Rückspielquote als das Verhältnis der erfolgreich zum Gegner zurückgespielten Bälle und die Trefferquote als das Verhältnis aller erfolgreich angenommenen Bälle wurden erst bei der Auswertung aus den Bewegungsdaten der Simulation errechnet. Die Punktzahl und Anzahl gewonnener Sätze bzw. Spiele wurden während der Simulation für den Spieler angezeigt und ebenfalls erhoben. Entsprechend des Vorgehens bei der Vorstudie wurde die Rückspielquote als Indikator für eine konstante Aufgabenschwierigkeit eingesetzt. Die Spielleistung wurde zudem als Punktzahl erfasst. Dazu wurden alle erzielten Punkte eines Spielers über alle Spielsätze hinweg als Summe zusammengefasst.

Die Datenerhebung erfolgte größtenteils durch subjektive Fragebögen, die analog zu Experiment 1 vor (Teil 1) und nach der Experimentalsitzung (Teil 2) als Online-Variante via LimeSurvey ausgefüllt wurden. Der vollständige Fragebogen zu Experiment 2 befindet sich in Anhang B.1.

Teil 1 des Fragebogens umfasste folgende Blöcke:

1. Grundlegende Angaben

Geschlecht, Alter, Sehhilfe, Erkrankungen der Sehorgane

2. Mediennutzung und Vorkenntnisse

allgemeine Mediennutzung, stereoskopische Medien, Computerspielnutzung, Erfahrung mit verschiedenen Computerspiel-Controllern

3. Game Playing Skill Scale

9 Items mit Aussagen zur Computerspielfertigkeit; (Bracken & Skalski, 2006, 2009)

4. Domain Specific Interest: Tischtennis

Erfahrung mit realem Tischtennis und Tennis, Erfahrung mit Computerspielen mit Tennis-/Tischtennis-Bezug, Multiple-Choice-Quiz zum Tischtennis-Fachwissen

Teil 2 des Fragebogens umfasste folgende Blöcke:

6. MEC Spatial Presence Questionnaire

MEC-SPQ; 36 Items (Vorderer et al., 2004)

7. ITC-Sense of Presence Inventory

ITC-SOPI; 11 Items (Lessiter et al., 2001)

8. Intrinsic Motivation Inventory

IMI; 4 Items (Ryan, R. M., 1982)

9. Perceived Natural Mapping Scale

PNMS; 11 Items (Skalski et al., 2007; Skalski et al., 2011)

10. Task Adequacy Scale

TAS; 10 Items; eigene Items zur Erfassung der Relevanz des Spatial Mapping für die gestellte Aufgabe

11. User Experience Questionnaire

UEQ; 26 Items (Laugwitz et al., 2008)

Innerhalb der meisten Blöcke des Fragebogens (Blöcke 3 sowie 6 bis 10) wurden die Items randomisiert. Blöcke 6, 7 und 8 wurden zu einem großen Block zusammengefasst und gemeinsam randomisiert. Es wurde immer nur ein Item gleichzeitig auf dem Bildschirm gezeigt.

Viele der Instrumente wurden bereits bei Experiment 1 eingesetzt und im Detail vorgestellt, weshalb an dieser Stelle nur die relevanten Kennwerte der Skalen für Experiment 2 berichtet werden. Bei der Itemanalyse wurden Schwierigkeit, Trennschärfe, Verteilung und Homogenität der Items überprüft. Die Reliabilität der aus der Literatur verwendeten Skalen wurde mit den Itemkennwerten der Originalpublikationen, anderen Studien und Experiment 1 verglichen. Es wurden keine Items bei der Analyse ausgeschlossen, um die Vergleichbarkeit mit Experiment 1 und einheitliche Skalen für das Pfadmodell zu garantieren.

8.2.5.1 Mediennutzung und Vorkenntnisse

Die eingesetzten Items zur Erfassung von Mediennutzungsgewohnheiten stammen aus Experiment 1. Die meisten Probanden gaben an, fortgeschrittene Computerkenntnisse (56 %) zu besitzen. Viele hatten kein Vorwissen (47 %) bzw. nur grundlegende Kenntnisse (49 %) darüber, wie 3D-Bilder produziert werden. Die meisten Teilnehmer gaben zudem an, kein Wissen über technische Hintergründe von Virtual-Reality zu besitzen (58 %).

Im Fragebogen wurde weiterhin erfasst, wie viele Stunden am Tag durchschnittlich mit Fernsehen und Videos (Wochentage: $M = 2.05$, $SD = 1.34$; Wochenende: $M = 3.31$, $SD = 1.85$) bzw. Computerspielen (Wochentage: $M = 0.88$, $SD = 1.49$; Wochenende: $M = 1.69$, $SD = 2.1$) ver-

bracht, und welche Spielsysteme und Genres häufig gespielt werden. Die Zeitangaben unterscheiden sich nur marginal zu den Angaben aus Experiment 1. Smartphone sowie PC sind nach wie vor die meistgenutzten Spielsysteme (Abbildung 91).

Abbildung 91. Experiment 2: Welche Spielsysteme nutzen Sie mindestens einmal im Monat?

Die Erfahrung mit stereoskopischen Bildern wurde zunächst generell abgefragt (Ja: 98 %), und anschließend für einzelne stereoskopische Medien spezifiziert. Die Nutzungshäufigkeit wurde mit einer 4-Punkte-Skala erfasst (siehe Abbildung 92).

Abbildung 92. Experiment 2: Wie häufig haben Sie die folgenden stereoskopischen Medien bereits benutzt?

Die Nutzungshäufigkeiten entsprechen fast exakt den Angaben aus Experiment 1, was aber auch durch eine teilweise Überschneidung des Teilnehmerkreises beider Studien erklärbar ist. Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung von Vorerfahrungen auf die Experimentalbedingungen.

8.2.5.2 Game Playing Skill Scale (GaPS)

Erneut kam die *Game Playing Skill Scale* (GaPS; Bracken & Skalski, 2006, 2009) zum Einsatz, um die subjektiv wahrgenommene Fertigkeit im Computerspielen zu erfassen. Die Skala umfasst 9 Statements (5-Punkte-Likert-Skala).

Die Reliabilität der Skala erwies sich mit $\alpha = .93$ als sehr gut. Das arithmetische Mittel für die Stichprobe betrug $M = 2.15$, $SD = 0.50$. Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung auf die Experimentalbedingungen (siehe Anhang B.4).

8.2.5.3 Domain Specific Interest: Tischtennis

Zur Erfassung des domänenspezifischen Wissens wurden die Teilnehmer zunächst gebeten, ihre praktische Spielerfahrung im Tischtennis einzuschätzen (4-Punkte-Skala). Etwa die Hälfte der Probanden (47 %) gab an, sehr geringe bzw. geringe Erfahrungen zu besitzen, nur wenige schätzten ihre Kenntnisse hoch (11 %) bzw. sehr hoch (2 %) ein. Die praktische Erfahrung ist in der Stichprobe nicht normalverteilt, $D(132) = 0.226$, $p < .001$. Sie fällt leicht linksschief und platykurtisch aus, jedoch nicht signifikant.

Weiterhin wurde die Erfahrung mit Tennis-/Tischtennis-Computerspielen erhoben. Dazu wurde eine Liste der erfolgreichsten Spiele zwischen 2000 und 2014 zusammengestellt, in denen Tennis bzw. Tischtennis gespielt werden kann (*Moby Games*, 2014). Die Liste enthielt zehn Spiele. Das meistgenutzte Spiel war *Wii Sports* (Nintendo, 2006), mit dem 55 Prozent der Probanden vertraut waren, weitere Spiele waren nur wenigen Studienteilnehmern bekannt (siehe Abbildung 93).

Abbildung 93. Experiment 2: Welche der folgenden Tennis-Computerspiele haben Sie bereits gespielt?

Mithilfe eines Multiple-Choice-Wissenstests (5 Items mit je 4 Antwort-Optionen) wurde zudem das Wissen zu Spielregeln und Spieltaktik (z.B. „Wann wird beim Tischtennis die Seite gewechselt?“, „Während des Aufschlags berührt der Ball die Netzgarnitur, was bedeutet

das?“ , „Beim Doppel gelten welche Sonderregeln?“) abgefragt. Die Fragen wurden auf Basis der offiziellen Tischtennis-Spielregeln aufgestellt. Jede korrekt gewählte Antwort wurde als Punkt gewertet, jede falsch gewählte Antwort resultierte in einem Minuspunkt. Insgesamt konnten 20 Punkte erreicht werden. Die Skala wurde als Summe aller Punkte gebildet. Innerhalb der Stichprobe war das Tischtennis-Wissen ($M = 8.82$, $SD = 4.71$) nicht normalverteilt, $D(132) = 0.114$, $p < .001$. Die Verteilung ist dabei leicht rechtsschief und platykurtisch, jedoch nicht signifikant. Es gab keine signifikanten Unterschiede der Verteilung auf die Experimentalbedingungen (siehe Anhang B.4).

8.2.5.4 MEC Spatial Presence Questionnaire (MEC-SPQ)

Das Konstrukt Spatial Presence wurde mit der 4-Item-Skalen-Variante des MEC Spatial Presence Questionnaire erfasst. Einzig die Skala Spatial Situation Model wurde wie bereits auch in Experiment 1 mit der 8-Item-Variante erfasst, um das Merkmal potenziell besser auflösen zu können. Die Skalen wurden hinsichtlich ihrer Reliabilität geprüft und mit Experiment 1 verglichen (siehe Tabelle 28). Wieder zeigte sich für „Higher Cognitive Involvement“ ein problematischer Wert mit $\alpha = .44$. Eine minimale Verbesserung würde durch den Ausschluss eines Items erreicht werden („Ich habe darüber nachgedacht, ob das im Spiel Dargestellte für mich nützlich sein kann“; $r = .139$). Es wurden jedoch zur besseren Vergleichbarkeit keine Items ausgeschlossen, die Skala wird jedoch für die Auswertung von Experiment 2 nicht zum Einsatz kommen können. Die anderen Skalen erwiesen sich als akzeptabel bis sehr gut.

Tabelle 28. *Skalencharakteristik MEC-SPQ im Vergleich zu Experiment 1*

Subskala	Vorderer et al. (2004) ¹			Experiment 1 ²			Experiment 2 ²		
	N = 290			N = 125			N = 132		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SE</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SE</i>	Cronbachs α
Attention Allocation	3.35	1.04	.90	4.33	0.36	.76	4.18	0.38	.79
Spatial Situation Model	2.92	0.97	.86	3.57	0.40	.86	3.43	0.54	.79
Spatial Presence: Self Location	2.33	0.99	.92	2.64	0.34	.89	3.00	0.30	.83
Spatial Presence: Possible Actions	2.32	0.88	.81	2.78	0.23	.69	2.77	0.48	.64
Higher Cognitive Involvement	2.98	0.85	.66	2.85	0.91	.51	3.11	0.75	.44
Suspension of Disbelief	3.17	1.02	.80	3.77	0.15	.80	2.63	0.17	.73
Domain Specific Interest	2.39	1.01	.88	2.35	0.29	.91	2.76	0.73	.77
Visual Spatial Imagery	3.43	0.78	.77	3.86	0.16	.84	3.65	0.10	.83

1 Ursprüngliche Validierungsstudie berichtete 4-Item, 6-Item und 8-Item Variante. Tabelle enthält 4-Item Variante.

2 Für Subskala „Spatial Situation Model“ wurde die 8-Item Variante eingesetzt, für allen anderen die 4-Item Variante.

Im Vergleich zu Experiment 1 fallen vor allem ein höherer Mittelwert für die Skala „Spatial Presence Self Location“ ($M = 3.0$, $SD = 0.3$ vs. $M = 2.6$, $SD = 0.3$) und ein geringerer Mittelwert für die Skala „Suspension of Disbelief“ ($M = 2.6$, $SD = 0.2$ vs. $M = 3.7$, $SD = 0.2$) auf.

8.2.5.5 ITC-Sense of Presence Inventory (ITC-SOPI)

Aus dem Sense of Presence Inventory der Independent Television Commission (Lessiter et al., 2001) wurden dieselben zwei Skalen wie in Experiment 2 verwendet: Die Subskala „Negative Effects“ (6 Items) ergänzt die Skalen des MEC-SPQ um die Möglichkeit, negative Einflüsse der Umgebung auf die Experimentalsituation zu erfassen. Die Skala „Ecological Validity/Naturalness“ (5 Items) erfasst zusammen mit der Perceived Natural Mapping Scale die Natürlichkeit der Umgebung und dient als Manipulationscheck. Die Skalencharakteristiken weisen gute Werte auf (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29. *Skalencharakteristik ITC-SOPI im Vergleich zu Experiment 1*

Subskala	Lessiter et al. (2001) ¹			Experiment 1 ²			Experiment 2 ²		
	<i>N</i> = 604			<i>N</i> = 125			<i>N</i> = 132		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SE</i>	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SE</i>	Cronbachs α
Spatial Presence	-	-	.94	-	-	-	-	-	-
Engagement	-	-	.89	-	-	-	-	-	-
Ecological Validity/ Naturalness	-	-	.76	2.86	.61	.81	2.71	.47	.78
Negative Effects	-	-	.77	1.67	.38	.82	1.58	.37	.76

1 Ursprüngliche Validierungsstudie.

2 Es wurden nur zwei Subskalen eingesetzt.

In beiden Experimenten fallen die Bewertungen in etwa vergleichbar aus.

8.2.5.6 Intrinsic Motivation Inventory (IMI)

Die Subskala „Interest/Enjoyment“ (5 Items) des Intrinsic Motivation Inventory (McAuley et al., 1989; Ryan, R. M., 1982) wurde zur Erfassung der Unterhaltung eingesetzt. Wie auch bereits in Experiment 1 erwies sich die Skala mit $\alpha = .56$ jedoch in dieser Form nicht als akzeptabel. Erneut ließ sich Item 3 („Während des Spiels habe ich darüber nachgedacht, wie sehr es mir gefällt“; $r = .061$) als problematisches Item identifizieren. Item 4 („Das Spiel hat mich nicht sehr interessiert“; $r = .042$) war in Experiment 1 noch gut für die Skala geeignet, erscheint aber in Experiment 2 bedenklich. In Experiment 1 wurde Item 3 ausgeschlossen, für eine optimale Vergleichbarkeit sollte für Experiment 2 dieselbe Skala zum Einsatz kommen. Item 4 wurde daher beibehalten und die Skala aus den verbleibenden drei Items gebildet ($M = 3.53$, $SD = 0.11$, $\alpha = .62$). Der Mittelwert entsprach damit in etwa den Werten aus dem ersten Experiment ($M = 3.74$, $SD = 0.38$).

8.2.5.7 Perceived Natural Mapping Scale (PNMS)

Zur Erfassung der Einschätzung des Natural Mapping wurde dieselbe Skala (11 Items) wie in Experiment 1 eingesetzt (Skalski et al., 2007; Skalski et al., 2011). Die Skala erwies sich erneut als sehr reliabel ($M = 3.90$, $SD = 0.63$, $\alpha = .90$) und vergleichbar zu Experiment 1 ($M = 4.16$, $SD = 0.72$, $\alpha = .90$).

8.2.5.8 Task Adequacy Scale (TAS)

Die in Experiment 1 eingesetzte Task Adequacy Scale (siehe 7.2.4.9) wurde für Experiment 2 erweitert. Da die Items bisher primär auf die Eignung der Steuerung ausgerichtet waren, wurde ein neuer Itempool gebildet und nach Expertenrating fünf zusätzliche Items zur Erfassung der Angemessenheit der Kombination verfügbarer Eingabe-/Ausgabeinformationen zur Skala hinzugefügt. Items 1 bis 5 kamen in Experiment 1 zum Einsatz, Items 6 bis 10 stellen die Erweiterung der Skala für Experiment 2 dar (siehe Tabelle 30). Alle Items wurden mit einer 7-Punkte-Likert-Skala präsentiert.

Tabelle 30. *Experiment 2: Items der Task Adequacy Scale*

Item	Formulierung
1	„Der Controller war sehr gut für das Tischtennis geeignet.“
2 (R)	„Mit dem Controller konnte ich nicht alles so genau steuern, wie ich es wollte.“
3	„Der Controller erschien mir für das Spiel sehr angemessen.“
4	„Ich habe meine Spielziele mit dem Controller sehr gut umsetzen können.“
5 (R)	„Ich hätte mir für die Steuerung des Spiels einen anderen Controller gewünscht.“
6	„Die Aufgabe im Spiel war schwer.“
7	„Die Art und Weise der Darstellung im Spiel erschien mir für die Aufgabe angemessen.“
8	„Die Eingabe- und Anzeigeinformationen waren gut auf die Spielaufgabe abgestimmt.“
9 (R)	„Ich hätte mir eine andere Form für die Darstellung der Spielumgebung gewünscht, um meine Aufgabe besser zu erfüllen.“
10	„Ich kann mir insgesamt keine bessere Kombination von Eingabegeräten und der Art und Weise der Darstellung vorstellen, die für die Spielaufgabe angemessener gewesen wäre.“

Die negativ gepolten Items wurden für die Itemanalyse umcodiert und die Itemkennwerte aus Experiment 2 berechnet (siehe Tabelle 31). Im ersten Experiment wurde Item 2 aufgrund hoher Kurtosis und geringer Korrelationen mit den anderen Items aus der Skala entfernt. Es

wurde der Vollständigkeit halber (und um einen zweiten Test des Items vornehmen zu können) bei Experiment 2 dennoch inkludiert.

Tabelle 31. *Experiment 2: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale*

Item	M	SD	Schiefe	Kurtosis	Itemschwierigkeit
1	5.07	1.69	-0.70***	-0.51	0.72
2 (R)	2.70	2.03	1.01***	-0.33	0.39
3	5.40	1.52	-0.92***	0.07	0.77
4	2.63	1.39	0.94***	0.35	0.38
5 (R)	5.25	1.78	-0.89***	-0.29	0.75
6	4.78	1.60	-0.33	-0.98	0.68
7	5.02	1.42	-0.67*	-0.15	0.72
8	4.46	1.43	-0.19	-0.56	0.64
9 (R)	4.64	1.75	-0.35	-0.84	0.66
10	4.31	1.65	-0.35	-0.88	0.62

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Die Itemschwierigkeit sollte idealerweise zwischen 0.2 und 0.8 liegen (Hartmann & Reinecke, 2013). Alle Items erfüllen diese Empfehlung.

Viele Items, besonders diejenigen aus Experiment 1, weisen eine signifikante Schiefe auf (signifikant linksschief auf $p < .05$ für Item 7, $p < .001$ für Items 1, 3 und 5 sowie signifikant rechtschief auf $p < .001$ für Items 2 und 4). Wie auch in Experiment 1 folgte kein Item einer Normalverteilung (Tabellen siehe Anhang B.4). Da von einer niedrigen Dimensionalität der Skala ausgegangen wird, stellt diese Verletzung der Annahmen der PCA jedoch kein Ausschlusskriterium dar.

Im nächsten Schritt wurde die Dimensionalität der Skala mittels exploratorischer Faktorenanalyse (PCA; Hauptkomponentenanalyse) betrachtet. Da neue Items zur Skala hinzugefügt wurden, konnte keine konfirmatorische Analyse durchgeführt werden.

Items mit Kommunalitäten $h^2 < .5$ (Item 2, Item 4, Item 5 und Item 6) wurden ausgeschlossen. Für die verbleibenden Items deutete das Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = .761$) eine ausreichende Eignung der Stichprobe für die Faktoranalyse an (Field,

2013; Hutcheson & Sofroniou, 1999). Der Bartlett-Test auf Sphärizität zeigt ausreichende Korrelationen zwischen den Items, um eine PCA durchzuführen, $\chi^2(15) = (153,64)$, $p < .001$.

Item 2 und Item 6 zeigten schwache Korrelationen mit den restlichen Items (maximal $r = -.24$ bzw. $r = -.21$). Field (2013) empfiehlt in diesem Fall, betroffene Items auszuschließen, um die Interpretierbarkeit der PCA zu erhöhen. Beide Items wurden dementsprechend entfernt.

Um die Anzahl der zu extrahierenden Faktoren abzuschätzen, existieren verschiedene Verfahren. Dabei kommen das Eigenwertkriterium, die visuelle Inspektion des Scree-Plots, die Parallelanalyse sowie der MAP-Test als heuristische Vorgehensweisen zum Einsatz (Field, 2013; Zwick & Velicer, 1986). Dabei stellen die Parallelanalyse und der MAP-Test die genaueren Verfahren dar.

Die Betrachtung der Eigenwerte offenbarte zwei Faktoren über Kaisers Kriterium mit Eigenwerten > 1 und erklärte damit 67,9 % der Varianz. Der Screeplot zeigte zwei sichtbare Knicke, jeweils nach zwei und drei Faktoren (mit einem Eigenwert knapp unter 1, siehe Abbildung 94). Eine Lösung mit drei Faktoren würde eine Varianzaufklärung von 80 % aufweisen. Die Betrachtung von Eigenwerten und Screeplot sind jedoch problembehaftete Verfahren, da die Anzahl der Komponenten typischerweise überschätzt wird (Zwick & Velicer, 1986). Die Reliabilität der Interpretation von Scree-Plots ist sogar unter Experten niedrig (Streiner, 1998), weshalb zusätzliche Methoden eingesetzt wurden, um die Faktorenzahl korrekt zu bestimmen.

Abbildung 94. Experiment 2: Screeplot PCA Task Adequacy Scale

Ein gutes Verfahren stellt der Minimum-Average-Partial-Test (MAP-Test; Velicer, 1976) dar. Der Test beinhaltet eine vollständige PCA und die Untersuchung von Partialkorrelationsmatrizen. Dazu wird zunächst die erste Hauptkomponente aus den zu untersuchenden Variablen auspartialisiert, wodurch eine Residualmatrix entsteht, die nur noch die Varianzen enthalten, die nicht durch die erste Hauptkomponente erklärbar ist. Daraus wird anschließend die mittlere quadrierte Partialkorrelation gebildet und das Vorgehen für jede weitere Hauptkomponente wiederholt. Schließlich werden die Anzahl der extrahierten Variablen und die dazugehörigen mittleren quadrierten Partialkorrelationen untereinander verglichen. Die finale Anzahl an Faktoren ist jene, deren mittlere quadrierte Partialkorrelationen am geringsten ausfallen, da diese die systematischen Varianzanteile zwischen den Variablen vollständig ausschöpfen (O'Connor, 2000).

Ein weiteres exaktes Verfahren ist die Parallelanalyse (Horn, 1965). Die Analyse prüft, ob sich zu extrahierende Faktoren des Datensatzes signifikant von generierten Zufallsdaten unterscheiden.

Mithilfe des R 2.14-Plugins für SPSS 21 von Courtney (2013) wurden ein MAP-Test und eine Parallelanalyse für die Task Adequacy Scale durchgeführt. Der MAP-Test ergab eine minimale mittlere quadrierte Partialkorrelation von $r = .08$ bei einer Komponente, aber $r = .12$ bei zwei Komponenten. Auf Basis des Vergleichs mit Zufallsdaten (10.000 Fälle, heterogene Korrelationsmatrix), suggerierten die Parallelanalyse sowie weitere in der Analyse inkludierte nicht-grafische Scree-Test-Methoden (Optimal Coordinates, OC; Acceleration Factors, AF) allerdings nur einen Faktor (siehe Abbildung 95).

Der Vergleich mit Paralleldaten zeigte keine signifikante Verbesserung des Models bei zwei Faktoren gegenüber einem Faktor ($p = .567$). Der Acceleration Factor (AF) ist der Punkt im Plot, bei dem die Kurve im Scree-Plot am stärksten einknickt. Die Methode tendiert zum Unterschätzen von Komponenten (Ruscio & Roche, 2012). Die Optimalkoordinaten-Methode (OC) berechnet einen linearen Anstieg auf Basis der Eigenwerte und deren vorangegangener Koordinaten. Wie in Abbildung 95 zu sehen ist, schneidet die Kurve für die Daten der Parallelanalyse nur knapp vor dem zweiten Faktor den Scree-Plot.

Sowohl der MAP-Test als auch die Parallelanalyse sprechen für die Verwendung einer einfaktoriellen Lösung, anstatt zwei Faktoren (Eigenwertkriterium) zu modellieren. Während der MAP-Test genauso wie AF und OC dafür bekannt sind, die Anzahl der Komponenten leicht zu unterschätzen, ist das Eigenwertkriterium dafür bekannt, diese leicht zu überschätzen (Ruscio & Roche, 2012). Der Autor schließt sich den Empfehlungen von Courtney (2013) an, der bei widersprüchlichen Testergebnissen nahe legt, sich im Zweifelsfall für die theoretisch vorhandene Faktorzahl zu entscheiden. Da der Autor davon ausgeht, dass zwei theoretische Faktoren in der Skala verankert sind, wird die zweifaktorielle Lösung präferiert (siehe Anhang B.4).

Abbildung 95. Experiment 2: Erweiterter Screeplot PCA Task Adequacy Scale mit Parallelanalyse-Daten

Um die Interpretierbarkeit der Faktorenlösung zu erleichtern, wurden verschiedene Rotationsmethoden eingesetzt. Die Variablen werden dabei so gedreht, dass sie deutlicher auf einen Faktor laden. Teilweise existieren kontroverse Diskussionen zur Verwendung orthogonaler oder obliquen Rotationen. Field (2013) plädiert dafür, bei einem theoretisch vermuteten Zusammenhang der Variablen/Faktoren oblique Rotation zu verwenden und nur bei unabhängigen Faktoren innerhalb einer Skala orthogonal zu rotieren. Ebenfalls sprechen sich Moosbrugger und Hartig (2002) dafür aus, nur oblique Rotationen anzuwenden, da sich bei unabhängigen Dimensionen automatisch unabhängige Faktoren ergeben. Bühner (2006) und Field (2013) empfehlen daher, zuerst eine oblique Rotation durchzuführen und zu prüfen, wie stark die Faktoren korrelieren. Ist die Korrelation gering, sind die Faktoren unabhängig, was für ein anschließend durchzuführendes orthogonales Rotationsverfahren spricht.

Der Autor geht davon aus, dass die Faktoren zusammenhängen, da diese sich aus Items eines gemeinsamen Itempools zusammensetzen, die sich auf ein gemeinsames (aber komplexes) Phänomen – Angemessenheit der Ein-/Ausgabeinformationen zur gestellten Aufgabe – beziehen. Die extrahierten Faktoren korrelieren untereinander mit $r = .36$. Aus diesem Grund wird eine Promax-Rotation angewendet. Statt der Ausgabe der Faktorladungsmatrix werden eine Mustermatrix und Strukturmatrix berechnet. In der Mustermatrix werden die standardisierten partiellen Regressionsgewichte der Items auf die Faktoren angegeben, die Strukturmatrix enthält die Korrelation der Items mit den Faktoren. Zusätzlich werden die Faktorkorrelationen berichtet.¹⁹

Die zwei Faktoren laden jeweils eindeutig auf drei Items. Von den ursprünglichen 10 Items sind 6 verblieben. Tabelle 32 zeigt die Faktorladungen mit Promax-Rotation.

Tabelle 32. *Experiment 2: Faktorladungen PCA (Proximax-Rotation/ Mustermatrix) der Task Adequacy Scale*

Item	Bezeichnung	Rotierte Faktorladungen	
		Controller Adequacy	Combination Adequacy
1	Der Controller war sehr gut für das Tischtennis geeignet.	.924	
3	Der Controller erschien mir für das Spiel sehr angemessen.	.885	
5 (R)	Ich hätte mir für die Steuerung des Spiels einen anderen Controller gewünscht.	.820	
7	Die Art und Weise der Darstellung im Spiel erschien mir für die Aufgabe angemessen.		.558
9 (R)	Ich hätte mir eine andere Form für die Darstellung der Spielumgebung gewünscht, um meine Aufgabe besser zu erfüllen.		.839
10	Ich kann mir insgesamt keine bessere Kombination von Eingabegeräten und der Art und Weise der Darstellung vorstellen, die für die Spielaufgabe angemessener gewesen wäre		.764

Die drei Items aus Faktor 1 beziehen sich primär auf die Angemessenheit bzw. Eignung der Steuerung bzw. Interaktionsmodalität mit dem System. Der Faktor wird daher als „Angemessenheit der Steuerung“ bzw. „Controller Adequacy“ bezeichnet. Die vier Items aus Faktor 2

¹⁹ Details und statistische Nachweise zur PCA sind in Anhang B.4 zu finden.

beschreiben Aspekte, die die Angemessenheit der Kombination von Aus- und Eingabemodalitäten zur optimalen Umsetzung der gestellten Aufgabe betreffen. Der Faktor wird demzufolge als „Angemessenheit der Kombination von Ein- und Ausgabemodalitäten“ bzw. „Combination Adequacy“ bezeichnet.

Um die identifizierte Faktorstruktur zu validieren, wurde eine interne Split-Sample-Validation (bzw. Kreuzvalidierung) durchgeführt (Überblick z.B. bei Cudeck & Browne, 1983). Dazu wurde das betrachtete Sample in zwei zufällige Gruppen (mit je $N > 50$) geteilt und die letzte Iteration der PCA erneut für beide Teilstichproben durchgeführt. Dabei konnten beide Faktoren inkl. eindeutiger Item-Ladungen nachvollzogen werden.

Mithilfe der ermittelten Faktorstruktur konnten die beiden Subskalen nun hinsichtlich ihrer Reliabilität analysiert werden. Beide Subskalen erwiesen sich mit $\alpha = .84$ für „Controller Adequacy“ bzw. $\alpha = .61$ für „Combination Adequacy“ als hinreichend reliabel. Die Trennschärfekoeffizienten (siehe Tabelle 33 und Tabelle 34) sind ebenfalls adäquat.

Tabelle 33. *Experiment 2: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale Subskala Controller Adequacy*

Item	Bezeichnung	Trennschärfe
1	Der Controller war sehr gut für Tischtennis geeignet	.72
3	Der Controller erschien mir für das Spiel sehr angemessen	.77
5 (R)	Ich hätte mir für die Steuerung des Spiels einen anderen Controller gewünscht	.65

Tabelle 34. *Experiment 2: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale Subskala Combination Adequacy*

Item	Bezeichnung	Trennschärfe
7	Die Art und Weise der Darstellung im Spiel erschien mir für die Aufgabe angemessen.	.47
9 (R)	Ich hätte mir eine andere Form für die Darstellung der Spielumgebung gewünscht, um meine Aufgabe besser zu erfüllen.	.41
10	Ich kann mir insgesamt keine bessere Kombination von Eingabegeräten und der Art und Weise der Darstellung vorstellen, die für die Spielaufgabe angemessener gewesen wäre	.39

Den nächsten Schritt der Skalenkonstruktion stellt eine konfirmatorische Faktoranalyse anhand einer neuen Stichprobe dar. Dies kann nicht im Rahmen dieser Arbeit geschehen, ist für

die zukünftige Forschung aber geplant. Im weiteren Verlauf der Analyse werden entsprechend die beiden hier ermittelten Subskalen zum Einsatz kommen.

8.2.5.9 User Experience Questionnaire (UEQ)

Der User Experience Questionnaire (UEQ) von Laugwitz et al. (2008) wurde entwickelt, um als schnell durchführbares Instrument verschiedene Kriterien des Gesamtkonzepts UX zu erfassen (siehe Kapitel 2). Der UEQ besteht aus 26 Items, die als semantische Differenziale aufgebaut sind und mit einer 7-Punkte-Skala erfasst werden. Er umfasst dabei verschiedene Dimension der User Experience, die wiederum Subkategorien besitzen. Die Items liegen dabei in verschiedenen Sprachen bzw. auch in Deutsch formell und informell vor (siehe Tabelle 35). Der Einsatz der semantischen Differenziale zur Erfassung bei UX ist nicht auf die Evaluation von Websites, Spielen oder Arbeitssoftware limitiert, sondern lässt sich in vielfältigen Kontexten einsetzen (Schrepp, Held & Laugwitz, 2006). Ein ähnliches Instrument, der AttrakDiff2 Fragebogen, legt einen größeren Wert auf hedonische und weniger auf pragmatische Aspekte (Hassenzahl et al., 2003), während das Software Usability Measurement Inventory (SUMI; Kirakowski & Corbett, 1993) emotionale Aspekte kaum berücksichtigt. Der UEQ stellt eine ausgewogene Lösung zur Erfassung emotionaler und pragmatischer Aspekte dar. Der Fragebogen wurde in diversen Studien erfolgreich eingesetzt (z.B. Dicke, Jakus, Tomazic & Sodnik, 2012; Ebner, Stickel, Scerbakov & Holzinger, 2009) und kommt daher in der Version Deutsch/formell auch bei Experiment 2 zum Einsatz.

Tabelle 35. *Experiment 2: Dimensionen des User Experience Questionnaire*

Dimension	Items	Itembezeichnungen	M	SE	Cronbachs α
Attraktivität	6	„unerfreulich – erfreulich“ „gut – schlecht“ (R) „abstoßend – anziehend“ „unangenehm – angenehm“ „Schön – hässlich“ (R) „sympathisch – unsympathisch“ (R)	4.68	0.99	.85
Designqualität: Stimulation	4	„erfrischend – einschläfernd“ (R) „langweilig – spannend“ „uninteressant – interessant“ „abwechslungsfrei – eintönig“ (R)	4.53	0.63	.74
Designqualität: Novelty	4	„kreativ – phantasielos“ (R) „neu – alt“ (R) „veraltet – modern“ „unauffällig – auffällig“	4.76	0.41	.70
Benutzungsqualität: Effizienz	4	„schnell – langsam“ (R) „ineffizient – effizient“ „stockend – flüssig“ „aufgeräumt – überladen“ (R)	4.90	0.69	.59
Benutzungsqualität: Durchschaubarkeit	4	„unverständlich – verständlich“ „leicht zu lernen – schwer zu lernen“ (R) „kompliziert – einfach“ „übersichtlich – verwirrend“ (R)	4.80	0.61	.65
Benutzungsqualität: Verlässlichkeit	4	„unberechenbar – voraussagbar“ „bedienbar – unbedienbar“ (R) „vorhersagbar – unvorhersagbar“ (R) „zuverlässig – unzuverlässig“ (R)	3.88	0.18	.74

Im Rahmen der Reliabilitätsanalyse erwiesen sich die Skalen bis auf die Subskalen „Effizienz“ und „Durchschaubarkeit“ als hinreichend akzeptabel.

8.3 Ergebnisse

Zunächst wurden alle Skalen für abhängige Variablen zur besseren Interpretierbarkeit auf Werte zwischen 0 und 1 normalisiert. Da für die Hypothesenprüfung Kovarianzanalysen berechnet werden sollen, wurden die Skalen auf Verletzungen von Voraussetzungen geprüft (Normalverteilung, Gruppengleichheit, Unabhängigkeit, Varianzhomogenität). Weiterhin wurden Manipulationschecks für die Untersuchungsbedingungen durchgeführt, bevor schließlich die Ergebnisse der Hypothesenprüfung und weitere Befunde berichtet werden.

8.3.1 Prüfung von Voraussetzungen

Eine Voraussetzung für den Einsatz von Varianzanalysen ist, dass die Daten der betrachteten Populationen bzw. die Residuen der Skalen normalverteilt sind. Um dies zu prüfen, wurde in SPSS eine MANOVA aller interessierenden Skalen mit den beiden UV gerechnet und die Residuen der Skalen gespeichert. Anschließend wurde ein KS-Test durchgeführt (siehe Anhang B.5 und Tabelle 36).

Die Residuen innerhalb der vier Gruppen erwiesen sich bei einigen der Skalen als nicht normalverteilt (MEC-SPQ Attention Allocation, MEC-SPQ Spatial Presence/Self Location, MEC-SPQ Visual Spatial Imagery, MEC-SPQ Spatial Situation Model, ITC-SOPI Negative Effects, Task Adequacy Scale Controller Adequacy). Bei den nicht-normalverteilten Skalen-Residuen wurden Schiefe und Kurtosis betrachtet. Bis auf MEC-SPQ Spatial Presence/Self Location wiesen alle eine signifikante Schiefe auf. ITC-SOPI Negative Effects ist zudem noch signifikant platykurtisch, was die Wahrscheinlichkeit von Alpha-Fehlern steigern kann. Eine visuelle Inspektion der Histogramme und Q-Q-Diagramme unterstützte die Einschätzung der Nicht-Normalverteilung. Auch bei Experiment 1 wurde Normalverteilung der Residuen bei einigen Skalen verletzt, was jedoch nicht automatisch zum Ausschluss der Skala für die Analyse bedeutet, da die F-Statistik bei Einhaltung der anderen Voraussetzungen dennoch valide Ergebnisse liefert (Field, 2013; Wilcox, 2005). Die problematischen Skalen werden für die Analyse mit Bedacht eingesetzt.

Der Levene-Test auf Varianzhomogenität für die normalverteilten Skalen zeigte eine signifikante Verletzung für die Game Playing Skill Scale, $F(1, 130) = 4.235, p < .05$ sowie Attention Allocation, $F(1, 130) = 4.031, p < .05$. Hartley's F_{MAX} (Varianzquotient) wurde zusätzlich berechnet, um das Ergebnis des Levene-Tests zu verifizieren (Hartley, 1950). Dazu wird ein Quotient aus der größten Varianz in einer Gruppe mit der kleinsten Varianz in einer Gruppe gebildet und dieser mit den Kennwerten von Kanji (2006) verglichen. Die Werte wurden für die Game Playing Skill Scale ($F_{MAX} = 1.84$) und Attention Allocation ($F_{MAX} = 2.07$) berechnet. Da die ermittelten Werte unter dem Grenzwert (bei 4 Gruppen und 30 Probanden) von $F_{MAX} = 2.61$ liegen, ist die Varianzhomogenität der beiden Skalen trotz eines signifikanten Levene-Tests gewährleistet.

Tabelle 36. *Experiment 2: Test auf Normalverteilung der Residuen (Kolmogorov-Smirnov)*

Skala	<i>D</i>	<i>df</i>	Sig.
Residuen für Game Playing Skill Scale	0.126	132	.000*
Residuen für Perceived Natural Mapping Scale	0.75	132	.069
Residuen für MEC-SPQ Attention Allocation	0.092	132	.008*
Residuen für MEC-SPQ-Spatial Presence/Self Location	0.087	132	.015*
Residuen für MEC-SPQ-Spatial Presence/Possible Actions	0.07	132	.200
Residuen für MEC-SPQ-Higher Cognitive Involvement	0.057	132	.200
Residuen für MEC-SPQ-Suspension of Disbelief	0.063	132	.200
Residuen für MEC-SPQ-Domain Specific Interest	0.069	132	.200
Residuen für MEC-SPQ-Visual Spatial Imagery	0.123	132	.000*
Residuen für MEC-SPQ-Spatial Situation Model	0.099	132	.003*
Residuen für IMI-Interest/Enjoyment	0.055	132	.200
Residuen für ITC-SOPI-Negative Effects	0.152	132	.000*
Residuen für ITC-SOPI-Naturalness/Ecological Validity	0.052	132	.200
Residuen für UEQ Attractivity	0.058	132	.200
Residuen für UEQ Stimulation	0.07	132	.200
Residuen für UEQ Novelty	0.073	132	.085
Residuen für UEQ Efficiency	0.124	132	.000*
Residuen für UEQ Durchschaubarkeit	0.052	132	.200
Residuen für UEQ Verlässlichkeit	0.053	132	.200
Residuen für Tischtenniswissen	0.076	132	.057
Residuen für TAS Controller Adequacy	0.128	83	.002*
Residuen für TAS Combination Adequacy	0.078	83	.200

Mittels non-parametrischen Levene-Test (Nordstokke & Zumbo, 2010) wurde verifiziert, dass alle nicht-normalverteilten Skalen Varianzhomogenität aufweisen. Eine logarithmische Transformation der Skalen hätte zur Folge, dass die Varianzhomogenität bei allen Skalen gegeben wäre. Transformierte Daten sind jedoch schwerer interpretierbar, da sich unter anderem auch die getesteten Hypothesen ändern: Es werden nicht mehr arithmetische Mittelwerte, sondern geometrische verglichen. Weiterhin ist es ohne Rücktransformationen nicht mehr möglich, die Skalen mit Experiment 1 in Verbindung zu bringen. Da für die Prüfung des Pfadmodells Daten beider Experimente betrachtet werden, sollten die Skalen identisch sein. Aus

diesem Grund entschied sich der Autor, weiterhin mit nicht-transformierten Daten zu arbeiten, und die problematischen Skalen bei der Hypothesentestung auszuschließen.

8.3.2 Manipulationscheck

Wie auch bei Experiment 1 wurde mithilfe der Skala ITC-SOPI Naturalness/ Ecological Validity sowie einem Test-Item („Die stereoskopische 3D-Darstellung im Spiel war deutlich erkennbar“) die Wirksamkeit der stereoskopischen Darstellung geprüft.

Die Prüfung wurde mittels univariater Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Der Einsatz von stereoskopischer Darstellung führte zu einer deutlichen Steigerung der wahrgenommenen Natürlichkeit ($M = 0.47$, $SD = 0.19$ vs. $M = 0.38$, $SD = 0.19$), $F(1, 128) = 6.416$, $p < .05$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.05$. Sie wurde auch deutlich durch das Test-Item erkannt, $F(1, 128) = 11.738$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.08$. Die Perspektive (statisch vs. dynamisch) hatte keine Auswirkungen auf die wahrgenommene Natürlichkeit der Darstellung. Das ist nicht verwunderlich, da jeder 3D-Fernseher so funktioniert und die Probanden möglicherweise daran gewöhnt sind.

Während die ITC-SOPI-Skala für Naturalness primär auf die visuelle Darstellung gerichtet ist, erlaubt die Natural Mapping Scale Rückschlüsse auf die Wahrnehmung der Eingabegeräte für die Interaktion. Obwohl in allen Versuchsbedingungen derselbe Tischtennisschläger eingesetzt wurde, zeigten sich Haupteffekte für beide UV: Sowohl Perspektive, $F(1, 128) = 9.319$, $p < .005$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.07$, als auch Stereoskopie zeigen positive Effekte, $F(1, 128) = 10.928$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{part}} = 0.08$. Nutzer mit dynamischer Perspektive ($M = 0.85$, $SD = 0.34$) bewerten das Natural Mapping besser als Nutzer mit statischer Perspektive ($M = 0.69$, $SD = 0.28$). Ebenso bewerten Nutzer mit stereoskopischer Darstellung ($M = 0.85$, $SD = 0.32$) das NM höher als Nutzer mit monoskopischer Darstellung ($M = 0.68$, $SD = 0.30$). Die höchste Bewertung nehmen Nutzer in der Gruppe mit dynamische Perspektive und stereoskopischer Präsentation vor ($M = 0.97$, $SD = 0.28$). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass neben dem eingesetzten Eingabegerät beide UV einen zusätzlichen Anteil an der wahrgenommenen Natürlichkeit der Eingabe haben und diese verbessern. Der Autor deutet dies als einen Erfolg der Manipulation des Spatial Mapping im Experiment.

Die Trefferquote wurde entsprechend der Vorstudie als Schwierigkeitsindikator angenommen. Die Anzahl erreichter Punkte wurde als Leistungsindikator betrachtet. Die in der Vorstudie angesetzte Rückspielquote liegt bei 0.75. Eine ANOVA wurde durchgeführt, um die Verteilung in den vier Experimentalbedingungen zu prüfen. Dabei wurde kein Effekt für S3D, $F(1, 127) = 2.508$, n.s. oder Perspektive gefunden, $F(1, 127) = 3.766$, n.s.

Die Mittelwerte für die vier Präsentationsbedingungen lagen jeweils innerhalb einer Standardabweichung von 0.75: $M = 0.79$, $SD = 0.17$ (mono/statisch), $M = 0.74$, $SD = 0.14$ (mono/dynamisch), $M = 0.73$, $SD = 0.13$ (stereo/statisch) und $M = 0.88$, $SD = 0.13$ (stereo/dynamisch) und unterschieden sich nicht signifikant.

Parallel wurde das Item „Die Aufgabe im Spiel war schwer“ der Task Adequacy „Combination Adequacy“ Scale untersucht. Auch hier gab es keine Unterschiede für S3D, $F(1, 79) = 1.639$, n.s. oder Perspektive, $F(1, 79) = 0.571$, n.s.

Die Schwierigkeit konnte also erfolgreich über alle vier Bedingungen hinweg parallelisiert werden.

8.3.3 Hypothesenprüfung: ANOVA

Bei der Hypothesenprüfung wurden zunächst alle direkten Effekte bzw. Pfade des Modells geprüft (siehe Abbildung 96). Dazu wurden separate Kovarianzanalysen (ANCOVA) mit den beiden Untersuchungsfaktoren berechnet.

Es wurden folgende Hypothesen geprüft:

H_{1A}: Kameraperspektive ist relevant für die Aufgabe der Nutzer.

H_{1B}: Stereoskopische Darstellung ist relevant für die Aufgabe der Nutzer.

H_{2Ad}: Kameraperspektive hat einen direkten positiven Effekt auf Unterhaltung.

H_{2Bd}: Stereoskopische Darstellung hat einen direkten positiven Effekt auf Unterhaltung.

H_{3Ad}: Kameraperspektive hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.

H_{3Bd}: Stereoskopische Darstellung hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.

H_{4Ad} : Kameraperspektive hat keinen direkten Effekt auf Unterhaltung.

H_{4Bd} : Stereoskopische Darstellung hat keinen direkten Effekt auf Unterhaltung.

H_{5Ad} : Kameraperspektive hat einen direkten positiven Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.

H_{5Bd} : Stereoskopische Darstellung hat einen direkten positiven Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.

Abbildung 96. Experiment 2: Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell

8.3.3.1 Task Adequacy

Zur Prüfung von Hypothese H_{1A} und H_{1B} wurde eine ANCOVA mit den beiden UV und Task Adequacy gerechnet. Als mögliche Kovariaten wurden eine Reihe von Variablen zunächst mit

einzelnen ANOVAs auf Unabhängigkeit zur Zielvariablen geprüft (siehe Tabelle 37). Dies bedeutet nicht, dass automatisch sämtliche Variablen als Kovariaten eingesetzt wurden. Bei jeder ANOVA werden nur die theoretisch begründeten Kovariaten betrachtet.

Bis auf die Erfahrung mit Tennis-Videospielen zeigten sich alle geprüften Kovariaten als unabhängig zu den beiden Untersuchungsfaktoren und können deshalb bei der ANCOVA zum Einsatz kommen. Zwischen den Gruppen zeigten alle Skalen homogene Regressionsgeraden.

Tabelle 37. *Experiment 2: Prüfung der Unabhängigkeit von potenziellen Kovariaten (ANOVA)*

Variable	UV-A (Perspektive)	UV-B (S3D)
1 Alter	$F(1, 128) = 3.37, n.s.$	$F(1, 128) = 1.12, n.s.$
2 Geschlecht	$F(1, 128) = 0.01, n.s.$	$F(1, 128) = 1.17, n.s.$
3 Erfahrung Wii-Controller	$F(1, 128) = 0.06, n.s.$	$F(1, 128) = 1.16, n.s.$
4 Erfahrung Tennis-Spiele	$F(1, 128) = 0.01, n.s.$	$F(1, 128) = 7.07, p < .001, \eta^2_{part} = 0.05$
5 Spielpraxis Tischtennis	$F(1, 128) = 0.01, n.s.$	$F(1, 128) = 2.00, n.s.$
6 Spielwissen Tischtennis	$F(1, 128) = 0.18, n.s.$	$F(1, 128) = 1.52, n.s.$
7 Game Playing Skill Scale	$F(1, 128) = 0.06, n.s.$	$F(1, 128) = 3.91, n.s.$
8 S3D-Erfahrung: Kino	$F(1, 128) = 0.24, n.s.$	$F(1, 128) = 0.84, n.s.$
9 Performance: Errungene Punkte	$F(1, 128) = 0.13, n.s.$	$F(1, 128) = 2.07, n.s.$
10 MEC-SPQ Domain Specific Interest	$F(1, 128) = 1.43, n.s.$	$F(1, 128) = 1.77, n.s.$
11 MEC-SPQ Visual Spatial Imagery	$F(1, 128) = 0.42, n.s.$	$F(1, 128) = 0.17, n.s.$

Die Task Adequacy umfasst für Experiment 2 die beiden Subskalen „Controller Adequacy“ und „Combination Adequacy“. Ohne Kovariaten ist ein signifikanter Einfluss von UV-B (S3D) auf „Controller Adequacy“, $F(1, 128) = 4.48, p < .05, \eta^2_{part} = 0.03$ erkennbar, nicht jedoch auf „Combination Adequacy“, $F(1, 128) = 0.206, n.s.$ UV-A (Perspektive) hatte keinen Einfluss auf beide Subskalen. Es lagen auch keine Interaktionseffekte für „Controller Adequacy“, $F(1, 128) = 2.9, n.s.$, oder „Combination Adequacy“ vor, $F(1, 128) = 1.5, n.s.$

Als relevante Kovariate wurde die Spielpraxis Tischtennis betrachtet. Diese hatte jedoch keinen signifikanten Effekt in der ANCOVA und wurde daher ausgeschlossen, $F(1, 127) = 0.794, n.s.$ Der Einfluss von S3D auf die „Controller Adequacy“ blieb erhalten, $F(1, 127) = 4.88, p < .05, \eta^2_{part} = 0.04$. Nutzer mit stereoskopischer Darstellung bewerteten die Controller Adequacy als höher ($M = 0.75, SD = 0.22$) als Nutzer mit monoskopischer Darstellung ($M =$

0.66, $SD = 0.26$). Es konnte auch bei der ANCOVA kein Einfluss durch die Perspektive oder Interaktionseffekte der beiden UV gefunden werden.

Geplante Kontraste zeigen, dass der Haupteffekt von S3D auf einen signifikanten Unterschied der stereoskopischen Präsentation innerhalb der dynamischen Perspektive zurückzuführen ist, $F(1, 127) = 8.063, p < .005, \eta^2_{\text{part}} = 0.06$. Nutzer mit dynamischer Perspektive und stereoskopischer Darstellung zeigten eine höhere Bewertung der Task Adequacy ($M = 0.79, SE = 0.04$) als Nutzer ohne Stereoskopie ($M = 0.71, SE = 0.04$).

8.3.3.2 Unterhaltung

Hypothese H_{2Ad} und H_{2Bd} gehen von positiven Haupteffekten auf Unterhaltung aus. Eine ANOVA zeigte einen Effekt für UV-B (S3D), $F(1, 128) = 6.578, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = .05$, jedoch keinen Effekt für UV-A (Perspektive), $F(1, 128) = 0.875, n.s.$ Ein Interaktionseffekt lag nicht vor, $F(1, 128) = 1.482, n.s.$

Für die ANCOVA wurden „Domain Specific Interest“, „Game Playing Skill Scale“ sowie Performance (Gesamtpunktzahl) und reale Tischtenniserfahrung als Kovariaten im Modell berücksichtigt. Einzig die Gesamtpunktzahl hatte einen signifikanten Einfluss auf die Haupteffekte, $F(1, 123) = 5.407, p < .05, \eta^2_{\text{part}} = 0.04$. Der Haupteffekt für Stereoskopie blieb erhalten, $F(1, 123) = 8.548, p < .001, \eta^2_{\text{part}} = 0.07$.

Geplante Kontraste zeigten, dass der Haupteffekt von S3D auf einen signifikanten Unterschied der stereoskopischen Präsentation innerhalb der dynamischen Perspektive zurückzuführen ist, $F(1, 127) = 8.835, p < .005, \eta^2_{\text{part}} = 0.07$. Nutzer mit dynamischer Perspektive und stereoskopischer Darstellung zeigten eine höhere Unterhaltung ($M = 0.72, SE = 0.04$) als Nutzer ohne Stereoskopie ($M = 0.65, SE = 0.04$).

Die Prüfung von Unterhaltung ist in zweierlei Hinsicht relevant: Zum einen wurde in der Vorstudie der Schwierigkeitsgrad auf Basis durchschnittlicher Trefferquoten vereinheitlicht, um Frustration aufgrund ungleicher Schwierigkeitsgrade zu vermeiden und damit gleiche Ausgangspositionen für die Unterhaltungserfassung zu liefern. Da diese Parallelisierung erfolgreich war, sind die Unterhaltungsunterschiede bei stereoskopischer Darstellung tatsächlich

auf die Anzeigemodalität zurückführbar: Nutzer mit monoskopischer Darstellung zeigten geringere Unterhaltungswerte ($M = 0.58$, $SD = 0.22$) als Nutzer mit stereoskopischer Darstellung ($M = 0.68$, $SD = 0.22$).

8.3.3.3 Spatial Presence

Das Hypothesenpaar H_{3Ad} und H_{3Bd} geht davon aus, dass Haupteffekte für Spatial Presence vorliegen. Erneut wurden eine ANOVA und anschließend eine ANCOVA gerechnet. Die ANOVA offenbarte einen positiven Einfluss der stereoskopischen Darstellung auf Spatial Presence, $F(1, 128) = 14.274$, $p < .001$, $\eta^2_{part} = 0.1$. Es zeigte sich kein Effekt für die Perspektive, $F(1, 128) = 1.568$, n.s.

Für die ANOVA wurde „Visual Spatial Imagery“ als Kovariate angenommen, jedoch hatte diese Variable keinen signifikanten Einfluss auf das Modell, $F(1, 127) = 1.082$, n.s. Der Haupteffekt für Stereoskopie blieb bestehen, $F(1, 127) = 13.984$, $p < .001$, $\eta^2_{part} = 0.1$.

Kontraste zeigten, dass sich der Haupteffekt von S3D innerhalb beider Perspektiven-Varianten (statisch vs. dynamisch) wieder fand. In beiden Gruppen hatten Nutzer mit stereoskopischer Darstellung eine höhere Spatial-Presence-Wertung ($M_{statisch} = 0.53$, $SE = 0.04$; $M_{dynamisch} = 0.60$, $SE = 0.04$) als Nutzer mit monoskopischer Darstellung ($M_{statisch} = 0.42$, $SE = 0.04$; $M_{dynamisch} = 0.44$, $SE = 0.04$).

8.3.3.4 Performance

Da die Schwierigkeit in allen Gruppen parallelisiert wurde und dazu in der Vorstudie die Schwierigkeit (Rückspielquote von 75 %) als Grundlage herangezogen wurden, sollte sich die Leistung der Probanden über alle Gruppen hinweg nicht signifikant unterscheiden (H_{4Ad} und H_{4Bd}).

Die Rückspielquote und die tatsächlich erreichte Punktzahl korrelieren wie erwartet hoch (Pearson $r = .46$, $p < .001$), da beide Variablen verschiedene Leistungsindikatoren darstellen und das Erzielen eines Punkts prinzipiell voraussetzt, dass der Ball erfolgreich zurückgespielt wird. Dennoch ist die Rückspielquote eher als genereller Schwierigkeitsgrad zu interpretieren, der im Vorfeld parallelisiert wurde (ca. 75 % Rückspielquote). Dies wird durch den Fakt gestützt, dass die Rückspielquote nicht mit der realen Tischtennispraxis (Pearson $r = .05$) oder dem Tischtenniswissen (Pearson $r = -.03$) korreliert.

Das tatsächliche Erzielen eines Punkts erforderte jedoch mehr Geschick, da der Computergegner die gespielten Bälle erneut souverän zurückschlägt, wenn der Spieler nicht konkret versucht, ihn mit Spielmanövern und unterschiedlichen Ballwechseln zu überlisten. Die Gesamtpunktzahl stellt daher ein gutes Maß der eigentlichen Spielleistung dar und korreliert mit der subjektiven, realen Tischtennispraxis (Pearson $r = .2$, $p < .05$), jedoch nicht mit dem Tischtenniswissen.

Für die Analyse der Performance wurde entsprechend eine ANCOVA für die erreichte Punktzahl gerechnet. Als Kovariaten wurden die „Game Playing Skill Scale“, die reale Tischtennis-Erfahrung, „Domain Specific Interest“ und das theoretische Tischtenniswissen angenommen. Einzig die reale Tischtennis-Erfahrung zeigte einen signifikanten Einfluss, $F(1, 119) = 4.273$, $p < .05$. Es konnte kein signifikanter Unterschied für UV-A (Perspektive), $F(1, 119) = 0.774$, n.s. oder UV-B (Präsentationsmodus), $F(1, 119) = 0.331$, n.s. gefunden werden. Es lag auch kein Interaktionseffekt vor.

Die Überprüfung von Simple Effects mittels Post-Hoc-Tests zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (siehe Anhang B.4)

Im nächsten Schritt wurde ein Äquivalenztest durchgeführt, um die Hypothesen zu prüfen. Für den Test wird entsprechend der Referenztabellen (Weber & Popova, 2012, S. 197) ein durchschnittlicher Wert von $r = .134$ angenommen.²⁰

Der Äquivalenztest für UV-A und erreichter Punktzahl ist mit der verwendeten minimalen Effektgröße nicht signifikant, $t(125) = -0.97$, $\Delta = .134$, $p_{eq} = .403$ (zwei-seitig), jedoch mit $\Delta = 0.29$ (zwischen 50. und 75. Perzentil aus Weber und Popov's Übersichtstabelle für „Media“ Meta-Analysen, $t(125) = -0.97$, $\Delta = .29$, $p_{eq} = .043$ (zwei-seitig)).

Gleichermaßen erwies sich der Äquivalenztest für UV-B und erreichter Punktzahl mit der minimalen Effektgröße als nicht signifikant, $t(125) = 0.95$, $\Delta = .134$, $p_{eq} = .394$ (zwei-seitig). Erneut kann eine Äquivalenz der Gruppen nur bei einer mittleren Effektstärke von $\Delta = .29$ angenommen werden, $t(125) = 0.95$, $\Delta = .29$, $p_{eq} = .041$ (zwei-seitig).

²⁰ Für Details zum Testen von Äquivalenz siehe Methodenbetrachtung für Experiment 1 in Kapitel 7.

Die Hypothesen H_{4Ad} und H_{4Bd} können mithilfe der Äquivalenztests nicht formal bestätigt werden, ohne einen mindestens mittleren Effekt anzunehmen. Zur sicheren Überprüfung für kleinere Effekte müsste eine größere Stichprobe herangezogen werden.

8.3.3.5 Spatial Situation Model

Zum Einfluss der UV auf die Qualität des Spatial Situation Models wurde zunächst eine ANOVA berechnet. Dabei konnte kein signifikanter Einfluss von UV-A (Perspektive), $F(1, 128) = 0.031$, n.s. oder UV-B (S3D) gefunden werden, $F(1, 128) = 0.11$, n.s.

Als relevante Kovariaten wurden analog zu Experiment 1 „Visual Spatial Imagery“, „Domain Specific Interest“ und reale Tischtennis-Erfahrung angenommen. Keine der Kovariaten zeigte einen signifikanten Einfluss auf das Modell, und weder Haupteffekte noch Interaktionseffekt der ANCOVA waren statistisch bedeutsam.

8.3.4 Hypothesenprüfung: Pfadanalyse

Zur Prüfung der indirekten Pfade wurde eine Pfadanalyse mittels SPSS und AMOS durchgeführt. Zusätzlich umfasst die PA auch direkte Pfade, die bereits mithilfe von Kovarianzanalysen betrachtet wurden. Die interessierenden indirekten Pfade sind in Abbildung 97 dargestellt. Die in Experiment 1 ermittelten neuen Pfade werden mit H_6 (Performance → Unterhaltung) und H_7 (Spatial Presence → Unterhaltung) geprüft.

Abbildung 97. Experiment 2: Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell

Wie auch bei Experiment 1 kommt eine vereinfachte Strukturgleichungsanalyse ohne Messmodell in Form einer Pfadanalyse zum Einsatz (siehe 7.3.4). Für jede endogene Variable wird eine Regressionsgleichung bzw. Strukturgleichung formuliert, um die Pfadkoeffizienten zu ermitteln. Die vollständigen Pfadkoeffizienten sind in Abbildung 98 dargestellt.

Für die endogenen Variablen ergibt sich daraus folgendes Gleichungssystem:

$$y_1 = p_{y1,x1}x_1 + p_{y1,x2}x_2 + e_1 \quad (14)$$

$$y_2 = p_{y2,y1}y_1 + p_{y2,x1}x_1 + p_{y2,x2}x_2 + e_2 \quad (15)$$

$$y_3 = p_{y3,y2}y_2 + p_{y3,x1}x_1 + p_{y3,x2}x_2 + e_3 \quad (16)$$

$$y_4 = p_{y4,y2}y_2 + p_{y4,x1}x_1 + p_{y4,x2}x_2 + e_4 \quad (17)$$

$$y_5 = p_{y5,y1}y_1 + p_{y5,y3}y_3 + p_{y5,y4}y_4 + p_{y5,x1}x_1 + p_{y5,x2}x_2 + e_5 \quad (18)$$

Abbildung 98. Experiment 2: Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell

Als Dateninput für die Pfadanalyse dient die Korrelationsmatrix der betrachteten Variablen (Tabelle 38)

Tabelle 38. *Experiment 2: Korrelationsmatrix der exogenen und endogenen Variablen (N = 132)*

	y₁	y₂	y₃	y₄	y₅	x₁	x₂
y₁:TAS	1						
y₂:SSM	0.211	1					
y₃:SP	0.253	0.513	1				
y₄:PERF	-0.031	0.171	0.09	1			
y₅:ENJ	0.225	0.322	0.545	0.26	1		
x₁:HT	0.031	0.099	0.109	0.087	0.08	1	
x₂:S3D	0.174	0.059	0.319	-0.084	0.218	-0.008	1

Die Daten werden für die Pfadberechnung in Form einer multiplen Regression pro Gleichung eingesetzt. Da die Pfadanalyse standardisierte Variablen betrachtet, sind die standardisierten (β) und nicht standardisierten Regressionskoeffizienten (B) identisch. Zudem ist der konstante Term der Regressionsgleichung jeweils Null, sodass die standardisierten partiellen Regressionskoeffizienten die Pfadkoeffizienten für das Kausalmodell liefern.

Die Regressionen wurden mithilfe von SPSS durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Modellierung und Prüfung mittels AMOS. Die Voraussetzungen für Regressionen wurden erfüllt (keine Nullvarianzen, keine Multikollinearität; $\overline{VIF} = 1.04$; Homoskedastizität, keine Autokorrelationen; Unabhängigkeit, Linearität).

Die Ergebnisse der multiplen Regressionen für y_1 bis y_5 sind in Tabelle 39 ausgeführt.²¹ Die Koeffizienten der Störgrößen e_1 bis e_5 werden mithilfe des Bestimmtheitsmaßes R^2 (Anteil der durch die Regression erklärten Varianz) berechnet (Bortz & Schuster, 2010, S. 447).

²¹ Detaillierte SPSS-Ausgaben sind im Anhang B.4 zu finden.

$$P_{y1,e1} = (1 - R^2_{y1})^{1/2} = 0.980 \quad (19)$$

$$P_{y2,e2} = (1 - R^2_{y2})^{1/2} = 0.975 \quad (20)$$

$$P_{y3,e3} = (1 - R^2_{y3})^{1/2} = 0.964 \quad (21)$$

$$P_{y4,e4} = (1 - R^2_{y4})^{1/2} = 0.806 \quad (22)$$

$$P_{y5,e5} = (1 - R^2_{y5})^{1/2} = 0.812 \quad (23)$$

Tabelle 39. *Experiment 2: Ergebnisse der multiplen Regressionen für die Strukturgleichungen*

	<i>B</i> = β	<i>SE B</i>	95 % K.I.	<i>R</i> ²
y₁:TAS				0.03
x ₁ :HT	0.032	0.09	-0.139; 0.204	
x ₂ :S3D	0.174*	0.09	0.003; 0.346	
y₂:SSM				0.05
y ₁ :TAS	0.204*	0.09	0.021; 0.377	
x ₁ :HT	0.093	0.09	-0.077; 0.263	
x ₂ :S3D	0.024	0.09	-0.149; 0.197	
y₃:SP				0.35
y ₂ :SSM	0.490***	0.07	0.348; 0.632	
x ₁ :HT	0.063	0.07	-0.079; 0.204	
x ₂ :S3D	0.291***	0.07	0.149; 0.432	
y₄:PERF				0.04
y ₂ :SSM	0.170	0.09	-0.003; 0.342	
x ₁ :HT	0.069	0.09	-0.103; 0.241	
x ₂ :S3D	-0.093	0.09	-0.265; 0.078	
y₅:ENJ				0.36
y ₁ :TAS	0.099	0.07	-0.048; 0.246	
y ₃ :SP	0.477***	0.08	0.323; 0.632	
y ₁₄ :PERF	0.225***	0.07	0.082; 0.369	
x ₁ :HT	0.006	0.07	-0.137; 0.149	
x ₂ :S3D	0.067	0.08	-0.084; 0.219	

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$; K.I. = Konfidenzintervall

Bei den Analysen ist die erklärte Varianz für y_1 , y_2 und y_3 sehr gering und damit problematisch. Die Überprüfung dieser Rechnung mit AMOS bestätigte die Ergebnisse der Pfadkoeffizienten (siehe Abbildung 99).

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Abbildung 99. Experiment 2: Pfaddiagramm mit Pfadkoeffizienten

Zur Berechnung der Modellgüte wurden gängige Fit-Indices auf Basis der Residualkovarianzmatrix der empirischen und implizierten Varianzen des Pfadmodells in AMOS berechnet. Das Modell erreicht insgesamt einen guten Fit ($\chi^2 = 2.737$, $df = 12$, $p = .997$, $\chi^2/df = 0.29$, $RMSEA =$

0.000).²² Die beiden zusätzlich eingefügten Pfade nach Experiment 1 tragen maßgeblich zum Fit bei. Zur besseren Anschaulichkeit wird das Modell in Abbildung 100 noch einmal in reduzierter Form dargestellt.

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Abbildung 100. Experiment 2: vereinfachtes Pfadmodell

Es ist deutlich erkennbar, dass die Perspektive keinen signifikanten Einfluss auf die interessierenden Variablen im Pfadmodell hat. Diese Schlussfolgerung wird durch die nicht signifikanten Effekte der Kovarianzanalysen gestützt.

²² Die vollständigen Ausgabedaten von AMOS finden sich im digitalen Anhang B.4

Durch die Entfernung nicht signifikanter Pfade würde die Qualität des Pfadmodells zwar gesteigert werden, allerdings nur in geringem Maße.²³

Die Pfadkoeffizienten für y_1 umfassen zwei direkte Pfade der exogenen Variablen auf Task Adequacy. Für die Perspektive ist kein signifikanter Effekt zu finden, während die Daten einen kleinen Effekt für Stereoskopie nahe legen ($r_{S3D \rightarrow TAS} = .17$). Dieser Effekt wurde auch mittels ANCOVA gefunden.

Für die Regressionsgleichung y_2 wurde ein signifikanter Pfad von Task Adequacy zu SSM gefunden ($r_{TAS \rightarrow SSM} = .20$). Beide Pfade der unabhängigen Variablen erwiesen sich als unbedeutend. Die indirekten Effekte von Perspektive ($r_{HT \rightarrow TAS \rightarrow SSM} = .02$) und Stereoskopie ($r_{S3D \rightarrow TAS \rightarrow SSM} = .03$) ergeben sich aus der Multiplikation der entsprechenden Pfadkoeffizienten, beide fallen verschwindend gering aus. Die Varianz innerhalb der Task-Adequacy-Einschätzung ist dementsprechend kein relevanter Prädiktor für die Qualität des SSM. Genauso wenig führen jedoch die Manipulationen von Perspektive und Stereoskopie zu einer signifikanten Änderung der Qualität des SSM.

Die Regressionsgleichung y_3 lieferte drei signifikante Pfade für Spatial Presence. Stereoskopie hatte einen direkten Einfluss ($r_{S3D \rightarrow SP} = .29$). Der Pfad von Spatial Situation Model zu Spatial Presence zeigte sich ebenfalls relevant, was erneut für die Struktur des MEC-Modells spricht ($r_{SSM \rightarrow SP} = .49$). Indirekte Effekte für Perspektive ($r_{HT \rightarrow \dots \rightarrow SP} = .05$) oder Stereoskopie ($r_{S3D \rightarrow \dots \rightarrow SP} = .03$) sind zu gering für eine sinnvolle Interpretation.

In der Regression zu y_4 existieren keine signifikanten Pfade auf Performance. Indirekte Effekte von Stereoskopie ($r_{S3D \rightarrow \dots \rightarrow PERF} = .03$) oder Perspektive ($r_{HT \rightarrow \dots \rightarrow PERF} = .02$) auf Performance sind allerdings erneut zu gering für eine sinnvolle Interpretation.

Für die Regressionsgleichung y_5 liefern zwei von fünf Pfaden signifikante Pfadkoeffizienten. Der in Experiment 1 identifizierte Einfluss von Spatial Presence auf die Unterhaltung konnte

²³ Mithilfe von AMOS wurde eine minimale Modellspezifikation geprüft, die nur Stereoskopie und die indirekten Pfade enthält. Das Minimal-Modell zeigt einen guten Fit ($\chi^2 = 6,377$; $df = 13$; $p = ,931$, $\chi^2/df = 0,491$; RMSEA = 0,000), die Pfadkoeffizienten unterscheiden sich nur unwesentlich. Das Modell erlaubt zudem keine zusätzlichen Aussagen zu treffen, weshalb bei der Diskussion die vollständige Modellvariante herangezogen wird.

repliziert werden ($r_{SP \rightarrow ENJ} = .16$). Dieser fiel jedoch wesentlich geringer aus als im ersten Experiment. Den zweiten relevanten Pfad lieferte erwartungsgemäß Performance ($r_{PERF \rightarrow ENJ} = .26$) als primärer Prädiktor für Unterhaltung. Der die direkten Pfade von Perspektive ($r_{HT \rightarrow ENJ} = .01$) und Stereoskopie ($r_{S3D \rightarrow ENJ} = .07$) waren nicht signifikant. Die betrachteten indirekten Effekte von Perspektive ($r = .02$) und Stereoskopie ($r = .01$) auf Unterhaltung sind zu vernachlässigen.

8.4 Diskussion

Für die Diskussion werden zunächst die Hypothesen zu den direkten und indirekten Pfaden des Modells zusammengefasst. Der Hauptteil der Ergebnisdiskussion entfällt auf die User Experience (Task Adequacy, Spatial Situation Model, Spatial Presence und Unterhaltung), die im Fokus der Hypothesen für Experiment 2 stand. Zusätzlich werden Fragen der Task Performance diskutiert und mit UX in Verbindung gebracht. Schließlich werden die Modellgültigkeit und kritische Aspekte der Studie beleuchtet.

8.4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse zu direkten und indirekten Pfaden

Die vermuteten positiven Effekte der perspektivischen Darstellung waren nicht nachweisbar. Entweder ist der Effekt so gering, dass er mit der Stichprobe nicht nachgewiesen werden konnte, oder es existiert tatsächlich kein Effekt. Analog zur Betrachtung praxisrelevanter Effekte in Experiment 1 kann aber davon ausgegangen werden, dass der Einfluss tatsächlich so gering sein muss, dass andere Komponenten des Setups wesentlich relevanter für die betrachteten Variablen sind. Die Perspektive stellt diesbezüglich nur einen kleinen Teil des Spatial Mapping dar, Stereoskopie hatte im Experiment einen größeren Einfluss. Es konnte der hypothetische positive Einfluss von Stereoskopie auf die Relevanzbewertung des Spatial Mapping, Unterhaltung und Spatial Presence gefunden werden. Eine signifikante Verbesserung des SSM war durch Stereoskopie hingegen dennoch nicht nachweisbar. Auch hier liegt der Vermutung nahe, dass der Effekt zu gering ist und mit dem vorliegenden Experimentaldesign nicht auffindbar war. Durch die Parallelisierung der Schwierigkeit wurde vermutet, dass weder Perspektive noch Stereoskopie einen Einfluss auf die Spielleistung haben würden. Äquivalenztests konnten diese Vermutung zumindest für kleine bis mittlere Effekte ausschließen.

Der mittels ANCOVA ermittelte Effekt von Stereoskopie auf Unterhaltung zeigte sich im Pfadmodell nicht. Abbildung 101 fasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfung der direkten Pfade im Modell grafisch zusammen.

Abbildung 101. Experiment 2: Ergebnisse der Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell

Die Pfadanalyse ermöglichte eine Betrachtung der indirekten Effekte. Diese fallen insgesamt sehr niedrig aus und sind zu klein für eine sinnvolle Interpretation. Im Experiment wurden positive indirekte Effekte auf die interessierenden Variablen angenommen, die sich jedoch empirisch nicht verlässlich gezeigt haben. Entsprechend müssen alle Hypothesen zu indirekten Effekten abgelehnt werden. Abbildung 102 fasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfung der indirekten Pfade im Modell grafisch zusammen.

Abbildung 102. Experiment 2: Ergebnisse der Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell

8.4.2 Effekte auf User Experience

In Experiment 2 spielten Nutzer in einem Virtual-Reality-Setup eine Tischtennissimulation. Das Szenario stellt dabei ein hohes Maß an Spatial Mapping dar, da einerseits ein hohes Natural Mapping des Eingabegeräts (echter Tischtennisschläger mit Tracking-Targets) gewährleistet war, und andererseits die Darstellung und der Eingaberaum 1:1 mit realen Maßen übereinstimmten. Die Probanden befanden sich eine halbe Tischlänge vor der Leinwand, in deren Ebene das Netz gespannt war und konnten sich frei um den virtuellen Tisch bewegen. Die Simulation berechnete die dafür korrekte perspektivische Darstellung im Raum. Die Nutzeraufgabe erforderte zudem eine dreidimensionale Interaktion, da die Spieler den Schläger im Raum frei positionieren konnten um den Ball zu spielen. Die Simulation war somit sehr authentisch. Es zeigten sich ein deutlicher Haupteffekt der wahrgenommenen Natürlichkeit (Natural Mapping Scale) für Stereoskopie und Perspektive sowie ein signifikanter einfacher

Effekt für die Gruppe mit Stereoskopie und dynamischer Perspektive. Diese Ergebnisse zeigen, dass das Spatial Mapping durch die beiden UV positiv beeinflusst wird.

Hypothese H_{1A} und H_{1B} nahmen positive Effekt von Perspektive sowie stereoskopischer Darstellung auf die Bewertung der Angemessenheit des Spatial Mapping für die gestellte Aufgabe an. Die Task-Adequacy-Skala wurde im Vorfeld gegenüber Experiment 1 erweitert und bestand aus den beiden Subskalen „Angemessenheit der Steuerung“ und „Angemessenheit der Kombination“. Es konnte ein positiver Einfluss der stereoskopischen Darstellung auf die Angemessenheit der Steuerung gefunden werden, jedoch kein Effekt auf die Angemessenheit der Kombination von Eingabe- und Ausgabemodalitäten. Die Hypothese H_{1B} kann daher nur als teilweise bestätigt angesehen werden. Beide stereoskopischen Bedingungen wurden deutlich besser bewertet als die beiden monoskopischen Bedingungen. Die höchste Bewertung der Task Adequacy war wie angenommen in der Gruppe mit dynamischer Perspektive und stereoskopischer Darstellung zu finden. Daraus lässt sich schließen, dass die Nutzer im Gegensatz zu Experiment 1 die zusätzlichen Informationen durch Stereoskopie tatsächlich relevant für die Aufgabe empfanden. Der Effekt wurde durch die Spielpraxis der Teilnehmer signifikant beeinflusst: Spieler mit vorheriger Erfahrung hatten eine bessere Vorstellung und Erwartung an den Realismusgrad des VR-Systems und empfanden diesen als adäquat. Da keine Effekte für die Perspektive gefunden wurden, muss H_{1A} abgelehnt werden.

Hypothese H_{5Ad} und H_{5Bd} nahmen jeweils einen positiven Einfluss auf die Qualität des Spatial Situation Models für beide UV an. Beide UV liefern entsprechend des Modells von Wirth und Kollegen (2007) zusätzliche räumliche Hinweisreize, die der Konstruktion reichhaltiger SSM zuträglich sein sollten. Es zeigte sich allerdings für beide UV kein Unterschied der Ausprägung des erhobenen SSM. Die subjektive Bewertung des SSM entsprach auch etwa den durchschnittlichen Werten aus Experiment 1 ($M = 0.59$), bei dem ein Unterschied durch die Benutzung von NUI ($M = 0.69$) signifikant zum SSM beitrug, jedoch kein Effekt durch S3D hervorgerufen wurde. Die Daten lassen vermuten, dass Stereoskopie in Experiment 2 zwar durchaus einen relevanten, aber sehr geringen Einfluss auf das SSM hatte. Ein kleiner Effekt konnte möglicherweise aufgrund zu geringer Testpower bzw. Stichprobengröße nicht nachgewiesen werden. Weiterhin ist die subjektive Erfassung des SSM durch einen Fragebogen kritisch zu

betrachten, wie bereits unter 3.4.2.3 diskutiert wurde. Beide Hypothesen H_{5Ad} und H_{5Bd} werden abgelehnt.

Die Hypothesen H_{3A} und H_{3B} gingen von positiven Effekten der UV auf Spatial Presence aus. Obwohl kein Effekt auf das Spatial Situation Model nachgewiesen werden konnte, zeigte sich ein Haupteffekt durch stereoskopische Darstellung auf Spatial Presence. Dieser Einfluss konnte als einfacher Effekt sowohl in den Gruppen mit und ohne dynamischer Perspektive gefunden werden. Binokulare Hinweise haben die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Spatial Presence offenbar signifikant erhöht. Wie auch in Experiment 1 zeigte sich im zweiten Experiment die Qualität des SSM als signifikanter Prädiktor für Spatial Presence. Die Perspektive hatte keinen Effekt auf Spatial Presence. Hypothese H_{3Bd} wird somit angenommen, Hypothese H_{3Ad} muss abgelehnt werden.

Die Hypothesen H_{2Ad} und H_{2Bd} gehen von positiven Haupteffekten auf Unterhaltung aus. Für Stereoskopie konnte dieser Effekt gezeigt werden. Die Spielleistung war dabei eine signifikante Kovariate. Vor allem in bei der dynamischen Perspektive war der Unterhaltungsunterschied aufgrund von Stereoskopie sehr groß. Im Pfadmodell zeigten sich die Spielleistung und Spatial Presence als signifikante Prädiktoren für die Unterhaltung. Der direkte Effekt von Stereoskopie wurde im Pfadmodell nur marginal signifikant. Performance und Spatial Presence können als Mediatorvariablen für Unterhaltung verstanden werden. Hypothese H_{3Bd} wird somit angenommen, Hypothese H_{3Ad} muss abgelehnt werden.

Die beiden Hypothesen H_6 und H_7 nahmen signifikante Pfade von Spatial Presence und Leistung zu Unterhaltung an, die sich in der Pfadanalyse bestätigten. Die beiden Hypothesen können daher angenommen werden.

Während Computerspiele generell ohne dynamische Perspektive arbeiten und dort Stereoskopie keinen Einfluss auf die Unterhaltung zu haben scheint, war dieser Einfluss in Experiment 2 deutlich erkennbar. Der Autor führt dies auf den Unterschied der Qualität des Spatial Mapping und der Relevanz desselben für die gestellte Aufgabe zurück. Die Daten können diese Annahme jedoch nur indirekt über den Unterschied zwischen beiden Experimenten stützen. Eine weitere Studie wäre notwendig, in der der Interaktionsgegenstand und damit die Relevanz von Spatial Mapping variiert wird.

Die stereoskopische Darstellung führte zu einer höheren Task-Adequacy-Bewertung, einer höheren Wahrscheinlichkeit für Spatial Presence und zu höherer Unterhaltung. Diese Ergebnisse sprechen für die theoretischen Grundannahmen dieser Arbeit. Ein positiver Effekt durch Stereoskopie ist nur dann gegeben, wenn die stereoskopischen Informationen für die Nutzer tatsächlich relevant sind. Die Perspektive als Spatial-Mapping-Komponente erwies sich nicht als relevant für die betrachteten Variablen. Eine Erklärung dafür ist deren vergleichsweise geringe Relevanz. Eine veränderliche Perspektive ist vor allem dann nützlich, wenn der Standort während der Interaktion häufig wechselt und somit viele verschiedene Blickwinkel für die Aufgabe notwendig sind. Während des Versuchs bewegten sich die Probanden allerdings nicht so stark wie angenommen, sodass auch Probanden mit dynamischer Perspektive häufig eine gleichbleibende Kameraperspektive nutzten. Diese Vorgehensweise reduziert die Vorteile der dynamischen Perspektive radikal. Eine Auswertung der Bewegungsdaten während des Experiments in der Zukunft könnte Aufschluss auf die Bewegungsmuster und damit verbundene Effekte geben.

8.4.3 Effekte auf Task Performance

Die Interaktion im Experiment erforderte Eingaben auf drei Koordinatenachsen, die Spieler mussten den Schläger zur richtigen Zeit an die richtige Position bringen, um erfolgreich zu sein. Da die Simulation ein isomorphes Mapping des simulierten und realen Raumes vornahm und damit ein hohes Spatial Mapping besaß, erforderte die Spielaufgabe eine hohe sensomotorische Koordination. Bei den Bedingungen mit reduzierten Spatial Cues erhöhte sich entsprechend der Schwierigkeitsgrad. Durch die Anpassung in der Vorstudie wurde die Schwierigkeit für diese Bedingungen wieder gesenkt, sodass die Schwierigkeit für alle Bedingungen parallelisiert werden konnte. Insgesamt war die Spielschwierigkeit eher niedrig angesetzt, in allen vier Bedingungen lag die Rückspielquote über 70 Prozent.

Durch die niedrige Schwierigkeit konnten Effekte auf die User Experience gut beobachtet werden, jedoch wurde damit auch die Wahrnehmung der Task Adequacy verzerrt. Wäre keine Schwierigkeitsanpassung erfolgt, wäre die subjektive Relevanz der Anzeigemodalitäten für die gestellte Aufgabe möglicherweise stärker in den Vordergrund getreten. Dieser Vorteil

wäre jedoch höchstwahrscheinlich zu Lasten der User Experience gegangen, da ein Halo-Effekt auf Basis von Frustration zu vermuten war und die UX damit verzerrt werden würde. Idealerweise könnte eine dritte Studie ohne Anpassung des Schwierigkeitsgrades allein Leistung und Task Adequacy betrachten, um die darüber getroffenen Annahmen zu bestätigen.

Die Rückspielquote zeigte sich als unabhängiges Maß von realer Tischtenniserfahrung oder dem Tischtenniswissen und damit zwar als Maß für die Schwierigkeit, nicht aber als Maß für die Spielleistung. Zur Betrachtung der Leistung wurde daher die tatsächlich erreichte Punktzahl beim Tischtennis herangezogen. Aufgrund der parallelisierten Spielschwierigkeit und der Randomisierung von Versuchspersonen ging der Autor davon aus, dass keine Unterschiede der Spielleistung auf Basis der UV auftreten. Sowohl bei den Kovarianzanalysen als auch bei der Pfadanalyse zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Hypothesen H_{4Ad} und H_{4Bd} nahmen an, dass kein Effekt existiert. Die Äquivalenz der Gruppen konnte allerdings nicht bestätigt werden, ohne zumindest einen mittleren Einfluss anzunehmen. Die Hypothesen werden daher formal abgelehnt. Gleichmaßen wurde vermutet, dass auch keine indirekten Effekte bestehen. Da die Ergebnisse zwar Effekte zeigen, die für eine Interpretation zu gering sind, lassen sich potenziell vorhandene Effekte auch nicht ausschließen. H_{4Ad} und H_{4Bd} werden daher abgelehnt. Zur besseren Übersicht werden die Ergebnisse der Hypothesenprüfung in Tabelle 40 zusammengefasst.

Tabelle 40. *Experiment 2: Ergebnis der Hypothesenprüfung*

Hypothese	Urteil
H _{1A} Kameraperspektive ist relevant für die Aufgabe der Nutzer.	Abgelehnt
H _{1B} Stereoskopie ist relevant für die Aufgabe der Nutzer.	Angenommen
H _{2Ad} Kameraperspektive hat einen direkten positiven Effekt auf Unterhaltung.	Abgelehnt
H _{2Ai} Kameraperspektive hat einen indirekten positiven Effekt auf Unterhaltung.	Abgelehnt
H _{2Bd} Stereoskopie hat einen direkten positiven Effekt auf Unterhaltung.	Angenommen
H _{2Bi} Stereoskopie hat einen indirekten positiven Effekt auf Unterhaltung.	Abgelehnt
H _{3Ad} Kameraperspektive hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.	Abgelehnt
H _{3Ai} Kameraperspektive hat einen indirekten positiven Effekt auf Spatial Presence.	Abgelehnt
H _{3Bd} Stereoskopie hat einen direkten positiven Effekt auf Spatial Presence.	Angenommen
H _{3Bi} Stereoskopie hat einen indirekten positiven Effekt auf Spatial Presence.	Abgelehnt
H _{4Ad} Kameraperspektive hat keinen direkten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{4Ai} Kameraperspektive hat keinen indirekten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{4Bd} Stereoskopie hat keinen direkten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{4Bi} Stereoskopie hat keinen indirekten Effekt auf Performance.	Abgelehnt
H _{5Ad} Kameraperspektive hat einen direkten positiven Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H _{5Ai} Kameraperspektive hat keinen indirekten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H _{5Bd} Stereoskopie hat keinen direkten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H _{5Bi} Stereoskopie hat keinen indirekten Effekt auf die Qualität des Spatial Situation Models.	Abgelehnt
H ₆ Spatial Presence ist ein relevanter Prädiktor für Unterhaltung.	Angenommen
H ₇ Performance ist ein relevanter Prädiktor für Unterhaltung.	Angenommen

8.4.4 Gültigkeit des Pfadmodells

Das nach Experiment 1 modifizierte Pfadmodell wurde in Experiment 2 empirisch geprüft. Die Aufgabenstellung umfasste eine dreidimensionale Interaktion, bei der Spieler mit einem konstant gehaltenen Eingabegerät virtuelles Tischtennis spielten. Es wurde davon ausgegangen, dass das hohe Spatial Mapping des Systems handlungsrelevant für die Interaktion sei.

Im Gegensatz zu Experiment 1 identifizierten die Teilnehmer verfügbare binokulare Spatial Cues als relevante Informationen für die gegebene Aufgabe. Als zweite Komponente der Spa-

tial Cues wurde die Perspektive variiert, jedoch ohne relevante Auswirkungen auf die UX-Variablen oder Performance. Das Pfadmodell ging von einer vermittelnden Funktion der Task Adequacy für die interessierenden Variablen aus. Daher wurden indirekte Effekte als Folge der Einschätzung der Relevanz des Spatial Mapping für die Aufgabe erwartet. Das Pfadmodell verfügte einen guten Fit, sodass keine zusätzliche Modifikation notwendig war. Die beiden zusätzlichen Pfade erwiesen sich auch in Experiment 2 als signifikant.

Während beim ersten Experiment kein signifikanter Pfad von Task Adequacy zum SSM gefunden wurde, ist dieser Pfad im zweiten Experiment signifikant, aber weist nur einen geringen Effekt auf ($r_{TAS \rightarrow SSM} = .2$). Im Gegensatz zum ersten Versuch hat das SSM keinen Einfluss auf Performance. Da die Schwierigkeit parallelisiert wurde, unterschied sich die Performance jedoch generell nicht im Experiment, sodass der Zusammenhang auch nicht erwartet werden konnte. Weiterhin erwies sich der Pfad von SSM zu Spatial Presence auch zweiten Experiment als signifikant ($r_{SSM \rightarrow SP} = .49$).

Insgesamt enthält das Modell allerdings hohe Fehlervarianzen. Es wird deutlich, dass viele relevante Einflussvariablen im Experiment nicht erhoben bzw. im Pfadmodell nicht modelliert wurden. Dies war auch nicht die Hauptaufgabe der Versuche und könnte das Ziel einer weiterführenden Fragebogen-Entwicklung sein. Obwohl binokulare Spatial Cues erwartungsgemäß einen eher geringen Anteil an der Qualität des SSM haben, konnte das Experiment kleine bis mittlere Effekte von Stereoskopie auf UX und Performance demonstrieren. Der Autor führt dies auf das für die Interaktion relevante Spatial Mapping zurück, bei dem Stereoskopie einen relevanten Beitrag leisten konnte. Das Modell erklärt zwar nur einen kleinen, aber dennoch relevanten Teil der tatsächlichen Einflüsse auf die betrachtenden Variablen. In Folgestudien sollten zusätzliche Komponenten identifiziert und entsprechend modelliert werden, um die Erklärungskraft des Modells zu verbessern, insbesondere in Bezug auf Task Adequacy.

8.4.5 Kritik zur Studie: Sensitivität des Experiments

Im Gegensatz zu Experiment 1 wurden keine Nulleffekte angenommen, sondern positive Effekte der UV geprüft. Dennoch hat sich etwa beim Spatial Situation Model gezeigt, dass eine höhere Testpower bzw. größere Stichprobe einen eventuellen kleinen Effekt hätte nachwei-

sen können. Vor dem Experiment wurde die minimal erforderliche Probandenzahl zur Ermittlung von mittleren Effekten bestimmt. Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse mit G*Power 3.1.9 kann die tatsächliche Sensitivität des Experiments bestimmt werden.

Die Berechnungen der ANCOVAs in Experiment 2 wiesen laut Post-Hoc-Analyse eine Power ($1 - \beta$) zwischen .65 (Task Adequacy) und .97 (Spatial Presence) auf. Bei der Annahme einer Power von .90 liegt der kleinste verlässlich aufspürbare Haupteffekt bei $f = 0,28$ bzw. $\eta^2_{\text{part}} = 0.075$ (Sensitivitätsanalyse; $\alpha = .05$, Power = .90, $N = 132$, Numerator df = 1, Anzahl Gruppen = 4). Mit dem vorliegenden Design können kleinere Effekt somit nicht verlässlich identifiziert werden. Wie auch bei Experiment 1 sind dafür sehr viel größere Fallzahlen erforderlich: Es werden ca. 600 Probanden benötigt, um einen Effekt von $f = 0.13$ verlässlich bestimmen zu können (siehe Abbildung 103).

Abbildung 103. Experiment 2: Berechnung Probandenzahl für kleine Effektstärken (G*Power 3.7.9)

Analog zu Experiment 1 ist die subjektive Erfassung der interessierenden Konstrukte durch Fragebögen nicht unproblematisch. Auch wenn die Validität in mehreren Studien bescheinigt wurde, zeigten eigene Voruntersuchungen andere Ergebnisse. Unter 3.4.2 wurde bereits diskutiert, dass beispielsweise Konstrukte wie das Spatial Situation Model und räumliches Vorstellungsvermögen auch anderes und ggfs. valider erhoben werden könnten. Eine derartige Untersuchung war allerdings nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

Als weiteren Kritikpunkt kann die Parallelisierung der Aufgabenschwierigkeit genannt werden. Diese bewusste Entscheidung hat zur Folge, dass die Relevanz eines hohen Spatial Mapping für die Aufgabe sinkt, da Nutzer auch ohne Stereoskopie und ohne dynamischer Kammerspektive im Spiel erfolgreich waren. Gerade der Eindruck, die Aufgabe nicht erfolgreich durchführen zu können, resultiert letztlich im Eindruck einer Inadäquanz der zur Verfügung stehenden Eingabe- und Ausgabemechanismen. Es ist daher durchaus möglich, dass die gleichzeitige Betrachtung von Leistung und UX-Variablen im Modell in einem Experiment nicht gut genug durchführbar ist. Stattdessen könnten zwei Versuche jeweils UX oder Performance untersuchen und das Spatial Mapping stärker variieren, um höhere Effektstärken bei den interessierenden Variablen zu provozieren.

8.5 Zusammenfassung: Spatial Mapping bei hoher Task Adequacy

Das Ziel von Experiment 2 war die Manipulation der Qualität verfügbarer Spatial Cues in Form zweier theoretischer Einflussfaktoren für die Qualität des Spatial Situation Models, Spatial Presence und Unterhaltung. Dabei wurden in einem 2x2 Between-Subjects-Design die Perspektive (statisch vs. dynamisch) und der Präsentationsmodus (monoskopisch vs. stereoskopisch) als Komponenten des Spatial Mapping im System variiert. Es wurde dafür eine Virtual-Reality-Anwendung als Stimulus eingesetzt, die ein hohes Maß an Spatial Mapping aufweist. Die Anwendung war so gestaltet, dass ein isomorphes Mapping vorlag, d.h. die Bewegungen der Nutzer vor der Leinwand wurden per Tracking-System erfasst und isomorph in die simulierte Umgebung integriert. Die Aufgabe bestand darin, ein Tischtennispiel mit einem Tischtennisschläger als Eingabegerät gegen einen virtuellen Opponenten zu absolvieren. Es lag demzufolge ein konstant hohes Natural Mapping vor.

Die Anwendung war auf den Einsatz von Stereoskopie sowie dynamisch und in Echtzeit berechneter Blickperspektive ausgelegt und wurde zum Umsetzen der Experimentalbedingungen modifiziert. Das Deaktivieren von binokularen Informationen bei statischer Perspektive führte dabei einem enormen Schwierigkeitsanstieg, da eine genaue Positionsbestimmung des Tischtennisballs von den Probanden nicht mehr vorgenommen werden konnte. Dies resultierte in Frustration und einer negativen Gesamtbewertung der anderen User-Experience-

Komponenten. Der Autor entschied sich daher, die Schwierigkeit der vier Versuchsbedingungen zu parallelisieren, um eine gleiche Ausgangsbasis für UX zu garantieren. Dazu wurde die unsichtbare Trefferbox des Tischtennisschlägers in den Bedingungen vergrößert, bei denen weniger Rauminformationen zur Verfügung standen.

Im Experiment zeigten sich die vermuteten Resultate: Es konnten positive Effekte stereoskopischer Darstellung auf Spatial Presence, Unterhaltung und Angemessenheit des Spatial Mapping für die Aufgabe gefunden werden. Es gab keine Effekte durch die eingesetzte Perspektive. Im Gegensatz zum Computerspiel in Experiment 1 war die Aufgabe im VR-Simulator so gestaltet, dass binokulare Informationen für die Nutzer handlungsrelevant waren.

Experiment 2 leistet einen wichtigen Beitrag zum Spatial-Mapping-Modell. Es konnte gezeigt werden, dass ein System mit hohem Spatial Mapping dann von Stereoskopie profitiert, wenn es einen Interaktionsgegenstand einsetzt, der so gestaltet ist, dass die zusätzlichen verfügbaren Informationen für Nutzer tatsächlich als handlungsrelevant empfunden werden.

9 Fazit und Ausblick

Das allgemeine Ziel der Arbeit war es, die Auswirkung von reichhaltigen, natürlichen Eingabe- und Ausgabeinformationen in virtuellen Umgebungen in Form von Natural Mapping und Stereoskopie in einer Kombination mit dem jeweiligen Interaktionsgegenstand zu betrachten. Speziell wurde der Einfluss auf Variablen der User Experience, insbesondere Unterhaltung und Spatial Presence, sowie der Aufgabenleistung innerhalb der virtuellen Umgebung untersucht.

Die Kombination der Eingabe- und Ausgabeinformationen mit einem damit verbundenen Interaktionsgegenstand wurde als Spatial Mapping konzeptionalisiert und darauf basierend ein Pfadmodell entworfen. In zwei Experimenten wurden Effekte von Natural Mapping und Stereoskopie in Szenarien mit hohem bzw. natürlichem Spatial Mapping untersucht. Das erste Experiment nutzte dafür ein kommerzielles Computerspiel, bei dem Spatial Mapping für die Interaktion nicht handlungsrelevant war. Beim zweiten Experiment kam ein Virtual-Reality-Simulator zum Einsatz, bei dessen Aufgabenstellung Nutzer vom hohen Spatial Mapping tatsächlich profitieren konnten.

Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse der Arbeit zusammenfassend diskutiert und Implikationen abgeleitet. Abschließend wird ein Ausblick auf weiterführende Forschung zum Thema gegeben.

9.1 Zusammenfassung und Implikationen

Im Rahmen der Arbeit wurde zunächst der User-Experience-Begriff im Detail betrachtet und relevante Konzepte sowie Messinstrumente für einzelne Komponenten der UX identifiziert. Als besonders fruchtbar erwies sich das Presence-Konzept, das bereits seit der frühen VR-Forschung als Beschreibung von Erlebniszuständen in virtuellen Umgebungen eingesetzt wird. Aus einer Vielzahl unterschiedlicher Presence-Modelle wurde das MEC-Modell (Wirth et al., 2007) als Grundlage für die Arbeit ausgewählt. Es liefert einen Erklärungsansatz für Spatial Presence, der speziell auf der Erfahrung eines virtuellen Raumes und damit verbundener Wahrnehmungsprozesse sowie relevanter Einflussfaktoren basiert. Mit dem MEC-SPQ

(Vorderer et al., 2004) existiert zudem bereits ein empirisch validiertes Messinstrument zur Erfassung von Spatial-Presence-Erfahrungen.

Nachdem Spatial Presence als interessierende UX-Variable spezifiziert wurde, widmete sich die Arbeit den Phänomenen Stereoskopie und Natural Mapping. Für beide Konzepte wurden die generelle Wirkweise, die technische Realisierung, damit verbundene Einschränkungen sowie der aktuelle Forschungsstand dargelegt. Im Zuge dessen wurden Wirkungszusammenhänge von Stereoskopie und Natural Mapping auf Presence, Unterhaltungserleben, Performance und weitere Faktoren diskutiert. Für eine kombinierte Betrachtung beider Konzepte wurde entsprechend das Unterhaltungserleben als weitere wichtige UX-Variable herausgestellt.

Binokulare Spatial Cues stellen insgesamt einen kleinen Anteil der Spatial Cues dar, die für die Konstruktion von Spatial Situation Models herangezogen werden. Monokulare Spatial Cues überwiegen im großen Maße. Der Einfluss stereoskopischer Darstellung auf UX und die Aufgabenleistung ist daher in den meisten Fällen eher gering einzuschätzen.

Auf Grundlage von Stereoskopie und Natural Mapping wurde schließlich Spatial Mapping eingeführt. Es stellt ein Konzept der räumlichen Übereinstimmung von Wahrnehmungsräumen der Eingabe- und Ausgabeinformationen dar und kann dementsprechend als eine holistische Erweiterung von Natural Mapping verstanden werden. Spatial Mapping bezeichnet den Grad der Verknüpfung der physikalischen und virtuellen Umgebung, sodass Nutzer im Idealfall durch die isomorphe Abbildung im selben dreidimensionalen Raum interagieren können, den sie auch physikalisch wahrnehmen (hohes bzw. natürliches Spatial Mapping).

Ein hohes Spatial Mapping resultiert darin, dass vorhandene mentale Modelle abgerufen und auf die Interaktion übertragen werden können und demzufolge weniger Transformationsprozesse zur Verarbeitung der virtuellen Umgebung notwendig sind.

Neben dem Spatial Mapping ist zusätzlich der Interaktionsgegenstand einer virtuellen Umgebung entscheidend für die kombinierte Betrachtung. Wahrnehmungsräume müssen also immer als Kombination von Eingabeinformationen, Ausgabeinformationen und dem Gegenstand der Interaktion charakterisiert werden. Dabei sollte der Interaktionsgegenstand vorge-

ben, welcher Grad an Spatial Mapping tatsächlich handlungsrelevant ist. Die räumlichen Eingabeinformationen umfassen bis zu drei Dimensionen. Die Interaktion kann entsprechend so gestaltet sein, dass sie entweder eindimensionale, zweidimensionale oder dreidimensionale Eingaben erfordert. Ein theoretischer Vorteil von Spatial Mapping sollte nur dann eintreten, wenn eine dreidimensionale, komplexe Interaktion vorliegt.

Die hypothetischen Annahmen und Effekte von Spatial Mapping auf User Experience und Leistung wurden in einem Pfadmodell zusammengefasst. Die Manipulation von Spatial Mapping kann durch die Variation der Subkomponenten (Qualität der Eingabe- und Ausgabeinformationen bzw. des Interaktionsgegenstandes) erreicht werden. Um eine experimentelle Validierung zu ermöglichen, wurden die Komponenten auf Natural Mapping (Eingabe) und Qualität der Spatial Cues (Ausgabe) reduziert. Die Spatial Cues umfassen eine Vielzahl an multisensorischen Stimuli, die zur Konstruktion des medialen SSM herangezogen werden.

Im ersten Experiment wurden Natural Mapping und Stereoskopie als Bestandteile des Spatial Mapping variiert. Das Modell ging davon aus, dass Stereoskopie keinen Einfluss auf UX-Variablen oder Performance haben sollte, da diese den Nutzern keinen handlungsrelevanten Vorteil für die zweidimensionale Interaktion (Fahrzeugsteuerung) verschaffen. Dementgegen wurden positive Effekte von Natural Mapping angenommen, da es als untergeordnetes Konzept von Spatial Mapping zwar keine Übereinstimmung von Wahrnehmungsräumen erfordert, jedoch die vorhandene Übereinstimmung realer Eingabehandlungen zu virtuellen Spielhandlungen beschreibt. Das Experiment konnte auch an bisherige Befunde aus anderen Studien anknüpfen, bei denen Stereoskopie in Computerspielen keinerlei Auswirkungen auf UX oder Performance mit sich brachte (Elson et al., 2012; Takatalo et al., 2011).

Im zweiten Experiment wurde die Eingabemodalität konstant gehalten und bei allen Bedingungen hohes Natural Mapping eingesetzt. Es wurde ein Szenario konstruiert, dass eine dreidimensionale Interaktion erforderte (virtuelles Tischtennis). Spatial Mapping besaß dementsprechend eine hohe Handlungsrelevanz. Reichhaltige Spatial Cues sollten in einem besseren SSM resultieren und sich daher positiv auf User Experience und Leistung auswirken. Zur Manipulation des SSM wurde erneut Stereoskopie herangezogen und zusätzlich auch die Kameraperspektive des Nutzers variiert. Eine dynamische Kameraperspektive (via Head-Tracking) lieferte ein perspektivisch korrektes und in Echtzeit berechnetes Bild der Szene, eine statische

Kameraperspektive zeigte die Szene aus einem für jeden Probanden individuell festgelegten, zentralen Blickwinkel. Eine solche statische Perspektive wird in der Regel bei kommerziellen Computerspielen verwendet.

Für die Auswertung der Experimente wurden mit den Kovarianzanalysen und Pfadanalysen zwei teilerfüllt eingesetzte Methoden verwendet. Gleichzeitig ermöglicht der Einsatz beider Ansätze jedoch die detaillierte Betrachtung direkter und indirekter Effekte, Interaktionseffekte und Kovariaten.

Auch wenn viele der Hypothesen formal abgelehnt werden mussten, können doch die Grundannahmen der Arbeit tendenziell bestätigt werden: Die Experimente zeigen, dass Stereoskopie keinen Einfluss auf UX und Performance hat, wenn das verfügbare Spatial Mapping für den Interaktionsgegenstand nicht handlungsrelevant ist. Dies unterstreicht viele Ergebnisse aus der Forschung zu Stereoskopie bei Computerspielen, da die Spielmechanik in den seltensten Fällen binokulare Spatial Cues für den Nutzer relevant macht (LaViola & Litwiller, 2011; Mahoney et al., 2011). Meist wird Stereoskopie auf existierende mediale Inhalte angewendet, ohne die Inhalte entsprechend darauf anzupassen (z.B. im Kino, siehe Rooney & Hennessy, 2013). Diese Vorgehensweise lässt sich sowohl bei kommerziellen Computerspielen als auch in der Filmindustrie beobachten. Der Autor bekräftigt in diesem Sinne die Aufforderung zum Umdenken beim Game Design von Schild und Masuch (2011), um Stereoskopie sinnvoll mit der Spielmechanik zu verbinden. Die in Kapitel 4 betrachteten Case-Studies zeigen erste erfolgreiche Umsetzungen von Spielen mit handlungsrelevanter Stereoskopie (z.B. Rivett & Holliman, 2013; Schild et al., 2014; Zerebecki et al., 2013).

Liegt ein Interaktionsgegenstand vor, der die durch Stereoskopie zusätzlich verfügbaren Spatial Cues relevant macht, waren zumindest in der empirischen Untersuchung positive Effekte sowohl auf Spatial Presence, Unterhaltung als auch Aufgabenleistung zu verzeichnen. Um zu verhindern, dass dieser Effekt allein auf einen Schwierigkeitsunterschied der Aufgabe zurückzuführen ist, wurde die Schwierigkeit für Experiment 2 im Vorfeld parallelisiert.

Die Manipulation der Kameraperspektive hatte entgegen vorheriger Annahmen keine Auswirkungen auf Variablen der User Experience oder die Leistung. Entweder stellt die Perspektive einen zu geringen Anteil relevanter Stimuli zur Bildung des SSM dar, oder der Effekt ist zu klein und erfordert eine höhere Testpower.

Der Einfluss von Natural Mapping zeigte sich auch nicht erwartungskonform: Es wurde davon ausgegangen, dass hohes Natural Mapping den Nutzern ermöglicht, vorhandenes Wissen auf die virtuelle Interaktion anzuwenden und sie dementsprechend eine höhere Leistung verzeichnen als bei der Benutzung von abstrakten Eingabegeräten. Hohes Natural Mapping resultierte allerdings in signifikant schlechterer Aufgabenleistung als niedriges Natural Mapping. Dafür kommen verschiedene Gründe in Frage: Zum einen bestand die Stichprobe zum Großteil aus Personen mit wenig Fahrpraxis, sodass de facto kein reales Vorwissen existierte, das auf die virtuelle Situation übertragen werden konnte. Betrachtet man nur diejenigen Probanden mit Fahrpraxis (ca. 39 % der Teilnehmer), dann ist kein negativer Effekt auf Performance nachweisbar. Zum anderen erfordert die Steuerung mit einem Lenkrad eine höhere sensomotorische Koordination der Nutzer als das Steuern mit einem Gamepad, sodass die Schwierigkeit möglicherweise höher ausfiel und dadurch in einer schlechteren Leistung resultierte. Weiterhin ist es möglich, dass das Natural Mapping nicht gut genug im Szenario umgesetzt wurde, somit Nutzererwartungen nicht erfüllt werden konnten und daraus Fahrfehler und Fehleinschätzungen erfolgten, die wiederum eine schlechtere Leistung nach sich zogen.

Die empirische Untersuchung konnte weiterhin die Grundstruktur des MEC-Modells ansatzweise verifizieren: Die Qualität des SSM zeigte sich als signifikanter Prädiktor für Spatial Presence-Erfahrungen und Aufgabenleistung. Zusätzlich erwies sich Spatial Presence in beiden Experimenten als signifikanter Prädiktor für Unterhaltungserlebnisse. Dieser Zusammenhang überraschte zunächst, da Presence definitorisch ein anderes Erlebniskonstrukt als Unterhaltung abbildet. Weiterhin zeigte sich in diversen Studien kein Zusammenhang von Presence und Unterhaltung (Shafer et al., 2011; Skalski et al., 2011). Die Vermutung liegt nahe, dass unbeobachtete Drittvariablen für diesen Zusammenhang verantwortlich sind. Es ist beispielsweise vorstellbar, dass ein hohes Selbstwirksamkeitserleben (Klimmt & Hartmann, 2006) der Nutzer sowohl in Spatial Presence (z.B. bei Hayashi, Chen, Ryan & Wu) als auch in

Unterhaltung (z.B. bei Bertozzi & Lee, 2007) resultiert und damit als (im Experiment nicht modellierter) Mediator fungiert.

Die Implikationen der vorliegenden Arbeit ergeben sich für den Einsatz von Stereoskopie und Natural Mapping in virtuellen Umgebungen. Auf Grundlage des Interaktionsgegenstandes muss entschieden werden, welche sensorischen Informationen für eine effektive und effiziente Umsetzung erforderlich sind. Nicht immer ist die User Experience im Fokus der Betrachtung, beispielsweise müssen produktive Systeme vor allem ressourcenschonend und schnell bedient werden können. Unterhaltungsaspekte sind dabei beispielsweise sekundär (siehe z.B. Cognitive Absorption, Agarwal & Karahanna, 2000). Im Bereich der Unterhaltungselektronik liegt der Fokus allerdings auf der User Experience, sodass Leistungsaspekte in den Hintergrund treten.

Existierende Systeme verfolgen bereits die Ansätze, die sich hinter Spatial Mapping verbergen, um Sinneseindrücke der Propriozeption und Exteroezeption übereinstimmend zu kombinieren. Es finden sich zahlreiche Studien aus dem Bereich der VR-Forschung, bei denen das Prinzip beispielsweise für Trainings- bzw. Rehabilitationszwecke eingesetzt wird (z.B. Cho et al., 2014; Kilteni, Normand, Sanchez-Vives & Slater, 2012; Slater et al., 1994). Spatial Mapping beschreibt die dabei beteiligten Anteile der multisensorischen Raumwahrnehmung. Systeme profitieren von Spatial Mapping, wenn der Interaktionsgegenstand eine detaillierte Auflösung der Rauminformationen auch erfordert. Nur dann haben die zusätzlich verfügbaren binokularen Informationen der Stereoskopie einen Effekt auf UX-Variablen und Performance.

9.2 Ausblick

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lassen sich Ansätze für weitere Forschung ableiten.

Der Spatial-Mapping-Ansatz sollte an erster Stelle geprüft und eventuell mit anderen theoretischen Konzeptionen der HCI oder VR-Forschung in Verbindung gebracht werden. In der vorliegenden Arbeit stellte das MEC-Modell die wesentliche Grundlage des Erklärungsansatzes dar. Spatial Mapping ließe sich aber auch problemlos auf andere Ansätze übertragen, beispielsweise auf das Embodiment-Presence-Framework. Weiterhin ist es naheliegend, Spatial Mapping auf Augmented-Reality-Fragestellungen anzuwenden. Gerade dort ist es essenziell, zwei verschiedene Wahrnehmungsräume zu kombinieren, da beide Räume für den Nutzer

relevant sind. Bei Computerspielen und VR-Anwendungen ist primär der virtuelle Raum dominant.

Es lassen sich jedoch auch in Bezug auf die Modellierung von Spatial Mapping und die durchgeführten Experimente innerhalb der Arbeit offene Fragen formulieren. Spatial Mapping wurde als Kombination von Eingabe- und Ausgabeinformationen und des Interaktionsgegenstandes verstanden. In der Arbeit wurden Spatial Cues für die Eingabe mittels Einsatz von Stereoskopie und verschiedenen Perspektiven manipuliert. Zwar ergab sich diese Variation aus der Tatsache, dass vor allem Stereoskopie einen zentralen Forschungsgegenstand für die Arbeit darstellte, dennoch sind weitere Gruppen von Spatial Cues für Spatial Mapping interessant. Dies ist vor allem deshalb der Fall, weil binokulare Informationen nur einen kleinen Anteil an der Konstruktion eines reichhaltigen Spatial Situation Models haben. Monokulare Informationen eignen sich daher noch besser, um verschiedene Ausprägungen von SSM zu untersuchen. Im Rahmen der Diskussion zu Spatial Situation Models wurde bereits eine Pilotstudie des Autors diskutiert, bei der Farben, Schatten und Texturen von virtuellen Objekten verändert wurden, um eine Manipulation des SSM zu erwirken. Weiterführende Forschung sollte sich diesem Problemfeld widmen, um zusätzliche relevante Einflussfaktoren für die Qualität des SSM zu identifizieren und deren relative Anteile zu bestimmen.

Methodisch ergeben sich ebenfalls interessante Perspektiven aus der Arbeit. Offenbar ist die Operationalisierung von Task Adequacy als Fragebogen in den Experimenten maximal als akzeptabel zu bezeichnen. Möglicherweise bieten sich hier andere Methoden an, um die Relevanz des Spatial Mapping zu erfassen, z.B. mehr leistungsorientierte Maße. Auch für die Erfassung der Qualität des Spatial Situation Models könnten weitere Instrumente entwickelt werden. Eine Pilotstudie des Autors zielte bereits auf die Konstruktion von Verhaltensskalen ab, indem die Erinnerungsleistung der Probanden an das räumliche Arrangement geprüft wurde (siehe 3.4.2.3). Die Ergebnisse dazu waren bisher nicht zufriedenstellend. Hier sieht der Autor das größte Potenzial methodischer Weiterentwicklung.

Die vorliegenden Daten erlauben weitere Auswertungsoptionen, die bisher nicht verfolgt wurden. So existieren vollständige Bewegungsdaten für Experiment 2, bei denen die Interaktion der Nutzer mit dem Tischtennissimulator als Event-Sampling vorliegt. Damit lässt sich der

Einfluss von Stereoskopie und Perspektive auf die Bewegungen, Blickwinkel und Positionen der Probanden untersuchen.

Auch für Experiment 1 liegen weitere Daten vor. Probanden haben am Ende der Experimentalsitzung aus der Erinnerung heraus eine Zeichnung der gefahrenen Rennstrecke angefertigt. Ursprünglich war dies als zusätzliches Maß für die Qualität des Spatial Situation Models vorgesehen, jedoch kam es für die Auswertung nicht zum Einsatz.

Die vorliegenden Daten erlauben es zusätzlich, ein vollständiges Strukturgleichungsmodell mit Messmodell aufzustellen und nicht auf Pfadanalysen zurückzugreifen. Möglicherweise lassen sich damit präzisere Aussagen über die Effekte von Spatial Mapping auf die User Experience und Performance machen.

Inhaltlich ist eine Übertragung von Spatial Mapping auf unterschiedliche Interaktionsgegenstände bzw. Nutzeraufgaben naheliegend. Bisher konnten nur zwei Szenarien mit hohem Spatial Mapping betrachtet werden. Besonders interessant wäre eine Untersuchung, die den Interaktionsgegenstand innerhalb eines Szenarios bzw. innerhalb eines Experiments variiert. So könnte die Relevanz von Spatial Mapping als unabhängige Variable realisiert werden, anstatt zwei komplett verschiedene Systeme gegenüberzustellen. Weiterhin sind Interaktionen interessant, die andere Formen von Natural Mapping als Eingabemodalitäten verwenden. Beispielsweise könnten Interaktionen untersucht werden, bei denen Fingergesten als Eingabe verwendet werden. Dies könnte etwa erfordern, Objekte mit den Händen zu manipulieren. Durch die Nähe der Objekte zum Körper werden binokulare Informationen wesentlich relevanter als zum Beispiel beim Autofahren.

Zukünftige Forschung kann weiterhin an den bisher diskutierten Komponenten von Spatial Mapping anknüpfen. Die Pfadanalyse machte deutlich, dass ein Großteil der Varianz nicht durch das Pfadmodell erklärt werden konnte. Es sollten daher zusätzliche Variablen in Betracht gezogen und mit dem Modell in Verbindung gebracht werden. Generell sollte das Modell durch weitere Experimente verbessert und weiterentwickelt werden.

Gerade im Hinblick auf neue Augmented-Reality-Technologien oder der Betrachtung von Transferprozessen in virtuellen Umgebungen kann Spatial Mapping als hilfreiches Konzept herangezogen werden. Es bieten sich daher vielfältige Möglichkeiten für weitere Forschung.

Literaturverzeichnis

- 3Dconnexion. (2012). *SpaceMouse Pro*. [Website]. Verfügbar unter: <http://www.3dconnexion.com/index.php?id=271> [06. 04. 2014].
- Abeelee, V. V., Schutter, B. D., Gajadhar, B. & Johnson, D. (2013). *More Naturalness, Less Control: The Effect of Natural Mapping on the Co-located Player Experience*. Paper presented at the 8th International Conference on the Foundations of Digital Games, Chania, Crete, Greece.
- Adachi, I. (2014). Spontaneous Spatial Mapping of Learned Sequence in Chimpanzees: Evidence for a SNARC-Like Effect. *PLoS One*, 9(3), e90373.
- Adams, E. (2004). The Designer's Notebook: Postmodernism and the 3 Types of Immersion, *Gamasutra. The Art & Business of Making Games* (S. 1).
- Aflaki, P., Hannuksela, M. M., Sarbolandi, H. & Gabbouj, M. (2014). Simultaneous 2D and 3D perception for stereoscopic displays based on polarized or active shutter glasses. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(4), 622-631.
- Agarwal, R. & Karahanna, E. (2000). Time flies when you're having fun. Cognitive Absorption and beliefs about information technology use. *MIS Quarterly*, 24(4), 665–994.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- al-Azzawi, A. (2014). *Experience with Technology*. London: Springer.
- Anderson, R. C. (1977). The notion of schemata and the educational enterprise: general discussion of the conference. In R. C. Anderson & W. E. Montague (Hrsg.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (S. 415–431). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, S. & Hauck, W. W. (1983). A new procedure for testing equivalence in comparative bioavailability and other clinical trials. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 12(23), 2663-2692.
- Arthur, K. W., Booth, K. S. & Ware, C. (1993). Evaluating 3D task performance for fish tank virtual worlds. *ACM Transactions on Information Systems*, 11(3), 239-265.
- Aymerich-Franch, L., Karutz, C. & Bailenson, J. (2012). *Effects of Facial and Voice Similarity on Presence in a Public Speaking Virtual Environment* Paper presented at the International Conference on Presence, ISPR 2012, Philadelphia, PA.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bai, H., Gao, L., El-Sana, J. & Billinghurst, M. (2013, November 19-22, 2013). *Markerless 3D gesture-based interaction for handheld augmented reality interfaces*. Paper presented at the SIGGRAPH Asia 2013 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications, SA'13, Hongkong, CN.
- Balakrishnan, B. & Sundar, S. S. (2011). Where Am I? How Can I Get There? Impact of Navigability and Narrative Transportation on Spatial Presence. *Human-Computer Interaction*, 26(3), 161-204.

- Banos, R. M., Botella, C., Rubio, I., Quero, S., Garcia-Palacios, A. & Alcaniz, M. (2008). Presence and emotions in virtual environments: the influence of stereoscopy. *Cyberpsychol Behav*, 11(1), 1-8.
- Baren, J. v. & Ijsselstein, W. (2004). *Measuring presence: A guide to current measurement approaches* Verfügbar unter: <http://www8.informatik.umu.se/~jwworth/PresenceMeasurement.pdf> [27 October 2013].
- Barfield, W., Baird, K. M. & Bjorneseth, O. J. (1998). Presence in virtual environments as a function of type of input device and display update rate. *Displays*, 19(2), 91-98.
- Barfield, W. & Furness, T. A. I. (1995). *Virtual Environments and advanced interface design*. New York: Oxford University Press.
- Barfield, W., Hendrix, C. & Bystrom, K.-E. (1999). Effects of Stereopsis and Head Tracking on Performance Using Desktop Virtual Environment Displays. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(2), 237-240.
- Barfield, W. & Weghorst, S. (1993). The Sense of Presence within Virtual Environments: A Conceptual Framework. In G. Salvendy & M. Smith (Hrsg.), *Software and Hardware Interfaces* (S. 699-704). Amsterdam: Elsevier.
- Barfield, W., Zeltzer, D., Sheridan, T. & Slater, M. (1995). Presence and performance within virtual environments. In W. Barfield & T. A. I. Furness (Hrsg.), *Virtual environments and advanced interface design* (S. 474-513). New York, NY: Oxford University Press.
- Barsalou, L. W., Kyle Simmons, W., Barbey, A. K. & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 84-91.
- Bartle, R. (2004). *Designing virtual worlds*. Berkeley, CA: New Riders.
- Bayarri, S., Fernandez, M. & Perez, M. (1996). Virtual reality for driving simulation. *Communications of the ACM*, 39(5), 72-76.
- Benford, S., Bowers, J., Fahl, L., Greenhalgh, C. & Snowdon, D. (1995). *User Embodiment in Collaborative Virtual Environments*. Paper presented at the Human Factors in Computing Systems, CHI'95, Denver, CO.
- Bernardet, U., Valjamae, A., Inderbitzin, M., Wierenga, S., Mura, A. & Verschure, P. F. (2011). Quantifying human subjective experience and social interaction using the eXperience Induction Machine. *Brain Res Bull*, 85(5), 305-312.
- Bernhaupt, R. (Hrsg.). (2010). *Evaluating user experience in games. Concepts and Methods*. London: Springer London.
- Bertozi, E. & Lee, S. (2007). Not Just Fun and Games: Digital Play, Gender and Attitudes Towards Technology. *Women's Studies in Communication*, 30(2), 179-204.
- Beullens, K., Roe, K. & Van den Bulck, J. (2011). Excellent gamer, excellent driver? The impact of adolescents' video game playing on driving behavior: a two-wave panel study. *Accid Anal Prev*, 43(1), 58-65.
- Biocca, F. (1992). Virtual Reality Technology: A Tutorial. *Journal of Communication*, 42(4), 23-72.

- Biocca, F. (1997). The cyborg's dilemma: Embodiment in virtual environments. In T. Kunii, J. L. Mey, B. Gorayska, J. P. March & C. J. Nehaniv (Hrsg.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Cognitive Technology (CT '97)* (S. 12–26). Washington: IEEE Computer Society.
- Biocca, F. (2003). *Can we resolve the book, the physical reality and the dream state problems? From the two-pole to a three-pole model of shifts in presence*. Paper presented at the EU Future and Emerging Technologies, Presence Initiative Meeting, Venice, MI.
- Biocca, F. & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. In F. Biocca & M. R. Levy (Hrsg.), *Communication in the age of virtual reality* (S. 57-124). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bischof, A., Obländer, V., Heidt, M., Kanellopoulos, K., Kuszter, V., Liebold, B. et al. (2013). *Interdisziplinäre Impulse für den Begriff "Interaktion"*. Paper presented at the Informationswissenschaft zwischen virtueller Infrastruktur und materiellen Lebenswelten. Tagungsband des 13. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft (ISI 2013), Potsdam.
- Bjork, R. (1978). The updating of human memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Bd. 12). New York, NY: Academic Press.
- Böcking, S., Gysbers, A., Wirth, W., Klimmt, C., Hartmann, T., Schramm, H. et al. (2004). Theoretical and empirical support for distinction between components and conditions of spatial presence, *7th International Workshop on Presence, PRESENCE 2004*. Valecia, SP.
- Böcking, S. & Wirth, W. (2009). Towards Conceptualizing Suspension of Disbelief for Communication Research, *International Communication Association, ICA 2009*. New York, NY.
- Bombeke, K., Van Looy, J., Szmalec, A. & Duyck, W. (2013). Leaving the third dimension: No measurable evidence for cognitive aftereffects of stereoscopic 3D movies. *Journal of the Society for information display*, 21(4), 159-166.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Botvinick, M. & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J. & Poupyrev, I. (2004). *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Boston, MA: Addison-Wesley Professional.
- Boyan, A. (2009). Challenge and Video Game Play: Aligning Mental Models With Game Models, *Annual Meeting of the International Communication Association, ICA 2009*. Marriott, Chicago, IL.
- Bracken, C. C. & Skalski, P. (2006, August 24-26, 2006). *Presence and video games: The impact of image quality and skill level*. Paper presented at the Ninth Annual International Workshop on Presence, Cleveland, OH, USA.
- Bracken, C. C. & Skalski, P. (2009). Presence Reactions to Video Games: The Impact of Image Quality and Skill Level, *Annual meeting of the International Communication Association*. New York City, NY, USA.

- Braitenberg, V. (1984). *Vehicles: Experiments in synthetic psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Breuer, J., Scharkow, M. & Quandt, T. (2013). Sore Losers? A Reexamination of the Frustration–Aggression Hypothesis for Colocated Video Game Play. *Psychology of Popular Media Culture*.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London, UK: Pergamon.
- Brockmyer, J. H., Fox, C. M., Curtiss, K. A., McBroom, E., Burkhart, K. M. & Pidruzny, J. N. (2009). The development of the Game Engagement Questionnaire: A measure of engagement in video game-playing. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(4), 624-634.
- Brogni, A., Vinayagamoorthy, V., Steed, A. & Slater, M. (2006). *Variations in physiological responses of participants during different stages of an immersive virtual environment experiment*. . Paper presented at the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Limassol, Cyprus.
- Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty" usability scale. In P. W. Jordon, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & A. L. McClelland (Hrsg.), *Usability Evalution in Industry*. London: Taylor and Francis.
- Brown, C. (2013). How 'Minority Report' Trapped Us In A World Of Bad Interfaces,*The AWL*. USA.
- Brown, E. & Cairns, P. (2004). A grounded investigation of game immersion. In E. Dykstra-Erickson & M. Tscheligi (Hrsg.), *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 1297–1300). New York, NY: ACM Press.
- Bruner, J. S. & Postman, L. E. O. (1949). On the Perception of Incongruity: A Paradigm. *Journal of Personality*, 18(2), 206-223.
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson.
- Butcher, K. R. (2006). Learning from text with diagrams: Promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 182-197.
- Cameron, J. (Writer) (2009). Avatar [DVD]: Twentieth Century Fox.
- Candy, L. & Ferguson, S. (Hrsg.). (2014). *Interactive Experience in the Digital Age*. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer International.
- Carr, D. & Oliver, M. B. (2010). Second Life, Immersion, and Learning. In P. Zaphiris & C. S. Ang (Hrsg.), *Social computing and virtual communities* (S. 205–223). Boca Raton: CRC Press.
- Castle, A. (2009). Build Your Own Multitouch Surface Computer,*MaximumPC*.
- Chapanis, A. & Lindenbaum, L. E. (1959). A reaction time study of four control-display linkages. *Human Factors*, 1(nov 1959), 1-7.
- Chen, M., Koldo, B., Cuddihy, E. & Medina, E. (2005). *Modelling and measuring engagement in computer games*. Paper presented at the Digital Games Research Conference 2005, Changing Views: Worlds in Play, DiGRA 2005, Vancouver, CA.

- Cho, S., Ku, J., Cho, Y. K., Kim, I. Y., Kang, Y. J., Jang, D. P. et al. (2014). Development of virtual reality proprioceptive rehabilitation system for stroke patients. *Comput Methods Programs Biomed*, 113(1), 258-265.
- Clark, N. (2010). The Sensible Side of Immersion, *Gamasutra. The Art & Business of Making Games* (S. 1-3).
- Cohen, A. R., Lohani, S., Manjila, S., Natsupakpong, S., Brown, N. & Cavusoglu, M. C. (2013). Virtual reality simulation: basic concepts and use in endoscopic neurosurgery training. *Childs Nerv Syst*, 29(8), 1235-1244.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Coleridge, S. T. (1817). *Biographia Literaria*.
- Costa, M. R., Kim, S. Y. & Biocca, F. (2013). *Embodiment and Embodied Cognition*. Paper presented at the 5th International Conference, VAMR 2013, Held as Part of HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings, Part I.
- Costantini, M. & Haggard, P. (2007). The rubber hand illusion: sensitivity and reference frame for body ownership. *Conscious Cogn*, 16(2), 229-240.
- Courtney, M. G. R. (2013). Determining the Number of Factors to Retain in EFA: Using the SPSS R-Menu v2.0 to Make More Judicious Estimations *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 18(8).
- Craik, F. I. & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits. The role of attentional resources. In F. I. Craik & S. Treub (Hrsg.), *Advances in the study of communication and affect*. New York, NY: Plenum Press.
- Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J. & DeFanti, T. A. (1993). Surround-screen projection-based virtual reality. 135-142.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond Boredom and Anxiety: Experiencing Flow in Work and Play*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Cudeck, R. & Browne, M. W. (1983). Cross-Validation of Covariance-Structures. *Multivariate Behavioral Research*, 18(2), 147-168.
- Cutting, E. & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The interaction of relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein & S. Rogers (Hrsg.), *Perception of space and motion*. San Diego, CA: Academic Press.
- Cutting, J. E. (1997). How the eye measures reality and virtual reality. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 29(1), 27-36.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York, NY: Putnam.
- Darken, R. P., Cockayne, W. R. & Carmein, D. (1997). *The omni-directional treadmill: A locomotion device for virtual worlds*. Paper presented at the Proceedings of ACM UIST.

- Davis, E. T. & Hodges, L. F. (1995). Human stereopsis, fusion, and stereoscopic virtual environments. In W. Barfield & T. A. I. Furness (Hrsg.), *Virtual Environments and Advances Interface Design* (S. 145-174). Oxford, GB: Oxford University Press.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. *Manage Sci*, 35(8), 982-1003.
- Davis, R. (2006). Wii Sports Review, *Gamespot*. San Francisco, CA: CBS Interactive.
- De Kort, Y. A. W., IJsselstein, W. A. & Poels, K. (2007, October 25-27, 2007). *Digital games as social presence technology : development of the social presence in gaming questionnaire (SPGQ)*. Paper presented at the 10th Annual International Workshop on Presence, PRESENCE 2007, Barcelona, SP.
- De Leo, G., Goodman, K. S., Radici, E., Secrhist, S. R. & Mastaglio, T. W. (2011). Level of Presence in Team-Building Activities: Gaming Component in Virtual Environments. *The International Journal of Multimedia & Its Applications*, 3(2), 10.
- de Rijk, A. E., Schreurs, K. M. G. & Bensing, J. M. (1999). *Journal of Behavioral Medicine*, 22(6), 549-573.
- Dean, G. M. & Morris, P. E. (2003). The relationship between self-reports of imagery and spatial ability. *Br J Psychol*, 94(Pt 2), 245-273.
- DeVellis, R. F. (2012). *Scale development: Theory and applications* (3). Los Angeles, CA, USA: Sage.
- Dicke, C., Jakus, G., Tomazic, S. & Sodnik, J. (2012, 30.01.-04.02. 2012). *On the Evaluation of Auditory and Head-up Displays While Driving*. Paper presented at the ThinkMind // ACHI 2012, The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, Valencia, Spain.
- Dodge, M., Kitchin, R. & Perkins, C. (Hrsg.). (2011). *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*. Oxford, UK: John Wiley & Sons.
- Donaldson, T. (1968). Robustness of the F-test to errors of both kinds and the correlation between the numerator and denominator of the F-ratio. *American Statistical Journal*, 660-676.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.). (2013). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Dörner, R., Geiger, C., Oppermann, L. & Paelke, V. (2013). Interaktion in Virtuellen Welten. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 157-195). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Dörner, R. & Steinicke, F. (2013). Wahrnehmungsaspekte von VR. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 33-63). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Dorozhkin, D. V., Vance, J. M., Rehn, G. D. & Lemessi, M. (2010). Coupling of interactive manufacturing operations simulation and immersive virtual reality. *Virtual Reality*, 16(1), 15-23.
- Douglas, Y. & Hargadon, A. (2000). The pleasure principle: Immersion, engagement, flow. In F. M. Shipman, P. J. Nürnberg & D. L. Hicks (Hrsg.), *Hypertext '00 – Proceedings of the eleventh ACM on hypertext and hypermedia* (S. 153–160). New York, NY: ACM Press.
- Dourish, P. (2001). *Where the Action is: The Foundations of Embodied Interaction*. Boston, MA: MIT Press.
- Downs, E. P. & Oliver, M. B. (2009). How can Wii learn from video games? Examining relationships between technological affordances and socio-cognitive determinates on affective and behavioral outcomes, *Annual Meeting of the International Communication Association, APA*. Marriott, Chicago, IL.
- Downs, R. M. & Stea, D. (2011). Cognitive Maps and Spatial Behavior: Process and Products. In M. Dodge, R. Kitchin & C. Perkins (Hrsg.), *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation* (S. 312–317). Oxford, UK: John Wiley & Sons.
- Draper, J. V., Kaber, D. B. & Usher, J. M. (1998). Telepresence. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 40(3), 354–375.
- Durlak, J. T. (1987). A typology for interactive media. In M. L. McLaughlin (Hrsg.), *Communication Yearbook 10* (S. 743–757). Newbury Park: Sage.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.
- Dyck, J., Pinelle, D., Brown, B. & Gutwin, C. (2003, 11-13 Juni 2003). *Learning from Games: HCI Design Innovations in Entertainment Software*. Paper presented at the Graphics Interface, Halifax, Nova Scotia, CA.
- Ebner, M., Stickel, C., Scerbakov, N. & Holzinger, A. (2009). A Study on the Compatibility of Ubiquitous Learning (u-Learning) Systems at University Level. 5616, 34-43.
- Ekstrom, R. B., French, J. W. & Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton: Educational Testing Service.
- Electronic Arts Black Box. (2004). *Need for Speed Underground 2*. Redwood City, CA: Electronic Arts,.
- Elson, M., van Looy, J., Vermeulen, L. & Van den Bosch, F. (2012). In the mind's: No Evidence for an effect of stereoscopic 3D on user experience of digital games, *ECREA ECC 2012 preconference Experiencing Digital Games: Use, Effects & Culture of Gaming*. Istanbul, Turkey.
- Engel, D., Curio, C., Tcheang, L., Mohler, B. & Bülthoff, H. H. (2008). *A psychophysically calibrated controller for navigating through large environments in a limited free-walking space*. Paper presented at the 15th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2008), New York, NY.

- Farah, M. J., Hammond, K. M., Levine, D. N. & Calvanio, R. (1988). Visual and spatial mental imagery: Dissociable systems of representation. *Cognitive Psychology*, 20(4), 439-462.
- Farra, S., Miller, E., Timm, N. & Schafer, J. (2013). Improved training for disasters using 3-D virtual reality simulation. *West J Nurs Res*, 35(5), 655-671.
- Farrell Pagulayan, K., Busch, R. M., Medina, K. L., Bartok, J. A. & Krikorian, R. (2006). Developmental normative data for the Corsi Block-tapping task. *J Clin Exp Neuropsychol*, 28(6), 1043-1052.
- Feenstra, H., Ruiter, R. A. & Kok, G. (2010). Social-cognitive correlates of risky adolescent cycling behavior. *BMC Public Health*, 10, 408.
- Felnhöfer, A. & Kothgassner, O. D. (Hrsg.). (2014). *Challenging Presence. Proceedings of the International Society for Presence Research. 15th International Conference on Presence*. Vienna, AU: facultas.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics* (4). London; Thousand Oaks, CA, USA: Sage.
- Finstad, K. (2010). The Usability Metric for User Experience. *Interacting with Computers*, 22(5), 323-327.
- Fischbach, M., Wiebusch, D., Latoschik, M. E., Bruder, G. & Steinicke, F. (2012). *smARTbox: A Portable Setup for Intelligent Interactive Applications*. Paper presented at the Mensch und Computer Demo Papers, Konstanz.
- Fischer, P., Guter, S. & Frey, D. (2008). The Effects of Risk-Promoting Media on Inclinations Toward Risk Taking. *Basic and Applied Social Psychology*, 30(3), 230-240.
- Fischer, P., Kubitzki, J., Guter, S. & Frey, D. (2007). Virtual driving and risk taking: do racing games increase risk-taking cognitions, affect, and behaviors? *J Exp Psychol Appl*, 13(1), 22-31.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Fontaine, G. (1992). The experience of a sense of presence in intercultural and international encounters. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(4), 482-490.
- Foreman, N. & Gillett, R. (1998). Visual-spatial skill and standard psychometric tests. In N. Foreman & R. Gillett (Hrsg.), *A Handbook of Spatial Research Paradigms and Methodologies: Clinical and Comparative Studies* (Bd. 1). East Sussex, UK: Psychology Press.
- Forster, W. (Hrsg.). (2004). *Gameplan 2: Joysticks: Eine illustrierte Geschichte der Game-Controller 1972-2004*. Utting: Gameplan.
- Fox, J., Arena, D. & Bailenson, J. N. (2009). Virtual Reality. *Journal of Media Psychology: Theories, Methods, and Applications*, 21(3), 95-113.
- Freeman, J. (2004). Implications for the measurement of presence from convergent evidence on the structure of presence, *ICA 2004*. New Orleans, USA.

- Freeman, J., Avons, S. E., Meddis, R., Pearson, D. E. & Ijsselstein, W. (2000). Using Behavioral Realism to Estimate Presence: A Study of the Utility of Postural Responses to Motion Stimuli. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(2), 149-164.
- French, D. J., West, R. J., Elander, J. & Wilding, J. M. (1993). Decision-making style, driving style, and self-reported involvement in road traffic accidents. *Ergonomics*, 36(6), 627-644.
- Friedman, N. P. & Miyake, A. (2000). Differential roles for visuospatial and verbal working memory in situation model construction. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 61-83.
- Froehlich, B., Hochstrate, J., Skuk, V. & Huckauf, A. (2006). *The GlobeFish and the GlobeMouse*. Paper presented at the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'06, Montreal, CA.
- Gallup, G. G. (1970). Chimpanzees: self-recognition. *Science*, 167, 86-87.
- Gander, P. (1999). *Two myths about immersion in new storytelling media*. [PDF-document]. Verfügbar unter: http://www.pierregander.com/research/two_myths_about_immersion.pdf [30 October 2013].
- George, D. & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference. 11.0 update (4th ed.)*. Boston: Allyn & Bacon.
- Gerbner, G. & Gross, L. (1976). Living with television: the violence profile. *J Commun*, 26(2), 173-199.
- Gerrig, R. J. (1993). *Experiencing narrative worlds*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Giraldi, G. A., Silva, R. & Oliveira, J. C. (2003). *Introduction to Virtual Reality* (Technical Report 06/2003). Brazil: LNCC.
- Glass, G. V., Peckham, P. D. & Sanders, J. R. (1972). Consequences of failure to meet assumptions underlying fixed effects analyses of variance and covariance. *Rev. Education Res.*, 42, 237-288.
- Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(1), 1-55.
- Glenberg, A. M., Meyer, M. & Lindem, K. (1987). Mental models contribute to foregrounding during text comprehension. *Journal of Memory and Language*, 26(1), 69-83.
- Goncalves, R., Pedrozo, A. L., Coutinho, E. S., Figueira, I. & Ventura, P. (2012). Efficacy of virtual reality exposure therapy in the treatment of PTSD: a systematic review. *PLoS One*, 7(12), e48469.
- Graesser, A. C., Singer, M. & Trabasso, T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review*, 101(3), 371-395.
- Green, M. C. & Brock, T. C. (2000). The role of transportation in the persuasiveness of public narratives. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), 701-721.

- Green, M. C., Brock, T. C. & Kaufman, G. F. (2004). Understanding media enjoyment: The role of transportation into narrative worlds. *Communication Theory*, 14(4), 311–327.
- Grimm, P., Herold, R., Hummel, J. & Broll, W. (2013). VR-Eingabegeräte. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 97-127). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Grimm, P., Herold, R., Reiners, D. & Cruz-Neira, C. (2013). VR-Ausgabegeräte. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 127-157). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gulian, E., Matthews, G., Glendon, A. I., Davies, D. R. & Debney, L. M. (1989). Dimensions of Driver Stress. *Ergonomics*, 32(6), 585-602.
- Gysbers, A., Klimmt, C., Hartmann, T., Nosper, A. & Vorderer, P. (2004). Exploring the book problem: Text design, mental representations of space and spatial presence in readers, *7th International Workshop on Presence, PRESENCE 2004*. Valencia, SP.
- Haans, A. (2014). *In Search of the Fixed Points on the Presence Scale*. Paper presented at the Challenging Presence. International Society for Presence Research, ISPR 2014, Vienna, AU.
- Haans, A. & Ijsselstein, W. A. (2012). Embodiment and telepresence: Toward a comprehensive theoretical framework. *Interacting with Computers*, 24(4), 211-218.
- Haber, H. F. & Weiss, G. (Hrsg.). (1999). *Perspectives on Embodiment: The Intersections of Nature and Culture*. London, UK: Routledge.
- Häcker, H. O. & Stapf, K.-H. (2009). *Dorsch Psychologisches Wörterbuch* (15. Edition). Bern: Huber.
- Haenggi, D., Kintsch, W. & Gernsbacher, M. A. (1995). Spatial situation models and text comprehension. *Discourse Processes*, 19(2), 173-199.
- Hagendorf, H., Krummenacher, J., Müller, H. J. & Schubert, T. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit*. Berlin: Springer Medizin.
- Häkkinen, J., Pölönen, M., Takatalo, J. & Nyman, G. (2006). Simulator sickness in virtual display gaming: A comparison of stereoscopic and non-stereoscopic situations, *8th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* Helsinki, Finland.
- Han, F. & Liu, H. (2012). Semiparametric principal component analysis. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25, 171-179.
- Hart, S. & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (S. 139-183). Amsterdam: North Holland.
- Hartley, H. O. (1950). The Use of Range in Analysis of Variance. *Biometrika*, 39, 271-280.

- Hartmann, T. & Reinecke, L. (2013). Skalenkonstruktion in der Kommunikationswissenschaft. In W. Möhring & D. Schlütz (Hrsg.), *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft* (S. 41-61). Wiesbaden: Springer VS.
- Hassenzahl, M., Burmester, M. & Koller, F. (2003). *AttrakDiff: A questionnaire for measuring perceived hedonistic and pragmatic quality*. [AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität]. Paper presented at the Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung, Stuttgart, Leipzig.
- Hassenzahl, M., Eckoldt, K. & Thielsch, M. T. (2009). *User Experience und Experience Design - Konzepte und Herausforderungen*. Paper presented at the Usability Professionals 2009, 7. Workshop German Chapter of Usability Professionals Association, Stuttgart.
- Havranek, M., Langer, N., Cheetham, M. & Jancke, L. (2012). Perspective and agency during video gaming influences spatial presence experience and brain activation patterns. *Behav Brain Funct*, 8, 34.
- Hayashi, A., Chen, C., Ryan, T. & Wu, J. The Role of Social Presence and Moderating Role of Computer Self Efficacy in Predicting the Continuance Usage of E-Learning Systems. *Journal of Information Systems Education*, 15(2), 139.
- Heeter, C. (1992). Being there: The subjective experience of presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(2), 262–271.
- 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(2), 151-176.
- Held, R. M. & Durlach, N. I. (1992). Telepresence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1), 109-112.
- Hendrix, C. & Barfield, W. (1995). Relationship between monocular and binocular depth cues for judgements of spatial information and spatial instrument design. *Displays*, 16, 103-113.
- Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(6), 242-247.
- Hirose, M., Hirota, K. & Kijima, R. (1992). Human behavior in virtual environments. *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display III, SPIE*, 1666, 548-559.
- Hofer, M., Wirth, W., Kuehne, R., Schramm, H. & Sacau, A. (2012). Structural Equation Modeling of Spatial Presence: The Influence of Cognitive Processes and Traits. *Media Psychology*, 15(4), 373-395.
- Hoffman, D. D. (2003). *Visuelle Intelligenz. Wie die Welt im Kopf entsteht*. München: dtv.
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K. & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 33.31-33.30.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G. & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework of perception and action. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(4), 869-937.

- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30, 179-185.
- Howarth, P. A. (2011). Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: a review. *Ophthalmic Physiol Opt*, 31(2), 111-122.
- Hubona, G. S., Wheeler, P. N., Shirah, G. W. & Brandt, M. (1999). The relative contributions of stereo, lighting, and background scenes in promoting 3D depth visualization. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 6(3), 214-242.
- Hull, J. G., Draghici, A. M. & Sargent, J. D. (2012). A longitudinal study of risk-glorifying video games and reckless driving. *Psychology of Popular Media Culture*, 1(4), 244-253.
- Hunt, C. G., Houtman, C. J., Jones, D. C., Kitin, P., Korripally, P. & Hammel, K. E. (2013). Spatial mapping of extracellular oxidant production by a white rot basidiomycete on wood reveals details of ligninolytic mechanism. *Environ Microbiol*, 15(3), 956-966.
- Hürst, W. & Wezel, C. (2012). Gesture-based interaction via finger tracking for mobile augmented reality. *Multimedia Tools and Applications*, 62(1), 233-258.
- Hutcheson, G. & Sofroniou, N. (1999). *The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalized linear models*. London; Thousand Oaks, CA, USA: Sage.
- Ijsselstein, W., de Kort, Y. A. W. & Poels, K. (in Vorbereitung). The Game Experience Questionnaire: Development of a self-report measure to assess the psychological impact of digital games.
- Ijsselstein, W., De Kort, Y. A. W., Poels, K., Jurgelionis, A. & Bellotti, F. (2007). *Characterising and measuring user experiences in digital games*. Paper presented at the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2007), Salzburg, AU.
- Ijsselstein, W., Ridder, H. d., Freeman, J., Avons, S. E. & Bouwhuis, D. (2001). Effects of Stereoscopic Presentation, Image Motion, and Screen Size on Subjective and Objective Corroborative Measures of Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 298-311.
- International Society for Presence Research. (2000). *The Concept of Presence: Explication Statement* Verfügbar unter: <http://ispr.info/> [25 September 2013]
- Iversen, H. & Rundmo, T. (2004). Attitudes towards traffic safety, driving behaviour and accident involvement among the Norwegian public. *Ergonomics*, 47(5), 555-572.
- Iyengar, S. (2008). Priming Theory. In W. Donsbach (Hrsg.), *The International Encyclopedia of Communication* (S. 347–365): Blackwell Publishing.
- Iyengar, S. & Kinder, D. R. (1987). *News that matters: Television and American opinion*. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press.
- Izard, C. E. (1993). *The Differential Emotions Scale: DES IV-A; [a Method of Measuring the Meaning of Subjective Experience of Discrete Emotions]*: University of Delaware.
- Jacko, J. A. (Hrsg.). (2012). *The Human-Computer Interaction Handbook. Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications* (3rd ed.). Boca Balton, FL: CRC Press, Taylor & Francis.

- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Holt.
- Jefferies, M. E. & Yeap, W. K. (2008). Robot and Cognitive Approaches to Spatial Mapping. In M. E. Jefferies & W. K. Yeap (Hrsg.), *Robot and Cognitive Approaches to Spatial Mapping* (Bd. 38, S. 1-5). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T. et al. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 641–661.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2004). The history of mental models. In K. Manktelow & M. C. Chung (Hrsg.), *Psychology of reasoning: Theoretical and historical perspectives* (S. 179-212). New York: Psychology Press.
- Johnson, D., Gardner, J., Wiles, J., Sweetser, P. & Hollingsworth, K. (2003). *The Inherent Appeal of Physically Controlled Peripherals*. Paper presented at the Entertainment Computing: Technologies and Applications, IFIP First International Workshop on Entertainment Computing, IWEC 2002, Makuhari, JP.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis* (2nd Edition). New York, NY: Springer.
- Juul, J. (2009). *A Casual Revolution: Reinventing Video Games and Their Players*. Cambridge: MIT Press.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Kallinen, K., Kallenbach, J. & Ravaja, N. (2011). The Effects of Content Type and Presentation Style on User Experiences of Multimedia Content on a Tablet PC. 6764, 466-475.
- Kanji, G. K. (2006). *100 Statistical Tests* (3rd Edition). Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Kappen, D. L., Gregory, J., Stepchenko, D., Wehbe, R. R. & Nacke, L. E. (2013). Exploring social interaction in co-located multiplayer games. 1119.
- Kato, M. (2010). *Gran Turismo 5. Polyphony Digital Realizes Its Racing Dream*. [Website]. Verfügbar unter: http://www.gameinformer.com/games/gran_turismo_5/b/ps3/archive/2010/11/24/polyphony-digital-realizes-its-racing-dream.aspx [17. 02. 2014].
- Katz, E. & Foulkes, D. (1962). On the Use of the Mass Media as "Escape": Clarification of a Concept. *Public Opinion Quarterly*, 26(3), 377.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220.
- Kiltner, K., Normand, J. M., Sanchez-Vives, M. V. & Slater, M. (2012). Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion. *PLoS One*, 7(7), e40867.
- Kim, D. & Kim, S. K. (2012). Comparing patterns of component loadings: principal component analysis (PCA) versus independent component analysis (ICA) in analyzing multivariate non-normal data. *Behav Res Methods*, 44(4), 1239-1243.

- Kim, T. & Biocca, F. (1997). Telepresence via television: Two dimensions of telepresence may have different connections to memory and persuasion. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2).
- King, R. D. (2013). A brief history of stereoscopy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 5(4), 334-340.
- Kirakowski, J. & Corbett, M. (1993). SUMI: The Software Usability Measurement Inventory. *British Journal of Educational Technology*, 24, 210-212.
- Klatzky, R. L. (1998). Allocentric and Egocentric Spatial Representations: Definitions, Distinctions, and Interconnections. *1404*, 1-17.
- Klemmert, H. (2004). *Äquivalenz- und Effekttests in der psychologischen Forschung*. Frankfurt/Main: Lang.
- Klimmt, C. (2008). Escapism. In W. Donsbach (Hrsg.), *International Encyclopedia of Communication*: Blackwell Publishing.
- Klimmt, C. & Hartmann, T. (2006). Effectance, self-efficacy, and the motivation to play video games. In P. Vorderer & J. Bryant (Hrsg.), *Playing video games: Motives, responses, and consequences* (S. 132-145). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Klimmt, C. & Vorderer, P. (2003). Media Psychology "is not yet there": Introducing Theories on Media Entertainment to the Presence Debate. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12(4), 346-359.
- Komulainen, J., Takatalo, J., Lehtonen, M. & Nyman, G. (2008). Psychologically structured approach to user experience in games. 487.
- Korhonen, H., Montola, M. & Arrasvuori, J. (2009, 13-16. Oktober 2009). *Understanding Playful User Experience through Digital Games*. Paper presented at the International Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces, DPPI 09, Compiègne, FR.
- Koslow, R. E. (1987). Sex-related differences and visual-spatial mental imagery as factors affecting symbolic motor skill acquisition. *Sex Roles*, 17(9-10), 521-527.
- Kosslyn, S. M., Ball, T. M. & Reiser, B. J. (1978). Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 47-60.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L. & Ganis, G. (2006). *The Case for Mental Imagery*. Oxford: Oxford University Press.
- Krahn, B. (2012). *User Experience: Konstruktdefinition und Entwicklung eines Erhebungsinstruments. [User Experience: Definition of the construct and development of measurements]*. . Bonn: GUX | Gesellschaft für User Experience mbH.
- Krapp, A. (1993). The construct of interest: Characteristics of individual interests and interest-related actions from the perspective of a person-object-theory. *Studies in Educational Psychology*, 4.
- Kroeker, K. L. (2010). Looking beyond stereoscopic 3D's revival. *Communications of the ACM*, 53(8), 14.

- Krugman, H. E. (1965). The Impact of Television Advertising: Learning Without Involvement. *Public Opinion Quarterly*, 29(3), 349.
- Kubovy, M. (1986). *The psychology of linear perspective and renaissance art*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kulshreshth, A., Schild, J. & LaViola, J. J. (2012). *Evaluating user performance in 3D stereo and motion enabled video games*. Paper presented at the FDG '12 Proceedings of the International Conference on the Foundations of Digital Games New York, NY.
- Laarni, J., Ravaja, N., Saari, T. & Hartmann, T. (2004). *Personality-related differences in subjective presence*. Paper presented at the Seventh Annual International Workshop Presence 2004, Valencia, SP.
- Lambooij, M., Ijsselstein, W., Fortuin, M. & Heynderickx, I. (2009). Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review. *Journal of Imaging Science and Technology*, 53(3).
- Lampton, D. R., Knerr, B. W., Goldberg, S. L., Bliss, J. P., Moshell, J. M. & Blau, B. S. (1994). The virtual environment performance assessment battery (VEPAB). *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 3(2), 145-157.
- Lang, A. (2000). The limited capacity model of mediated message processing. *Journal of Communication*, 50(1), 46-70.
- Lang, P. J. (1979). A Bio-Informational Theory of Emotional Imagery. *Psychophysiology*, 16(6), 495-512.
- Lang, P. J. (1980). Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: Computer applications. In J. B. Sidowski, J. H. Johnson & T. A. Williams (Hrsg.), *Technology in mental health care delivery systems* (S. 119-167). Norwood, NY: Ablex.
- Lapointe, J. F., Savard, P. & Vinson, N. G. (2011). A comparative study of four input devices for desktop virtual walkthroughs. *Computers in Human Behavior*, 27(6), 2186-2191.
- Laugwitz, B., Held, T. & Schrepp, M. (2008). *Construction and evaluation of a user experience questionnaire*. Paper presented at the USAB 2008, LNCS 5298.
- LaViola, J. J. & Litwiller, T. (2011). *Evaluating the benefits of 3d stereo in modern video games*. Paper presented at the CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems New York, NY.
- Law, E. L., Hvannberg, E. & Cockton, G. (Hrsg.). (2008). *Maturing Usability*. London: Springer.
- Lee, K. M. (2004). Presence, Explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27-50.
- Lee, S. & Kim, G. J. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.
- Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E. & Davidoff, J. (2001). A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 282-297.

- Levine, T. R., Weber, R., Park, H. S. & Hullett, C. R. (2008). communication researchers' guide to null hypothesis significance testing and alternatives. *Human Communication Research*, 34(188-209).
- Lewis, D. (1978). Truth in fiction. *American Philosophical Quarterly*, 15(1), 37–46.
- Lewis, J. R. (1995). IBM computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57-78.
- Lewis, K. J., Borst, G. & Kosslyn, S. M. (2011). Integrating visual mental images and visual percepts: new evidence for depictive representations. *Psychol Res*, 75(4), 259-271.
- Liebes, T. & Katz, E. (1986). Patterns of involvement in television fiction: A comparative analysis. *European Journal of Communication*, 1(2), 151–171.
- Lilli, W. & Frey, D. (1993). Die Hypothesentheorie der sozialen Wahrnehmung. In D. Frey & M. Irle (Hrsg.), *Theorien der Sozialpsychologie* (Bd. Band 1: Kognitive Theorien, S. 49-78). Bern, SW: Huber.
- Lim, Y.-k. & Rogers, Y. (2008). A Framework and an Environment for Collaborative Analysis of User Experience. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 529-555.
- Limperos, A. M., Schmierbach, M. G., Kegerise, A. D. & Dardis, F. E. (2011). Gaming across different consoles: exploring the influence of control scheme on game-player enjoyment. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 14(6), 345-350.
- Lindley, S. E., Le Couteur, J. & Berthouze, N. L. (2008). *Stirring up experience through movement in game play*. Paper presented at the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08, New York, NY.
- Ling, Y., Brinkman, W.-P., Nefs, H. T., Qu, C. & Heynderickx, I. (2012). Effects of Stereoscopic Viewing on Presence, Anxiety, and Cybersickness in a Virtual Reality Environment for Public Speaking. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(3), 254-267.
- Linkenauger, S. A., Leyrer, M., Bulthoff, H. H. & Mohler, B. J. (2013). Welcome to wonderland: the influence of the size and shape of a virtual hand on the perceived size and shape of virtual objects. *PLoS One*, 8(7).
- Lombard, M. & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2).
- Lombard, M., Ditton, T. & Weinstein, L. (2009). Measuring (Tele)Presence: The Temple Presence Inventory, *Twelfth International Workshop on Presence*. Los Angeles, CA.
- Lombard, M. & Jones, M. T. (2007). Identifying the (tele)presence literatury. *PsychNology*, 5(2), 197–206.
- Lombard, M., Weinstein, L. & Ditton, T. (2011). Measuring Telepresence: The Validity of the Temple Presence Inventory (TPI) in a Gaming Context, *International Society for Presence Research Annual Conference, ISPR 2011* (S. 1-10). Edinburgh, SC: Edinburgh Napier University.

- Lorenz, M., Rusdorf, S., Woelk, S. & Brunnett, G. (2003). *Virtualiti3D (V3D): A system independent, real time-animated, three dimensional graphical user interface*. Paper presented at the IASTED Int. Conf. on Visualization, Imaging, and Image Processing VIIP 2003.
- Luk'yanitsa, A. A. (2012). Image synthesis for autostereoscopic systems. *Computational Mathematics and Modeling*, 23(2), 195-207.
- MacKenzie, I. S. & Zhang, S. X. (1999). *The design and evaluation of a high-performance soft keyboard*. Paper presented at the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI'99, New York, NY.
- Mahoney, N., Oikonomou, A. & Wilson, D. (2011, 27-30 July 2011). *Stereoscopic 3D in video games: A review of current design practices and challenges*. Paper presented at the 16th International Conference on Computer Games (CGAMES), Louisville, KY.
- Mair, G. M. (2013). *How Fiction Informed the Development of Telepresence and Teleoperation*. Paper presented at the 5th International Conference, VAMR 2013, Held as Part of HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings, Part I.
- Mammarella, I. C., Pazzaglia, F. & Cornoldi, C. (2008). Evidence for different components in children's visuospatial working memory. *British Journal of Developmental Psychology*, 26(3), 337-355.
- Marshall, K. (2013, 23.03.2014). *3D TV is dead. Are 3D movies next?* Verfügbar unter: <http://www.spike.com/articles/nzmiuy/all-access-weekly-3d-tv-is-dead-are-3d-movies-next>
- Martinez, M. E. (1999). Cognitive Representations: Distinctions, Implications, and Elaborations. In I. E. Sigel (Hrsg.), *Development of Mental Representation: Theories and Applications* (S. 3-12). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Masters, T. (2010). James Cameron: 3D conversion best for classic films, *BBC News*. London: BBC.
- Mazlan, M. N. A. & Bakar, M. A. A. (2013). Students' Perception of Self-presentation towards Avatar. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 97, 361-367.
- McAuley, E., Duncan, T. & Tammen, V. V. (1989). Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: a confirmatory factor analysis. *Res Q Exerc Sport*, 60(1), 48-58.
- McGloin, R. & Krcmar, M. (2011). The Impact of Controller Naturalness on Spatial Presence, Gamer Enjoyment, and Perceived Realism in a Tennis Simulation Video Game. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 20(4), 309-324.
- McMahan, R. P., Alon, A. J. D., Lazem, S., Beaton, R. J., Machaj, D., Schaefer, M. et al. (2010). Evaluating natural interaction techniques in video games. 11-14.
- McMahan, R. P., Gorton, D., Gresock, J., McConnell, W. & Bowman, D. A. (2006). Separating the effects of level of immersion and 3D interaction techniques. 108.
- McNamara, T. P. (1986). Mental representations of spatial relations. *Cognitive Psychology*, 18, 87-121.

- McWhorter, S., Hodges, L. F. & Rodriguez, W. (1991). *Evaluation of display parameters affecting user performance of an interactive task in a virtual environment*. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Metzinger, T. (2006). Reply to Gallagher: different conceptions of embodiment. *Psyche*, 12(4).
- Michel, B. (2014). Rembrandt 3D Demonstrates Top-Class Glasses-Free 3D Using 4K LCD Panel *Stereoscopy News*. Sprimont, BE.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1994). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. 2351, 282-292.
- Minsky, M. (1980). Telepresence. *Omni*, June, 45–51.
- Moby Games. (2014). [Website]. Verfügbar unter: <http://www.mobygames.com/search/quick?q=Tennis> [21.02. 2014].
- Mohseni, R., Pietschmann, D. & Liebold, B. (accepted). Extensive Modding for Game Research. In P. Lankoski & S. Björk (Hrsg.), *Game Research Methods*. Pittsburgh, PA: ETC Press.
- Mon-Williams, M. & Wann, J. P. (1998). Binocular Virtual Reality Displays: When Problems Do and Don't Occur. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 40(1), 42-49.
- Moosbrugger, H. & Hartig, J. (2002). Factor analysis in personality research: Some artefacts and their consequences for psychological assessment. *Psychologische Beiträge*, 44, 136-158.
- Morran, C. (2014). 3D TV is dead. Will glasses-free 3D resurrect it?, *Consumerist*. Yonkers, NY: Consumer Media LLC.
- Morrow, D. G., Greenspan, S. L. & Gordon, H. B. (1987). Accessibility and Situation Models in Narrative Comprehension. *Journal of Memory and Language*, 26, 165-187.
- Müller, H. J. & Rabbitt, P. M. A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 315-330.
- Muncy, J. A. & Hunt, S. D. (1984). Consumer involvement: Definitional issues and research directions. In T. C. Kinnear (Hrsg.), *NA - advances in consumer research* (Bd. 11, S. 193–196). Provo, UT: Association for Consumer Research.
- Murphy, K. R., Myers, B. & Wolach, A. (2009). *Statistical power analysis: A simple and general model for traditional and modern hypothesis tests* (3rd). New York, NY: Routledge.
- Murray, J. (1997). *Hamlet on the holodeck: The future of narrative in cyberspace*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nabi, H., Rachid Salmi, L., Lafont, S., Chiron, M., Zins, M. & Lagarde, E. (2007). Attitudes associated with behavioral predictors of serious road traffic crashes: results from the GAZEL cohort. *Inj Prev*, 13(1), 26-31.
- Nacke, L. E., Drachen, A., Kuikkaniemi, K., Niesenhaus, J., Korhonen, H. J., van den Hoogen, W. M. et al. (2009). *Playability and Player Experience Research*. Paper presented at the Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory. Proceedings of DiGRA 2009, London, UK.

- Nacke, L. E., Niesenhaus, J., S., E., Canossa, A., Kuikkaniemi, K. & Immich, T. (2010). *Bringing Digital Games to User Research and User Experience*. Paper presented at the Interaktive Kulturen 2010.
- Noessel, C. (2013). What Sci-Fi Tells Interaction Designers About Gestural Interfaces, *Smashing Magazine*. Freiburg, DE: Smashing Media.
- Nordstokke, D. W. & Zumbo, B. D. (2010). A new nonparametric Levene test for equal variances. *Psicológica*, 31(2), 401-430.
- Norman, D. (1998). *The invisible computer: Why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the answer*. Boston, MA: MIT Press.
- Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things - Revised and expanded edition* (3rd). New York, NY: Basic Books.
- Novint. (2012). *Novint Falcon*. [Website]. Verfügbar unter: <http://home.novint.com/index.php/products/novintfalcon> [06. 04. 2014].
- Nowak, K. L. & Biocca, F. (2003). The Effect of the Agency and Anthropomorphism on Users' Sense of Telepresence, Copresence, and Social Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12(5), 481-494.
- Nunez, D. (2007). A capacity limited, cognitive constructionist model of virtual presence (Bd. 2013). University of Cape Town South Africa.
- O'Connor, B. P. (2000). SPSS and SAS programs for determining the number of components using parallel analysis and Velicer's MAP test. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 32(3), 396-402.
- Ohler, P. (1994). *Kognitive Filmpsychologie. Verarbeitung und mentale Repräsentation [Cognitive psychology of movies. Processing and mental representation of narrative movies]*. Münster: MAKS-Publikationen.
- Ohler, P. & Nieding, G. (1996). Cognitive modeling of suspense-inducing structures in narrative films. In P. Vorderer, H. J. Wulff & M. Friedrichsen (Hrsg.), *Suspense conceptualizations, theoretical analyses and empirical explorations* (S. 129-147). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Oliver, M. B. (1993). Exploring the Paradox of the Enjoyment of Sad Films. *Human Communication Research*, 19(3), 315-342.
- Olsen, R. (2008). In P. J. Lavrakas (Hrsg.), *Encyclopedia of Survey Research Methods*.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and Verbal Processes*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Patel, H., Stefani, O., Sharples, S., Hoffmann, H., Karaseitanidis, I. & Amditis, A. (2006). Human centred design of 3-D interaction devices to control virtual environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(3), 207-220.
- Peltonen, J., Ma, W. & Kozlowski, T. (2014). Effective spatial mapping for coupled code analysis of thermal-hydraulics/neutron-kinetics of boiling water reactors. *Annals of Nuclear Energy*, 63, 461-485.
- Perner, J. (1993). *Understanding the representational mind*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Persky, S. & McBride, C. M. (2009). Immersive virtual environment technology: a promising tool for future social and behavioral genomics research and practice. *Health Commun*, 24(8), 677-682.
- Petrie, H. & Bevan, N. (2009). The evaluation of accessibility, usability and user experience. In C. Stephanidis (Hrsg.), *The Universal Access Handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Petty, R. E. & Cacioppo, J. T. (1986). The elaboration likelihood model of persuasion. In L. Berkowitz (Hrsg.), *Advances in experimental social psychology* (S. 123–205). New York, NY: Academic Press.
- Petty, R. E., Cacioppo, J. T. & Schumann, D. (1983). Central and peripheral routes to advertising effectiveness: The moderating role of involvement. *Journal of Consumer Research*, 10(2), 135.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1956). *The child's conception of space*. London, UK: Routledge & Kegan Paul.
- Pietschmann, D. (2009). *Experiencing virtual environments. Involvement, immersion and engagement in computer games [Das Erleben virtueller Welten. Involvierung, Immersion und Engagement in Computerspielen]*. Glückstadt: vwh.
- Pietschmann, D. (2013). Spatial Mapping of Input and Output Spaces in Video Games. In F. Schröter (Hrsg.), *Games, Cognition, and Emotion*. Hamburg University: Hamburg University.
- Pietschmann, D. & Liebold, B. (2014). Effects of Stereoscopic Presentation and Natural User Interfaces on Game Performance and User Experience. In J. D. Ivory & N. D. Bowman (Hrsg.), *Beyond the Pixels, Pre-Conference to the Annual Meeting of the International Communication Association, ICA*. Seattle, WA.
- Pietschmann, D., Liebold, B. & Ohler, P. (2013, 31.01.-01.02.2013). *Spatial Mapping of Mental Interaction Models and Stereoscopic Presentation*. Paper presented at the 2nd Conference on Research and Use of VR/AR Technologies, VAR2, Chemnitz.
- Pietschmann, D., Liebold, B., Valtin, G., Nebel, S. & Ohler, P. (2013, 04.-06.09.2013). *Effects of Video Game GUIs on the Construction of Rich Spatial Situation Models and Spatial Presence*. Paper presented at the 8th Conference of the Media Psychology Division of the German Psychological Society, Würzburg.
- Pietschmann, D., Liebold, B., Valtin, G. & Ohler, P. (2013). Taking space literally: Reconceptualizing the effects of stereoscopic representation on User Experience. *Italian Journal of Game Studies*, 2(1), Retrieved from <http://www.gamejournal.it/taking-space-literally-reconceptualizing-the-effects-of-stereoscopic-representation-on-user-experience/#.UUmGAb8purd>.
- Pietschmann, D. & Rusdorf, S. (2014). *Matching Levels of Task Difficulty for Different Modes of Presentation in a VR Table Tennis Simulation by Using Assistance Functions and Regression Analysis*. Paper presented at the HCI International 2014, Heraklion, GR.
- Pietschmann, D., Valtin, G. & Ohler, P. (2012). The Effect of Authentic Input Devices on Computer Game Immersion. In J. Fromme & A. Unger (Hrsg.), *Computer Games and*

- New Media Cultures. A Handbook of Digital Games Studies* (S. 279-292). Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.
- Pimentel, K. & Teixeira, K. (1993). *Virtual reality: Through the new looking-glass*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Pointer, J. S. (2012). The interpupillary distance in adult Caucasian subjects, with reference to 'readymade' reading spectacle centration. *Ophthalmic & physiological optics: the journal of the British College of Ophthalmic Opticians*, 32(4), 324-331.
- Polonen, M., Jarvenpaa, T. & Bilcu, B. (2013). Stereoscopic 3D entertainment and its effect on viewing comfort: comparison of children and adults. *Appl Ergon*, 44(1), 151-160.
- Popova, L. (2011). *Perceived reality in media messages: Concept explication and testing*. Dissertation, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, CA.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. & Davidson, B. J. (1980). Attention and the Detection of Signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109.
- Proctor, M. D. & Campbell-Wynn, L. (2014). Effectiveness, usability, and acceptability of haptic-enabled virtual reality and mannequin modality simulators for surgical cricothyroidotomy. *Military Medicine*, 179(3), 260-264.
- Prothero, J., Parker, D. E., Furness, T. A. I. & Wells, M. J. (1995). Towards a robust quantitative measure for presence, *Conference on Experimental Analysis and Measurement of Situation Awareness*. Daytona Beach, FL.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the Mind's Eye Tells the Mind's Brain: A Critique of Mental Imagery. 1-36.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). *Seeing and Visualizing: It's Not What You Think*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rajae-Joordens, R. J. E. (2008). Measuring Experiences in Gaming and TV Applications. In J. H. D. M. Westerink, M. Ouwerkerk, T. J. M. Overbeek, W. F. Pasveer & B. Ruyter (Hrsg.), *Probing Experience. From Assessment of User Emotions and Behaviour to Development of Products* (Bd. 8, S. 77-90): Springer Netherlands.
- Rajae-Joordens, R. J. E., Langendijk, E., Wilinski, P. & Heynderickx, I. (2005). Added value of a multi-view auto-stereoscopic 3D display in gaming applications, *12th International Display Workshops in conjunction with Asia Display*. Takamatsu, Japan.
- Raney, A. A. (2002). Moral Judgment as a Predictor of Enjoyment of Crime Drama. *Media Psychology*, 4(4), 305-322.
- Ratan, R. A. (2012). Self-Presence, explicated: Body, emotion, and identity extension into the virtual self. In R. Luppiciini (Hrsg.), *Handbook on Research on Technoself*. New York, NY: IGI Global.
- Ratan, R. A. & Hasler, B. S. (2009). *Self-Presence Standardized: Introducing the Self-Presence Questionnaire (SPQ)*. Paper presented at the International Conference on Presence, ISPR 2009, Los Angeles, CA.
- Ratan, R. A. & Hasler, B. S. (2010). Exploring Self-Presence in Collaborative Virtual Teams. *PsychNology, online*.

- Ratan, R. A. & Sah, Y. J. (2014). *The Spawn of Presence: Examining the Relationship between Presence and Self-Presence*. Paper presented at the Challenging Presence. International Society for Presence Research, ISPR 2014, Vienna, AU.
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J. & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the road: A real distinction? . *Ergonomics*, 30(10/11), 1315–1332.
- Reeves, B., Lang, A., Kim, E. Y. & Tatar, D. (1999). The Effects of Screen Size and Message Content on Attention and Arousal. *Media Psychology*, 1(1), 49-67.
- Reich, D. (2013, 10.-12.10.2013). *Der Einfluss von Immersivität in virtuellen Umgebungen auf Situation Awareness im Fahrzeug*. Paper presented at the Grundlagen und Anwendung der Mensch-Maschine-Interaktion: 10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin.
- Remo, C. (2010). On Changing the Shape of Interaction, *Gamasutra. The Art & Business of Making Games* (S. 1-6).
- Richard, P. & Coiffet, P. (1995). *Human perceptual issues in virtual environments: Sensory substitution and information redundancy*. Paper presented at the 4th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, RO-MAN'95, Tokyo.
- Riecke, B. E. & Von der Heyde, M. (2002). *Qualitative Modeling of Spatial Orientation Processes using logical Propositions: Interconnecting Spatial Presence, Spatial Updating, and Spatial Cognition* (Technical Report No. 100): Max Planck Institute for Biological Cybernetics.
- Riecke, B. E., von der Heyde, M. & Bühlhoff, H. H. (2001). *How do we know where we are? Contribution and interaction of visual and vestibular cues for spatial updating in real and virtual environments*. Paper presented at the TKW 2001. Beiträge zur 4. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, Tübingen.
- Rinck, M., Hähnel, A., Bower, G. H. & Glowalla, U. (1997). The metrics of spatial situation models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(3), 622-637.
- Rinck, M., Williams, P., Bower, G. H. & Becker, E. S. (1996). Spatial situation models and narrative understanding: Some generalizations and extensions. *Discourse Processes*, 21(1), 23-55.
- Rivett, J. & Holliman, N. S. (2013). *Stereoscopic game design and evaluation*. Paper presented at the Stereoscopic Displays and Applications XXIV, Burlingame.
- Robinson, M. (2010). *Gran Turismo 5 Review. Driven to perfection?* Verfügbar unter: <http://www.ign.com/articles/2010/11/24/gran-turismo-5-review> [17. 02. 2014].
- Rooney, B. & Hennessy, E. (2013). Actually in the Cinema: A Field Study Comparing Real 3D and 2D Movie Patrons' Attention, Emotion, and Film Satisfaction. *Media Psychology*, 16(4), 441-460.
- Rosenkranse, C. & Oh, S. Y. (2014). *Measuring Presence: The Use of Five Canonical Presence Questionnaires from 1998-2012*. Paper presented at the Challenging Presence. International Society for Presence Research, ISPR 2014, Vienna, AU.

- Roth, C., Vorderer, P. & Klimmt, C. (2009). The Motivational Appeal of Interactive Storytelling: Towards a Dimensional Model of the User Experience. *5915*, 38-43.
- Roth, C., Vorderer, P., Klimmt, C. & Vermeulen, I. E. (2011). The User Experience of Interactive Digital Storytelling: Theory and Measurement. *7069*, 362-363.
- Rothschild, M. L. (1984). Perspectives on involvement: Current problems and future directions. In T. C. Kinnear (Hrsg.), *NA - advances in consumer research* (Bd. 11, S. 216–217). Provo, UT: Association for Consumer Research.
- Roto, V., Lee, M., Pihkala, K., Castro, B., Vermeeren, A. P. O. S., Law, E. L. et al. (2013). *All About UX. Information for User Experience Professionals*. [Website]. Verfügbar unter: [03.03.2014].
- Ruscio, J. & Roche, B. (2012). Determining the number of factors to retain in an exploratory factor analysis using comparison data of known factorial structure. *Psychol Assess*, *24*(2), 282-292.
- Rusdorf, S. & Brunnett, G. (2005). *Real Time Tracking of High Movements in the Context of a Table Tennis Application*. Paper presented at the ACM symposium on Virtual reality software and technology 2005, New York, NY.
- Rusdorf, S., Brunnett, G., Lorenz, M. & Winkler, T. (2007). Real Time Interaction with a Humanoid Avatar in an Immersive Table Tennis Simulation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *13*(1), 15-25.
- Ryan, M.-L. (1991). *Possible worlds, artificial intelligence, and narrative theory*. Bloomington: Indiana University Press.
- Ryan, M.-L. (1994). Immersion vs. interactivity: Virtual reality and literary theory. *Postmodern Culture*, *5*(1).
- Ryan, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of Personality and Social Psychology*, *43*(3), 450-461.
- Sacau, A., Laarni, J. & Hartmann, T. (2008). Influence of individual factors on presence. *Computers in Human Behavior*, *24*(5), 2255-2273.
- Sacau, A., Laarni, J., Ravaja, N. & Hartmann, T. (2005). The impact of personality factors on the experience of spatial presence, *8th International Workshop on Presence, PRESENCE 2005*. London, UK.
- Sánchez, J. L. G., Vela, F. L. G., Simarro, F. M. & Padilla-Zea, N. (2012). Playability: analysing user experience in video games. *Behaviour & Information Technology*, *31*(10), 1033-1054.
- Satava, R. M. (2008). Historical review of surgical simulation--a personal perspective. *World Journal of Surgery*, *32*(2), 141-148.
- Sauro, J. & Dumas, J. S. (2009). Comparison of three one-question, post-task usability questionnaires. 1599.
- Schank, R. C. & Abelson, R. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Schild, J., LaViola, J. J. & Masuch, M. (2012). *Understanding user experience in stereoscopic 3D games*. Paper presented at the CHI '12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY.
- Schild, J., LaViola, J. J. & Masuch, M. (2014). *Altering Gameplay Behavior using Stereoscopic 3D Vision-Based Video Game Design*. Paper presented at the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems ACM CHI'2014, Toronto, CA.
- Schild, J. & Masuch, M. (2011). Fundamentals of Stereoscopic 3D Game Design. 6972, 155-160.
- Schild, J., Seele, S. & Masuch, M. (2011). Integrating Stereoscopic Video in 3D Games. 6972, 124-135.
- Schild, J., Seele, S. & Masuch, M. (2012). *YouDash3D - Exploring Depth-based Game Mechanics and Stereoscopic Video in S3D Gaming*. Paper presented at the Int. Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE'2011), Lissabon.
- Schmierbach, M., Limperos, A. M. & Woolley, J. K. (2012). Feeling the need for (personalized) speed: how natural controls and customization contribute to enjoyment of a racing game through enhanced immersion. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 15(7), 364-369.
- Schmitt, P. J., Agarwal, N. & Prestigiacomo, C. J. (2012). From planes to brains: parallels between military development of virtual reality environments and virtual neurological surgery. *World Neurosurgery*, 78(3-4), 214-219.
- Schmitz, M., Endres, C. & Butz, A. (2007). *A Survey of Human-Computer Interaction Design in Science Fiction Movies*. Paper presented at the INTETAIN '08 Proceedings of the 2nd international conference on INtelligent TEchnologies for interactive enterTAINment Brüssel, BE.
- Schnortz, W. (1988). Textverstehen als Aufbau mentaler Modelle. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 299-330). München: Psychologie-Verlags-Union.
- Schramm, H. & Wirth, W. (2010). Exploring the paradox of sad-film enjoyment: The role of multiple appraisals and meta-appraisals. *Poetics*, 38(3), 319-335.
- Schrepp, M., Held, T. & Laugwitz, B. (2006). The influence of hedonic quality on the attractiveness of user interfaces of business management software. *Interacting with Computers*, 18(5), 1055-1069.
- Schubert, T., Friedmann, F. & Regenbrecht, H. (2001). The Experience of Presence: Factor Analytic Insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 266-281.
- Schumacher, R. (2010). *The Handbook of Global User Research*. Boston, NY: Morgan Kaufmann.
- Sensable. (2014, 2014). *Phantom Omni Haptic Device*. [Website]. Verfügbar unter: <http://www.dentsable.com/haptic-phantom-omni.htm> [10.04.2014 2014].
- Shafer, D. M., Carbonara, C. P. & Popova, L. (2011). Spatial Presence and Perceived Reality as Predictors of Motion-Based Video Game Enjoyment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 20(6), 591-619.

- Shapiro, L. (2011). *Embodied Cognition*. New York, NY: Routledge.
- Shedroff, N. & Noessel, C. (2012). *Make it So: Interface Design Lessons from Sci-Fi*. Brooklyn, NY: Rosenfeld Media.
- Sheridan, T. B. (1992). Musings on telepresence and virtual presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(1), 120–126.
- Sherif, C. W., Kelly, M., Rodgers Jr., H. L., Sarup, G. & Tittler, B. (1973). Personal involvement, social judgment, and action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 27(3), 311–328.
- Sherif, M. & Cantril, H. (1947). *The psychology of ego involvement*. New York, NY: John Wiley.
- Sherif, M. & Hovland, C. (1961). *Social judgment*. New Haven: Yale University Press.
- Shinar, D. & Acton, M. B. (1978). Control display relationships on the four-burner range: population stereotypes versus standards. *Human Factors*, 20, 13-17.
- Simpson, R. M., LaViola, J. J., Laidlaw, D. H., Forsberg, A. S. & van Dam, A. (2000). Immersive VR for scientific visualization: a progress report. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 20(6), 26-52.
- Skalski, P., Lange, R. L., Tamborini, R. & Shelton, A. K. (2007). Mapping the Road to Fun: Natural Video Game Controllers, Presence, and Game Enjoyment. *ICA Annual Conference*. San Francisco, CA, USA.
- Skalski, P., Tamborini, R., Shelton, A., Buncher, M. & Lindmark, P. (2010). Mapping the road to fun: Natural video game controllers, presence, and game enjoyment. *New Media & Society*, 13(2), 224-242.
- Skalski, P., Tamborini, R., Shelton, A., Buncher, M. & Lindmark, P. (2011). Mapping the road to fun: Natural video game controllers, presence, and game enjoyment. *New Media & Society*, 13(2), 224-242.
- Slater, M. (1999). Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(5), 560-565.
- Slater, M. (2002). Presence and the sixth sense. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(4), 435–439.
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology.
- Slater, M. (2004). How colorful was your day? Why questionnaires cannot assess presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 13(4), 484–493.
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3549–3557.
- Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., Kooper, R. & Street, G. (1996). *Immersion, Presence, and Performance in Virtual Environments: An Experiment with Tri-Dimensional Chess*. Paper presented at the ACM Virtual Reality Software and Technology. Proceedings of VRST 96, Hong Kong.

- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H. & Sanchez-Vives, M. V. (2008). Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Front Hum Neurosci*, 2, 6.
- Slater, M., Spanlang, B. & Corominas, D. (2010). Simulating virtual environments within virtual environments as the basis for a psychophysics of presence. *ACM Transactions on Graphics*, 29(4), 1.
- Slater, M. & Steed, A. (2000). A Virtual Presence Counter. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(5), 413-434.
- Slater, M. & Usoh, M. (1994). Body Centered Interaction in Immersive Virtual Environments. In M. Thalmann & D. Thalmann (Hrsg.), *Artificial Life and Virtual Reality* (S. 125-148). Oxford, UK: John Wiley.
- Slater, M., Usoh, M. & Steed, A. (1994). Depth of presence in immersive virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 3(2), 130-144.
- Slater, M., Usoh, M. & Steed, A. (1995). Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) - Special issue on virtual reality software and technology*, 2(3), 201-219.
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-617.
- Sliwinski, A. (2010). *Gran Turismo 5 wins 'best of' Gamescom awards 2010*. [Website]. Verfügbar unter: <http://www.joystiq.com/2010/08/23/gran-turismo-5-wins-best-of-gamescom-awards-2010/> [17. 02. 2014].
- Sobieraj, S., Krämer, N. C., Engler, M. & Siebert, M. (2011). The influence of 3D screenings on presence and perceived entertainment, *International Society for Presence Research Annual Conference (ISPR 2011)*. Edinburgh, Scotland.
- Soetens, E., Deboeck, M. & Hueting, J. (1984). Traces of fatigue in an attention dual task: II. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 22(6), 514-516.
- Spagnolli, A. (2014). *Presence in Action: An Updated Overview of an Action-based Approach to Presence*. Paper presented at the Challenging Presence. International Society for Presence Research, ISPR 2014, Vienna, AU.
- Spence, C. & Driver, J. (1994). Covert spatial orienting in audition: Exogenous and endogenous mechanisms facilitate sound localization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 555-574.
- Spielberg, S. (Writer) (2002). *Minority Report* [BR]. USA: Twentieth Century Fox Film Corporation.
- Steinicke, F. & Bruder, G. (2013). Using Perceptual Illusions for Redirected Walking. *IEEE Computer Graphics and Applications IEEE Computer Graphics and Applications* 33(1), 6-11.
- Steinicke, F., Bruder, G., Jerald, J., Frenz, H. & Lappe, M. (2010). Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. *IEEE Transactions on Visual and Computer Graphics*, 16(1), 17-27.

- Steinicke, F., Visell, Y., Campos, J. & Lécuyer, A. (Hrsg.). (2013). *Human Walking in Virtual Environments*. New York, NY: Springer.
- Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93.
- Streiner, D. L. (1998). Factors affecting reliability of interpretations of scree plots. *Psychological Reports*, 83, 687-694.
- Surdick, T., Davis, E. T., King, R. A. & Hodges, L. F. (1997). The perception of distance in simulated visual displays: A comparison of the effectiveness and accuracy of multiple depth cues across viewing distances. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(5), 513-531.
- Takatalo, J., Häkkinen, J., Kaistinen, J. & Nyman, G. (2010). User Experience in Digital Games. Differences Between Laboratory and Home. *Simulation & Gaming*, 42(5), 656-673.
- Takatalo, J., Kawai, T., Kaistinen, J., Nyman, G. & Hakkinen, J. (2011). User Experience in 3D Stereoscopic Games. *Media Psychology*, 14(4).
- Tamborini, R., Bowman, N. D., Eden, A., Grizzard, M. & Organ, A. (2010). Defining Media Enjoyment as the Satisfaction of Intrinsic Needs. *Journal of Communication*, 60(4), 758-777.
- Tamborini, R. & Skalski, P. (2006). The role of presence in the experience of electronic games. In P. Vorderer & J. Bryant (Hrsg.), *Playing video games. Motives, responses and consequences*. (S. 225–240). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Tan, E. S.-H. (2008). Entertainment is Emotion: The Functional Architecture of the Entertainment Experience. *Media Psychology*, 11(1), 28-51.
- Taubman-Ben-Ari, O., Florian, V. & Mikulincer, M. (1999). The impact of mortality salience on reckless driving: A test of terror management mechanisms. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(1), 35-45.
- Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, M. & Gillath, O. (2004). The multidimensional driving style inventory—scale construct and validation. *Accident Analysis & Prevention*, 36(3), 323-332.
- Tauer, H. (2010). *Stereo-3D. Grundlagen, Technik und Bildgestaltung*: Schiele & Schoen.
- Taylor, H. A. & Rapp, D. N. (2006). Updating Human Spatial Memory. In M. F. Brown & R. G. Cook (Hrsg.), *Animal Spatial Cognition: Comparative, Neural & Computational Approaches*.
- Taylor, S. C., Firth, S. K., Wang, C., Allinson, D., Quddus, M. & Smith, P. (2014). Spatial mapping of building energy demand in Great Britain. *GCB Bioenergy*, 6(2), 123-135.
- Teather, R. J. & Stuerzlinger, W. (2007). *Guidelines for 3D positioning techniques*. Paper presented at the Future Play '07 Proceedings of the 2007 conference on Future Play New York, NY.
- Tedesco, D. P. & Tulis, T. S. (2006). A comparison of methods for eliciting post-task subjective ratings in usability testing, *Usability Professionals Association Annual Conference*. Broomfield, CO.

- Tellegen, A. & Atkinson, G. (1974). Openness to absorbing and self-altering experiences ("absorption"), a trait related to hypnotic susceptibility. *Journal of Abnormal Psychology*, 83(3), 268–277.
- Texas Instruments. (2014). *DLP Link*. [Website]. Verfügbar unter: <http://www.dlp.com/de/projector/dlp-innovations/dlp-link.aspx> [13.04. 2014].
- Thorndyke, P. W. (1981). Distance estimation from cognitive maps. *Cognitive Psychology*, 13(4), 526-550.
- Treadgold, M., Novins, K., Wyvill, G. & Niven, B. (2001). What do you think you're doing? Measuring perception in fish tank virtual reality. 325-328.
- Trenholm, R. (2014, 23.03.2014). *8 out of 10 regret buying a 3D TV, survey says* Verfügbar unter: <http://www.cnet.com/news/8-out-of-10-regret-buying-a-3d-tv-survey-says/>
- Trinkle, M. (2014). *Minority Report: The Question of Free Will & Fate*. [Website]. Verfügbar unter: <http://www.cinemablography.org/minority-report.html> [05.04.2014 2014].
- Tsigilis, N. & Theodosiou, A. (2003). Temporal stability of the intrinsic motivation inventory. *Percept Mot Skills*, 97(1), 271-280.
- Tullis, T. & Albert, W. (2008). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann.
- Underkoffler, J. (2010, Feb. 12). g-speak (point and touch interface demonstration), *TED 2010. What the World Needs Now*. Long Beach, CA.
- Utsugi, K., Moriya, T. & Takeda, H. (2001). Making of a Virtual World of Heijokyo from Historical Knowledge, *Proceedings of the Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'01)* (S. 299): IEEE Computer Society.
- Van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York, NY: Academic Press.
- Vandenberg, S. G., Kuse, A. R. & Vogler, G. P. (1985). Searching for correlates of spatial ability. *Perceptual and Motor Skills*, 60(2), 343-350.
- Velicer, W. F. (1976). Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*, 41, 321-327.
- Vermeeren, A. P. O. S., Law, E. L.-C., Roto, V., Obrist, M., Hoonhout, J. & Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2010). User experience evaluation methods. 521.
- Villani, D., Repetto, C., Cipresso, P. & Riva, G. (2012). May I experience more presence in doing the same thing in virtual reality than in reality? An answer from a simulated job interview. *Interacting with Computers*, 24(4), 265-272.
- Von Holst, E. & Mittelstaedt, H. (1950). Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften*, 37, 464-476.
- Vorderer, P. (1992). *Fernsehen als Handlung. Fernsehfilmrezeption aus motivationspsychologischer Perspektive (Television as an act. The reception of television films from the perspective of motivational psychology)*. Berlin, Germany: Sigma.

- Vorderer, P., Wirth, W., Gouveia, F. R., Biocca, F., Saari, T., Jäncke, F. et al. (2004). *MEC spatial presence questionnaire (MEC-SPQ): Short documentation and instructions for application*. Report to the European Community, Project Presence: MEC (IST-2001-37661).
- Vorderer, P., Wirth, W., Saari, T., Gouveia, F. R., Biocca, F., Jäncke, F. et al. (2003). Constructing presence: Towards a two-level model of the formation of spatial presence, *Unpublished report to the European Community, Project Presence: MEC (IST-2001-37661)*. Hannover, Munich, Helsinki, Porto, Zurich.
- Voss, K. E., Spangenberg, E. R. & Grohmann, B. (2003). Measuring the Hedonic and Utilitarian Dimensions of Consumer Attitude. *Journal of Marketing Research*, 40(3), 310-320.
- Voyer, D., Voyer, S. & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250-270.
- Ward, L. M. (1994). Supramodal and modality-specific mechanisms for stimulus-driven shifts of auditory and visual attention. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48, 242-259.
- Ware, C., Arthur, K. & Booth, K. S. (1993). *Fish tank virtual reality*. Paper presented at the CHI '93 Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY.
- Ware, C., Gobrecht, C. & Paton, M. (1998). Dynamic adjustment of stereo display parameters. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 28(1), 56-65.
- Watson, B. A., Walker, N., Woytiuk, P. & Ribarsky, W. R. (2003, 22-26 March 2003). *Maintaining usability during 3D placement despite delay*. Paper presented at the IEEE Virtual Reality Conference 2003, Washington, DC.
- Watson, D., Clark, L. A. & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063-1070.
- Weber, R. & Popova, L. (2012). Testing Equivalence in Communication Research: Theory and Application. *Communication Methods and Measures*, 6(3), 190-213.
- Webster, J. & Ho, H. (1997). Audience engagement in multimedia presentations. *ACM SIGMIS Database*, 28(2), 63-77.
- Weibel, D., Wissmath, B. & Mast, F. W. (2011). Influence of mental imagery on spatial presence and enjoyment assessed in different types of media. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 14(10), 607-612.
- Weiber, R. & Mühlhaus, D. (2014). *Strukturgleichungsmodellierung* (2. Edition). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Westerman, W. (1999). *Hand Tracking, Finger Identification, and chordic Manipulation on a Multi-Touch Surface*. Dissertation, University of Delaware, Newark, DE.

- Wickens, C. D., Vidulich, M. & Sandry-Garza, D. (1984). Principles of S-C-R compatibility with spatial and verbal tasks: The role of display-control location and voice-interactive display-control interfacing. *Human Factors*, 26(5), 533-543.
- WiiMote Physics. (2010, Juli 2010). *Physics with a WiiMote*. [Website]. Verfügbar unter: <http://wiiphysics.site88.net/> [06.04.2014 2014].
- Wilcox, R. R. (2005). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing* (2nd). Burlington, MA: Elsevier.
- Wildt, B. t. (2012). *Medialisation. Von der Medienabhängigkeit des Menschen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Williams, D. (2007). *The Reactable*. [Website]. Verfügbar unter: <http://www.flickr.com/photos/84466661@N00/539568298/> [01.04.2014 2014].
- Wirth, W. (2006). Involvement. In P. Vorderer & J. Bryant (Hrsg.), *Psychology of entertainment* (S. 199–213). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wirth, W., Hartmann, T., Böcking, S., Vorderer, P., Klimmt, C., Schramm, H. et al. (2007). A process model of the formation of spatial presence experiences. *Media Psychology*, 9(3), 493-525.
- Wirth, W., Hofer, M. & Schramm, H. (2012). The Role of Emotional Involvement and Trait Absorption in the Formation of Spatial Presence. *Media Psychology*, 15(1), 19-43.
- Witmer, B. G., Jerome, C. J. & Singer, M. J. (2005). The Factor Structure of the Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(3), 298-312.
- Witmer, B. G. & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225–240.
- Witzmann, H. (2007). *Game Controller: Vom Paddle zur gestenbasierten Steuerung*. Boizenburg: Hülsbusch.
- Wolf, K., Hasebrook, J. & Rinck, M. (1999). Wand oder keine Wand? Die Repräsentation räumlicher Veränderungen in Situationsmodellen. *Experimental Psychology (formerly "Zeitschrift für Experimentelle Psychologie")*, 46(3), 152-163.
- Woods, A. J., MacKenzie, K. J., Watt, S. J., Holliman, N. S. & Dodgson, N. A. (2010). Eliminating accommodation-convergence conflicts in stereoscopic displays: Can multiple-focal-plane displays elicit continuous and consistent vergence and accommodation responses? , 7524, 752417-752417-752410.
- Youngblut, C. (2003). *Experience of Presence in Virtual Enviroments* (Report: IDA Document D-2960): Institute for defense analyses.
- Zerebecki, C., Stanfield, B., Hogue, A., Kapralos, B. & Collins, K. (2013). *S3D depth-axis interaction for video games: performance and engagement*. Paper presented at the Stereoscopic Displays and Applications XXIV, Burlingame, CA.
- Zhai, S. (1998). User performance in relation to 3D input device design. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 32(4), 50-54.

- Zhai, S., Kandogan, E., Smith, B. A. & Selker, T. (1999). In search of the 'magic carpet': Design and experimentation of a bimanual 3D navigation interface. *Journal of Visual Languages and Computing*, 10(1), 3-17.
- Zwaan, R. A. & van Oostendorp, H. (1993). Do readers construct spatial representations in naturalistic story comprehension? *Discourse Processes*, 16(1-2), 125-143.
- Zwack, W. R. & Velicer, W. F. (1986). Comparison of five rules for determining the number of components to retain. *Psychological Bulletin*, 99, 432-442.

Software-Verzeichnis

- Alcron, A. (1972). *Pong*. [Video Game]. Sunnyvale, CA: Atari Inc.
- Atari Inc. (1973). *Space Race*. [Video Game]. Sunnyvale, CA: Atari Inc.
- Big Park. (2010). *Kinect Joy Ride*. [Video Game]. Redmond, WA: Microsoft Game Studios.
- Bugbear Entertainment Ltd. (2007). *Flatout: Ultimate Carnage*. [Video Game]. London, UK: Empire Interactive Entertainment.
- Capcom. (2009). *Resident Evil 5*. [Video Game]. San Mateo County, CA: Capcom.
- ColdWood Interactive. (2010). *The Fight: Lights Out*. [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.
- Crytek. (2007). *Crysis*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- EA Canada. (2000). *SSX*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- EA Tiburon. (2007a). *Madden NFL 08*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- EA Tiburon. (2007b). *Tiger Woods PGA Tour 08*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- EA Tiburon. (2010). *Tiger Woods PGA Tour 11*. [Video Game]. Vancouver, CA: EA Sports.
- Electronic Arts Black Box. (2003). *Need for Speed Underground*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- Electronic Arts Black Box. (2007). *Need for Speed: Pro Street*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- Electronic Arts Montreal. (2009). *Need for Speed: Nitro*. [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- Electronic Arts Redwood. (2006). *Tiger Woods PGA Tour 07*. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- Frozenbyte. (2009). *Trine* [Video Game]. Helsinki, FI: Frozenbyte.
- id Software. (1999). *Quake III: Arena*. [Video Game]. Santa Monica, CA: Activision.
- Idol Minds. (2007). *PAIN*. [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.

- Miyamoto, S. (1985). *Super Mario Bros.* [Video Game]. Kyoto, JP: Nintendo.
- Namco. (1997). *Time Crisis II.* [Video Game]. Tokyo, JP: Namco.
- Namco. (2003). *Donkey Konga.* [Video Game]. Redmond, WA: Nintendo of America.
- Naughty Dog. (2011). *Uncharted 3: Drake's Deception.* [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.
- Nintendo. (2006). *Wii Sports.* [Video game]. Redmont, WA: Nintendo of America.
- Nintendo. (2008). *Mario Kart Wii.* [Video Game]. Redmond, WA: Nintendo of America.
- Polyphony Digital Inc. (2010). *Gran Turismo 5.* [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.
- Power and Magic Development. (2008). *Top Spin 3.* Novato, CA: 2K Sports,.
- Rare. (2010). *Kinect Sports.* [Video Game]. Redmond, WA: Microsoft Game Studios.
- Sega AM3 R&D. (2011). *Virtual Tennis 4.* [Video Game]. Brentford, UK: SEGA Europe.
- Slightly Mad Studios. (2009). *Need for Speed: SHIFT.* [Video Game]. Redwood City, CA: Electronic Arts.
- Sucker Punch Productions. (2010). *Sly 2: Band of Thieves.* [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.
- Sumo Digital. (2008). *SEGA Superstars Tennis.* [Video Game]. San Francisco, CA: SEGA of America,.
- Supermassive Games. (2010). *Tumble.* [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.
- Ubisoft. (2009). *James Cameron's Avatar: The Game.* [Video Game]. Montreal, CA: Ubisoft.
- Valve. (2008). *Left 4 Dead.* [Video Game]. Kirkland, WA: Valve Corporation.
- Visual Concepts Entertainment. (2009). *Major League Baseball 2K9.* [Video Game]. Novato, CA: 2K Sports.
- VooFoo Studios. (2009). *Hustle Kings.* [Video Game]. Foster City, CA: Sony Computer Entertainment America.
- Wozniak, S. (1976). *Breakout.* [Video Game]. Sunnyvale, CA: Atari Inc.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Spatial Mapping und dessen Einfluss auf User Experience und Aufgabenleistung	11
Abbildung 2. Komponenten der User Experience (ISO 9241-210, eigene Darstellung)	17
Abbildung 3. Übersicht Presence Subkomponenten (eigene Darstellung)	30
Abbildung 4. Two-Pole Presence Model (eigene Darstellung)	34
Abbildung 5. Erweitertes Two-Pole Model mit Prüfung von Wahrnehmungshypothesen und Breaks in Presence (eigene Darstellung)	35
Abbildung 6. Three-Pole Model (in Anlehnung an Biocca, 1997)	36
Abbildung 7. CLCC Presence-Model. Die hell markierte Fläche beinhaltet tatsächlich messbare Konstrukte (in Anlehnung an Nunez, 2010)	37
Abbildung 8. Embodiment-Presence-Framework (eigene Darstellung)	40
Abbildung 9. Self-Presence-Framework (in Anlehnung an Ratan, 2012)	41
Abbildung 10. Two Step Model of Spatial Presence Formation (in Anlehnung an Wirth et al., 2007)	48
Abbildung 11. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Hofer et al. (2012)	53
Abbildung 12. Framework zur Kombination räumlicher Orientierungsprozesse (in Anlehnung an Riecke, 2002)	62
Abbildung 13. Modellfaktoren des MEC-SPQ (in Anlehnung an Vorderer, 2004)	67
Abbildung 14. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: niedrige Darstellungs Natürlichkeit (eigene Darstellung)	72
Abbildung 15. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: hohe Darstellungs Natürlichkeit (eigene Darstellung)	73
Abbildung 16. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: Beispiel Objektplatzierungsaufgabe (eigene Darstellung)	74
Abbildung 17. Studie zur alternativen Erhebung von SSM: Beispiel Richtungsaufgabe (eigene Darstellung)	74
Abbildung 18. Akkommodation des menschlichen Auges (in Anlehnung an Hagendorf et al., 2011, S. 54)	83
Abbildung 19. Konvergenz des menschlichen Auges (in Anlehnung an Hagendorf et al., 2011, S. 103)	84
Abbildung 20. Gekreuzte und ungekreuzte Disparation des Auges (in Anlehnung an Hagendorf et al., 2011, S. 103)	86
Abbildung 21. Wirkungsweise aktive Stereoskopie (Shutter-Brille; eigene Darstellung)	87

Abbildung 22. Wirkungsweise passive Stereoskopie (Polarisationsbrille; eigene Darstellung)	89
Abbildung 23. Wirkungsweise Autostereoskopie (eigene Darstellung)	90
Abbildung 24. Wirkungsweise Head-Mounted-Displays (eigene Darstellung)	91
Abbildung 25. Manipulation der Stereopsis durch stereoskopische Bilder (in Anlehnung an Dörner et al., 2013)	93
Abbildung 26. Fallstudie: 3D PONG, produziert von Spielentwickler GriN (Elson et al., 2012)	105
Abbildung 27. Fallstudie: YouDash3D (Schild, Seele, et al., 2012)	106
Abbildung 28. Fallstudie: Deepress3D (Schild et al., 2014)	107
Abbildung 29. Fallstudie: Z-Fighter 2.0 (Zerebecki et al., 2013)	109
Abbildung 30. Fallstudie: Stereoskopisches Spiel von Rivett und Holliman (2013)	110
Abbildung 31. Graphical User Interface (GUI), Tangible User Interface (TUI) und Natural User Interface (NUI) (KDE.org/screenshots; Williams, 2007; Castle, 2009)	115
Abbildung 32. Beispiele für die Anordnung von Steuerelementen bei Herdplatten (in Anlehnung an Norman, 1988/2013; Katalog unter gorenje.de)	118
Abbildung 33. Gestenbasiertes NUI im Film Minority Report (Spielberg, 2002; Trinkle, 2014)	120
Abbildung 34. Beispiele aus Unterhaltungselektronik für Natural Mapping auf Basis der Typologie von Skalski et al. (2011)	124
Abbildung 35. <i>Wii Remote mit sechs Freiheitsgraden (WiiMote Physics, 2010)</i>	126
Abbildung 36. Infrarot-Tracking mit ARTrack und Trackingobjekt mit fünf Markern (eigene Darstellung)	127
Abbildung 37. 3D-Maus 3DConnexion SpaceMouse Pro (3Dconnexion, 2012) und Novint Falcon (Novint, 2012)	128
Abbildung 38. Redirected Walking am Beispiel des virtuellen Tübingens von Engel et al. (2008)	130
Abbildung 39. Sensable Phantom Omni (Sensable, 2014)	131
Abbildung 40. Prototypen für 3D-Eingabegeräte für VR-Anwendungen von Patel et al. (2006)	134
Abbildung 41. GlobeFish (links) und GlobeMouse (rechts) von Froehlich et al. (2006)	136
Abbildung 42. Skizzierung der Interaktion in der AR via Bewegungs-Konzept, Touchscreen-Konzept und Finger-Tracking-Konzept in der Studie von Hürst und Wezel (2012)	137
Abbildung 43. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Skalski et al. (2010)	140
Abbildung 44. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge in Studie 2 von Shafer et al. (2011)	143

Abbildung 45. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Schmierbach et al. (2012)	144
Abbildung 46. Pfadmodell der Variablen-Zusammenhänge von Downs, E. P. und Oliver (2009)	146
Abbildung 47. VR-Tischtennis als Beispiel für hohes Spatial Mapping (eigene Darstellung)	159
Abbildung 48. Wii Sports Tennis als Beispiel für niedriges Spatial Mapping (Davis, R., 2006/eigene Darstellung)	160
Abbildung 49. Beispiele: System A (Natural Spatial Mapping) mit kombinierten Wahrnehmungsraum und System B (Abstract Spatial Mapping) mit getrennten Wahrnehmungsräumen (eigene Darstellung).	161
Abbildung 50. Interaktionsraum einfacher, eindimensionaler Interaktionen (eigene Darstellung).....	164
Abbildung 51. Interaktionsraum zweidimensionaler Interaktionen (eigene Darstellung)....	165
Abbildung 52. Interaktionsraum komplexer, dreidimensionaler Interaktionen (eigene Darstellung).....	166
Abbildung 53. Grundlegendes hypothetisches Modell	169
Abbildung 54. Hypothetisches Pfadmodell für Spatial Mapping auf Basis existierender Forschung.....	171
Abbildung 55. Vereinfachtes hypothetisches Pfadmodell für Spatial Mapping.....	172
Abbildung 56. Hypothetisches Pfadmodell: Beitrag Experiment 1	177
Abbildung 57. Experiment 1: Hypothesen im Pfadmodell (Stereoskopie)	179
Abbildung 58. Experiment 1: Hypothesen im Pfadmodell (Natural Mapping).....	181
Abbildung 59. Experiment 1: Hypothesen im Pfadmodell (MEC-Modell).....	182
Abbildung 60. Experiment 1: Stufen bei UV-A: Einsatz von Gamepad-Controller bzw. Lenkrad-Controller	184
Abbildung 61. Experiment 1: Zusammensetzung der Stichprobe	186
Abbildung 62. Experiment 1: Experimental-Setup #1	187
Abbildung 63. Experiment 1: Experimental-Setup #2	188
Abbildung 64. Experiment 1: Ablaufübersicht.....	189
Abbildung 65. Experiment 1: Welche Spielsysteme nutzen Sie mindestens einmal im Monat?	191
Abbildung 66. Experiment 1: Wie häufig haben Sie die folgenden stereoskopischen Medien bereits benutzt?.....	192
Abbildung 67. Experiment 1: Haben Sie bereits praktische Erfahrung mit folgenden Rennsport-Aspekten?	193
Abbildung 68. Experiment 1: Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell	210

Abbildung 69. Experiment 1: Profildigramm Task Adequacy	213
Abbildung 70. Experiment 1: Profildigramm IMI-Interest/Enjoyment	216
Abbildung 71. Experiment 1: Profildigramm Spatial Presence	218
Abbildung 72. Experiment 1: Profildigramm Performance	220
Abbildung 73. Experiment 1: Profildigramm Spatial Situation Model	222
Abbildung 74. Experiment 1: Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell	223
Abbildung 75. Experiment 1: Pfaddiagramm als Grundlage der Strukturgleichungen	224
Abbildung 76. Experiment 1: Pfaddiagramm mit Pfadkoeffizienten	229
Abbildung 77. Experiment 1: vereinfachtes Pfadmodell	230
Abbildung 78. Experiment 1: Ergebnisse der Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell	233
Abbildung 79. Experiment 1: Ergebnisse der Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell	234
Abbildung 80. Experiment 1: Berechnung Probandenzahl für kleine Effektstärken (G*Power 3.7.9)	243
Abbildung 81. Hypothetisches Pfadmodell: Beitrag Experiment 2	247
Abbildung 82. Experiment 2: Hypothesen im Pfadmodell (Kameraperspektive)	250
Abbildung 83. Experiment 2: Hypothesen im Pfadmodell (Präsentationsmodus)	251
Abbildung 84. Experiment 2: Hypothesen im Pfadmodell (zusätzliche Pfade aus Experiment 1)	252
Abbildung 85. Experiment 2: Versuchsaufbau Tischtennis-Simulation	253
Abbildung 86. Experiment 2: Zusammensetzung der Stichprobe	259
Abbildung 87. Experiment 2: Prototypische Spielsituation	260
Abbildung 88. Experiment 2: Tracking-Objekte der eingesetzten VR-Anwendung (Rusdorf et al, 2007)	261
Abbildung 89. Experiment 2: Tracking-System ARTTRACK 1	261
Abbildung 90. Experiment 2: Ablaufübersicht	263
Abbildung 91. Experiment 2: Welche Spielsysteme nutzen Sie mindestens einmal im Monat?	266
Abbildung 92. Experiment 2: Wie häufig haben Sie die folgenden stereoskopischen Medien bereits benutzt?	267
Abbildung 93. Experiment 2: Welche der folgenden Tennis-Computerspiele haben Sie bereits gespielt?	268
Abbildung 94. Experiment 2: Screeplot PCA Task Adequacy Scale	275

Abbildung 95. Experiment 2: Erweiterter Screeplot PCA Task Adequacy Scale mit Parallelanalyse-Daten	277
Abbildung 96. Experiment 2: Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell	286
Abbildung 97. Experiment 2: Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell	292
Abbildung 98. Experiment 2: Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell	293
Abbildung 99. Experiment 2: Pfaddiagramm mit Pfadkoeffizienten.....	296
Abbildung 100. Experiment 2: vereinfachtes Pfadmodell	297
Abbildung 101. Experiment 2: Ergebnisse der Hypothesen für direkte Pfade im Pfadmodell	300
Abbildung 102. Experiment 2: Ergebnisse der Hypothesen für indirekte Pfade im Pfadmodell	301
Abbildung 103. Experiment 2: Berechnung Probandenzahl für kleine Effektstärken (G*Power 3.7.9)	308

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. <i>Standardisierte Fragebögen zur Erfassung von User Experience</i>	19
Tabelle 2. <i>Standardisierte Fragebögen zur Erfassung von Presence</i>	33
Tabelle 3. <i>Übersicht visueller Spatial Cues</i>	57
Tabelle 4. <i>Eingesetzte Spiele und Plattformen bei Studie 1 von (Shafer et al., 2011)</i>	142
Tabelle 5. <i>Eingesetzte Spiele und Plattformen bei Studie 2 von (Shafer et al., 2011)</i>	143
Tabelle 6. <i>Beispiel-Systeme für Spatial Mapping</i>	158
Tabelle 7. <i>Experiment 1: Versuchsplan</i>	185
Tabelle 8. <i>Dimensionen des Attitudes towards Traffic Safety Questionnaires</i>	195
Tabelle 9. <i>Dimensionen des MEC Spatial Presence Questionnaire</i>	196
Tabelle 10. <i>Skalencharakteristik MEC-SPQ im Vergleich zu anderen Studien</i>	197
Tabelle 11. <i>Dimensionen des ITC Sense of Presence Inventory</i>	198
Tabelle 12. <i>Skalencharakteristik ITC-SOPI im Vergleich zu anderen Studien</i>	199
Tabelle 13. <i>Dimensionen des Intrinsic Motivation Inventory</i>	200
Tabelle 14. <i>Dimensionen der Perceived Naturalness Mapping Scale</i>	201
Tabelle 15. <i>Experiment 1: Items der Task Adequacy Scale</i>	203
Tabelle 16. <i>Experiment 1: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale</i>	203
Tabelle 17. <i>Experiment 1: Test auf Normalverteilung der Residuen (Kolmogorov-Smirnov)</i>	206
Tabelle 18. <i>Experiment 1: Schiefe und Kurtosis der Skalen</i>	208
Tabelle 19. <i>Experiment 1: Prüfung der Unabhängigkeit von Kovariaten (ANOVA)</i>	211
Tabelle 20. <i>Perzentile von r in Meta-Analysen in unterschiedlichen Bereichen der Kommunikationswissenschaften (Weber & Popova, 2012)</i>	214
Tabelle 21. <i>Experiment 1: Korrelationsmatrix der exogenen und endogenen Variablen ($N = 125$)</i>	225
Tabelle 22. <i>Experiment 1: Ergebnisse der multiplen Regressionen für die Strukturgleichungen</i>	226
Tabelle 23. <i>Experiment 1: Standardisierte Residual(ko)varianzmatrix zur Modellprüfung</i>	227
Tabelle 24. <i>Experiment 1: Ergebnisse der multiplen Regressionen für die Strukturgleichung y_5 nach Modellerweiterung</i>	228
Tabelle 25. <i>Experiment 1: Ergebnis der Hypothesenprüfung</i>	241
Tabelle 26. <i>Experiment 2: Versuchsplan</i>	254
Tabelle 27. <i>Experiment 2: Pretest-Versuchsreihenfolge</i>	256

Tabelle 28. <i>Skalencharakteristik MEC-SPQ im Vergleich zu Experiment 1</i>	270
Tabelle 29. <i>Skalencharakteristik ITC-SOPI im Vergleich zu Experiment 1</i>	271
Tabelle 30. <i>Experiment 2: Items der Task Adequacy Scale</i>	272
Tabelle 31. <i>Experiment 2: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale</i>	273
Tabelle 32. <i>Experiment 2: Faktorladungen PCA (Proximax-Rotation/ Mustermatrix) der Task Adequacy Scale</i>	278
Tabelle 33. <i>Experiment 2: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale Subskala Controller Adequacy</i>	279
Tabelle 34. <i>Experiment 2: Itemkennwerte der Task Adequacy Scale Subskala Combination Adequacy</i>	279
Tabelle 35. <i>Experiment 2: Dimensionen des User Experience Questionnaire</i>	281
Tabelle 36. <i>Experiment 2: Test auf Normalverteilung der Residuen (Kolmogorov-Smirnov)</i>	283
Tabelle 37. <i>Experiment 2: Prüfung der Unabhängigkeit von potenziellen Kovariaten (ANOVA)</i>	287
Tabelle 38. <i>Experiment 2: Korrelationsmatrix der exogenen und endogenen Variablen (N = 132)</i>	294
Tabelle 39. <i>Experiment 2: Ergebnisse der multiplen Regressionen für die Strukturgleichungen</i>	295
Tabelle 40. <i>Experiment 2: Ergebnis der Hypothesenprüfung</i>	306
Tabelle 42. <i>G*Power A-priori-Power-Analyse Experiment 1</i>	369
Tabelle 43. <i>G*Power Post-Hoc-Analyse (Spatial Presence) Experiment 1</i>	370
Tabelle 44. <i>G*Power Sensitivitätsanalyse Experiment 1</i>	371
Tabelle 45. <i>G*Power Post-Hoc-Analyse (Task Adequacy) Experiment 2</i>	387
Tabelle 46. <i>G*Power Post-Hoc-Analyse (Spatial Presence) Experiment 2</i>	388
Tabelle 47. <i>G*Power Sensitivitätsanalyse Experiment 2</i>	389

A. Anhang Experiment 1

Anhang A enthält Materialien zu Experiment 1. Darunter fallen die eingesetzten Fragebögen, sowie Unterlagen zur statistischen Auswertung. Aus pragmatischen Gründen befinden sich nur die notwendigsten Anlagen im gedruckten Anhang. Der Großteil der statistischen Nachweise befindet sich im sich im digitalen Anhang C.

A.1 Fragebogen Experiment 1

Tischtennis – Fragebogen, Teil 1

Block 1

1. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.

- ☐ weiblich
☐ männlich

2. Bitte geben Sie Ihr Alter an.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein: ____ Jahre

3. Benötigen Sie Sehhilfe?

- ☐ Ich trage eine Brille.
☐ Ich trage Kontaktlinsen.
☐ Ich benötige in der Regel eine Sehhilfe, habe heute jedoch keine dabei.
☐ Ich benötige in der Regel keine Sehhilfe.

4. Leiden Sie unter gesundheitlichen Einschränkungen, die Ihre stereoskopische Wahrnehmung im Alltag (Fähigkeit, dreidimensional zu sehen) beeinträchtigt?

- ☐ Ja
☐ Nein

Block 2

Die folgenden Aussagen beziehen sich Ihre Mediennutzung. Bitte beziehen Sie dabei Ihre Antworten auf einen für Sie typischen, durchschnittlichen Zeitraum der letzten 12 Monate. Es gibt dabei keine richtigen oder falschen Antworten. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

5. Wie schätzen Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit Computern im Allgemeinen ein?

- ☐ Keine Erfahrung
☐ Grundlegende Kenntnisse
☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
☐ Expertenkenntnisse

6. Wie viele Stunden am Tag spielen Sie durchschnittlich Computerspiele?

An Wochenenden: ____ Stunden

An Wochentagen: ____ Stunden

7. Wie würden Sie sich selbst einschätzen?

- ☐ Nichtspieler
- ☐ Gelegenheitsspieler
- ☐ Regelmäßiger Spieler
- ☐ Vielspieler

8. Welche der folgenden Spielsysteme benutzen Sie mindestens einmal im Monat, um Computerspiele zu spielen?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Xbox 360
- ☐ PS Vita
- ☐ PlayStation 3
- ☐ Nintendo 3DS bzw. Nintendo DS
- ☐ Nintendo Wii
- ☐ Nintendo Wii U
- ☐ ältere Konsolen (z.B. PlayStation 2, Super Nintendo, Xbox, PSOne)
- ☐ PC / Mac
- ☐ Smartphone
- ☐ Tablet-PC
- ☐ Keine der angegebenen

9. An wie vielen Stunden pro Tag schauen Sie Fernsehen bzw. DVDs/Blu-Rays oder Videos?

An Wochenenden: ____ Stunden

An Wochentagen: ____ Stunden

10. Welche Größe hat der Bildschirm, auf dem Sie am meisten TV oder Filme schauen?

- ☐ Klein/Tragbar (14" oder weniger, z.B. Laptop)
- ☐ Mittel (15-32", z.B. Computerbildschirm)
- ☐ Groß (33-42", z.B. Flatscreen-TV)
- ☐ Sehr groß (43" und größer, z.B. großer Flatscreen oder Beamer)

11. Wie schätzen Sie Ihr Wissen um TV / Filmproduktion ein?

- ☐ Keine Erfahrung
- ☐ Grundlegende Kenntnisse
- ☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
- ☐ Expertenkenntnisse

12. Haben Sie schon einmal stereoskopische (3D) Bilder mit Polarisationsbrillen gesehen (z.B. 3D-Kino)?

- ☐ Ja
☐ Nein

13. Haben Sie bereits Erfahrung mit 3D-Bildern auf folgenden Geräten/Medien machen können?

14.

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt waren:
Antwort war 'Ja' bei Frage '11' (Haben Sie schon einmal stereoskopische (3D) Bilder mit Polarisationsbrillen gesehen (z.B. 3D-Kino)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	noch nie	wenig (maxi- mal 3 mal)	viel (mehr als 10 mal)	sehr viel (mehr als 20 mal)
Kino	☐	☐	☐	☐
Heimkino (aktives 3D mit Shutter-Brille)	☐	☐	☐	☐
Heimkino (passives 3D wie im Kino)	☐	☐	☐	☐
Computerspiele mit Konsolen (z.B. PlayStation 3)	☐	☐	☐	☐
Computerspiele am PC/Mac (z.B. Nvidia 3D-Brille)	☐	☐	☐	☐
Professionelle VR-Anlage (aus Industrie, Forschung)	☐	☐	☐	☐

15. Wie schätzen Sie Ihr Wissen darüber ein, wie 3D-Bilder produziert werden?

- ☐ Keine Erfahrung
☐ Grundlegende Kenntnisse
☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
☐ Expertenkenntnisse

16. Wie schätzen Sie Ihr Wissen über technische Hintergründe von Virtual Reality ein?

- ☐ Keine Erfahrung
☐ Grundlegende Kenntnisse
☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
☐ Expertenkenntnisse

17. Besitzen Sie einen KFZ-Führerschein (Klasse B)?

- ☐ Ja
☐ Nein

18. Wie lange besitzen Sie schon einen Führerschein (Klasse B)?

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt war
Antwort war 'Ja' bei Frage '18' (Besitzen Sie einen KFZ-Führerschein (Klasse B)?

ca. ____ Jahre

19. Besitzen Sie ein eigenes Auto?

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt war
Antwort war 'Ja' bei Frage '18' (Besitzen Sie einen KFZ-Führerschein (Klasse B)?

- ☐ Ja
☐ Nein

20. Wie viele Kilometer pro Jahr fahren Sie mit dem Auto?

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt war
Antwort war 'Ja' bei Frage '18' (Besitzen Sie einen KFZ-Führerschein (Klasse B)?

ca. ____ km

21. Wie häufig fahren Sie Auto?

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt war
Antwort war 'Ja' bei Frage '18' (Besitzen Sie einen KFZ-Führerschein (Klasse B)?

- ☐ Sehr selten (weniger als einmal pro Monat)
☐ Ab und zu (weniger als einmal pro Woche)
☐ Häufig (ein paar Mal in der Woche)
☐ Täglich

22. Haben Sie schon einmal eine der folgenden Tätigkeiten ausgeübt?

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt war
Antwort war 'Ja' bei Frage '18' (Besitzen Sie einen KFZ-Führerschein (Klasse B)?

- ☐ Gokart fahren
☐ Motorrad fahren

- ☐ Verkehrssicherheitstraining
- ☐ Mitfahrt bei einem Motorsport-Rennen

23. Wie schätzen Sie Ihre Erfahrung in Computer-Rennspielen ein?

- ☐ Keine Erfahrung
- ☐ Grundlegende Kenntnisse
- ☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
- ☐ Expertenkenntnisse

24. Haben Sie schon einmal das Computerspiel "Gran Turismo 5" gespielt?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Nicht sicher

Block 3

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Person. Bitte denken Sie über sich selbst nach und geben Sie an, wie sehr Sie der jeweiligen Aussage zustimmen. Mitunter mag es Ihnen schwer fallen, Ihre Zustimmung zu einer der Aussagen einzuschätzen. Denken Sie jedoch daran, dass es keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 25. Ich bin ein sehr guter Computerspieler.
- 26. Ich bin mit verschiedenen Plattformen für Computerspiele vertraut.
- 27. Ich lese computerspielbezogene Zeitschriften.
- 28. Ich besuche Websites und Foren, um mich über Computerspiele mit anderen auszutauschen.
- 29. Ich gewinne oft, wenn ich ein Computerspiel gegen einen menschlichen Gegner spiele.
- 30. Ich gewinne oft, wenn ich ein Computerspiel gegen einen Computergegner spiele.
- 31. Ich kenne mich mit Computerspielen gut aus.
- 32. Ich verbringe einen großen Teil meiner Freizeit mit Computerspielen.
- 33. Ich denke oft über Strategien in Computerspielen nach.

Block 4

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Verhalten im Straßenverkehr. Es gibt auch hier keine richtigen oder falschen Antworten. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 34. Um einen guten Verkehrsfluss zu garantieren, müssen Verkehrsregeln ignoriert werden.
- 35. Es ist in Ordnung, das Tempolimit zu überschreiten, um „Sonntagsfahrer“ zu überholen
- 36. Die Verkehrsregeln müssen unabhängig von Straßen- und Wetterbedingungen eingehalten werden.
- 37. Tempolimits werden überschritten, weil diese zu sehr einschränken.
- 38. Es ist in Ordnung, noch zu fahren, wenn die Ampel von Gelb auf Rot schaltet.
- 39. Risiken einzugehen und ein paar Regeln zu brechen macht jemanden noch nicht unbedingt zu einem schlechten Autofahrer.
- 40. Es ist in Ordnung, Risiken einzugehen, wenn keine anderen Personen involviert sind.
- 41. Verkehrsregeln sind oft zu kompliziert, um sie in der Praxis umzusetzen.
- 42. Wenn man ein guter Autofahrer ist, ist es in Ordnung etwas schneller zu fahren.
- 43. Wenn die Straßenbedingungen es hergeben und niemand auf der Straße ist, ist es okay auf Landstraßen über 100 km/h zu fahren.
- 44. Die Strafen für Geschwindigkeitsübertretungen sollten strenger sein.
- 45. Es ist in Ordnung, wenn man bei jemanden mitfährt, der zu schnell fährt – wenn es die einzige Möglichkeit ist, nachts nach Hause zu kommen.
- 46. Wenn andere auf der Straße zu schnell fahren, ist es in Ordnung bei jemanden mitzufahren, der auch zu schnell fährt.
- 47. Ich möchte mein Leben und Gesundheit nicht durch unverantwortliche Fahrer riskieren.
- 48. Ich würde niemals fahren, nachdem ich Alkohol konsumiert habe.
- 49. Ich würde niemals mit jemanden mitfahren, von dem ich weiß, dass er Alkohol konsumiert hat.

Tischtennis – Fragebogen, Teil 2

Block 1

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihr persönliches Erleben, während Sie das Spiel gespielt haben. Bitte gehen Sie in sich und geben für jede der folgenden Aussagen an, wie sehr Sie ihr zustimmen können. Mitunter mag es Ihnen schwer fallen, Ihre Zustimmung zu einer der Aussagen einzuschätzen. Denken Sie jedoch daran, dass es keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

1. Ich habe meine gesamte Aufmerksamkeit auf das Spiel gerichtet.
2. Ich habe mich auf das Spiel konzentriert.
3. Das Spiel hat meine Sinne vereinnahmt.
4. Ich habe mich dem Spiel voll gewidmet.
5. Ich konnte die im Spiel dargestellte Anordnung der räumlichen Umgebung gut nachvollziehen.
6. Ich hatte eine genaue Vorstellung von der im Spiel dargestellten räumlichen Umgebung.
7. Ich hatte die räumliche Anordnung der gezeigten Gegenstände gut vor Augen.
8. Ich konnte gut abschätzen, wie groß der dargestellte Raum war.
9. Ich konnte gut abschätzen, in welcher Entfernung sich die Dinge zueinander befanden.
10. Ich habe jetzt noch ein plastisches Bild der räumlichen Umgebung im Kopf.
11. Ich kann jetzt noch einen Plan der dargestellten räumlichen Umgebung zeichnen.
12. Ich könnte mich jetzt noch in der dargestellten räumlichen Umgebung gut zurechtfinden.
13. Ich hatte das Gefühl, in der dargestellten Umgebung selbst anwesend zu sein.
14. Es war, als ob sich mein eigentlicher Standort in die dargestellte Umgebung verlagert hätte.
15. Ich hatte das Gefühl, in der dargestellten Umgebung selbst körperlich anwesend zu sein.
16. Es kam mir vor, als ob ich wirklich am dargestellten Geschehen teilgenommen habe.
17. Ich hatte den Eindruck, dass ich selbst in der dargestellten Umgebung aktiv werden konnte.
18. Ich hatte das Gefühl, mich um die dargestellten Objekte bewegen zu können.
19. Die dargestellten Gegenstände wirkten auf mich, als ob ich selbst etwas mit ihnen machen konnte.
20. Es kam mir so vor, als ob ich in der dargestellten Umgebung tun und lassen konnte, was ich wollte.
21. Ich habe meist an Dinge gedacht, die mit dem Spiel etwas zu tun hatten.
22. Ich habe gründlich überlegt, inwiefern die dargestellten Dinge miteinander zu tun haben.
23. Das im Spiel Dargestellte hat meine Gedanken angeregt.
24. Ich habe darüber nachgedacht, ob das im Spiel Dargestellte für mich nützlich sein kann.

25. Ich habe mich darauf konzentriert, ob Unstimmigkeiten im Spiel vorhanden sind.
26. Ich habe nicht besonders darauf geachtet, ob es Fehler bzw. Widersprüche im Spiel gibt.
27. Ich stand dem Dargestellten im Spiel kritisch gegenüber.
28. Für mich war es nicht von Bedeutung, ob das Spiel Fehler bzw. Widersprüche enthält.
29. Die dargestellte Umgebung erschien mir natürlich.
30. Der Inhalt wirkte glaubhaft auf mich.
31. Die dargestellte Umgebung kam mir während des Spiels so vor, als wäre sie ein Teil der realen Welt.
32. Die dargestellten Szenen könnten in der realen Welt wirklich stattfinden.
33. Ich hatte den Eindruck, dass die dargestellten Objekte real waren.
34. Nach dem Spiel fühlte ich mich desorientiert.
35. Während des Spielens fühlte ich mich müde.
36. Während des Spielens war mir schwindlig.
37. Das Spiel strengte meine Augen übermäßig an.
38. Ich hatte während des Spielens Kopfschmerzen.
39. Mir hat das Computerspiel gefallen.
40. Das Tischtennispiel hat Spaß gemacht.
41. Während des Spiels habe ich darüber nachgedacht, wie sehr es mir gefällt.
42. Das Spiel hat mich nicht sehr interessiert.
43. Die stereoskopische 3D-Darstellung im Spiel war deutlich erkennbar.

Block 2

Die folgenden Aussagen beziehen sich darauf, wie sehr Sie sich generell für das Thema interessieren, das im Spiel aufgegriffen wurde. Bitte geben Sie wieder an, wie sehr Sie der jeweiligen Aussage zustimmen.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

44. Ich bin generell an Motorsport interessiert.
45. Ich finde schon seit langer Zeit Gefallen an Autorennen.
46. Ich hatte schon eine Vorliebe für Autorennen, bevor ich das Spiel gespielt habe.
47. Ich mag es einfach, mir Gedanken zu Autorennen machen.

Block 3

Die letzten noch folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Person. Bitte denken Sie über sich selbst nach und geben Sie wieder an, wie sehr Sie der jeweiligen Aussage zustimmen. Auch hier gibt es wieder keine richtigen oder falschen Antworten. Uns interessiert Ihre ganz persönliche Einschätzung.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 48. Wenn mir jemand einen Grundriss zeigt, dann kann ich mir den Raum dazu gut vorstellen.
- 49. Es fällt mir leicht mir einen Raum plastisch vor Augen zu führen, ohne darin zu sein.
- 50. Wenn ich einen Text lese, kann ich mir die Anordnung der beschriebenen Objekte meistens gut vorstellen.
- 51. Wenn mir jemand einen Raum schildert, ist es für mich meist sehr einfach, mir diesen klar vorzustellen.

Block 4

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf das Eingabegerät des Spiels. Bitte geben Sie für jede der folgenden Aussagen an, wie sehr Sie ihr zustimmen können.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 7-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 52. Die Spielbedienung wirkte natürlich.
- 53. Die durchgeführten Handlungen und Bewegungen im Spiel waren denen ähnlich, die ich im realen Leben beim Autofahren benutzen würde.
- 54. Die mit dem Controller ausgeführten Handlungen waren sehr nah mit daraus resultierenden Handlungen in der Spielumgebung verbunden.
- 55. Die Art und Weise wie ich den Controller im Spiel benutzt habe, fühlte sich natürlich an.
- 56. Die Art und Weise wie ich meinen Körper eingesetzt habe, um das Spiel zu steuern, fühlte sich realistisch an.
- 57. Die Art und Weise, mit dem Controller das Auto zu steuern, ließ das Spiel realistischer erscheinen.
- 58. Es war schwer, mein Auto im Spiel zu kontrollieren.
- 59. Der Controller fühlte sich wie eine Erweiterung meines Körpers an.
- 60. Beim Lenken in den Kurven machte der Controller die Steuerung sehr realistisch.
- 61. Der Controller ermöglichte mir all das tun zu, was ich brauchte, um im Spiel erfolgreich zu sein.
- 62. Während des Spiels fühlten meine Arme und Beine so ähnlich an, als wenn ich in der realen Welt Auto fahren würde.
- 63. Der Controller war sehr gut für das Autofahren geeignet.
- 64. Mit dem Controller konnte ich nicht alles so genau steuern, wie ich es wollte.
- 65. Der Controller erschien mir für das Spiel sehr angemessen.
- 66. Ich habe meine Spielziele mit dem Controller sehr gut umsetzen können.
- 67. Ich hätte mir für die Steuerung des Spiels einen anderen Controller gewünscht.
- 68. Die Aufgabe im Spiel war schwer.
- 69. Die Art und Weise der Darstellung im Spiel erschien mir für die Aufgabe angemessen.
- 70. Die Eingabe- und Anzeigeinformationen waren gut auf die Spielaufgabe abgestimmt.

- 71. Ich hätte mir eine andere Form für die Darstellung der Spielumgebung gewünscht, um meine Aufgabe besser zu erfüllen.
- 72. Ich kann mir insgesamt keine bessere Kombination von Eingabegeräten und der Art und Weise der Darstellung vorstellen, die für die Spielaufgabe angemessener gewesen wäre.

Block 5

Bitte geben Sie bei folgenden Aussagen zu Eingabegeräten für Computerspiele an, wie sehr Sie Ihnen zustimmen können.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 73. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Lenkrad-Controllern.
- 74. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Gamepad-Controllern.
- 75. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Joystick-Controllern.
- 76. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Wii-Controllern.

Block 6

Zum Abschluss der Untersuchung bitten wir Sie noch, die im Spiel gefahrene Rennstrecke aus Ihrer Erinnerung nach so genau wie möglich zu zeichnen. Sie erhalten dazu vom Versuchsleiter ein dafür vorgesehenes Blatt Papier. Bitte tragen Sie dort erneut Ihr Probandenkürzel ein und zeichnen Sie die Strecke auf. Sie haben dafür maximal 5 Minuten Zeit.

Bitte melden Sie sich beim Versuchsleiter, wenn Sie fertig sind.

A.2 Tabellen und Diagramme zu G*Power

Tabelle 41. *G*Power A-priori-Power-Analyse Experiment 1*

Analysis:	A priori: Compute required sample size		
Input:	Effect size f	=	0.30
	α err prob	=	0.05
	Power (1- β err prob)	=	0.95
	Numerator df	=	1
	Number of groups	=	7
	Number of covariates	=	3
Output:	Noncentrality parameter λ	=	13.2300000
	Critical F	=	3.9102342
	Denominator df	=	137
	Total sample size	=	147
	Actual power	=	0.9507051

Tabelle 42. *G*Power Post-Hoc-Analyse (Spatial Presence) Experiment 1***F tests** - ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions**Analysis:** Post hoc: Compute achieved power**Input:** Effect size f = 0.2928760 α err prob = 0.05

Total sample size = 125

Numerator df = 1

Number of groups = 4

Number of covariates = 3

Output: Noncentrality parameter λ = 10.7220439

Critical F = 3.9214782

Denominator df = 118

Power ($1-\beta$ err prob) = 0.9010792

Tabelle 43. *G*Power Sensitivitätsanalyse Experiment 1***F tests** - ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions

Analysis:	Sensitivity: Compute required effect size		
Input:	α err prob	=	0.05
	Power (1- β err prob)	=	0.90
	Total sample size	=	125
	Numerator df	=	1
	Number of groups	=	4
	Number of covariates	=	3
Output:	Noncentrality parameter λ	=	10.6813145
	Critical F	=	3.9214782
	Denominator df	=	118
	Effect size f	=	0.2923192

A.3 Prüfung der Instrumente und deskriptive Auswertung

Die statistischen Nachweise befinden sich im digitalen Anhang unter A.3.

A.4 Inferenzstatistische Auswertung

Die statistischen Nachweise befinden sich im digitalen Anhang unter A.4.

B. Anhang Experiment 2

Anhang B enthält Materialien zu Experiment 2. Darunter fallen die eingesetzten Fragebögen, sowie Unterlagen zur statistischen Auswertung. Aus pragmatischen Gründen befinden sich nur die notwendigsten Anlagen im gedruckten Anhang. Der Großteil der statistischen Nachweise befindet sich im sich im digitalen Anhang C.

B.1 Fragebogen Experiment 2

Tischtennis – Fragebogen, Teil 1

Block 1

1. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.

- ☐ weiblich
☐ männlich

2. Bitte geben Sie Ihr Alter an.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein: ____ Jahre

Block 2

Die folgenden Aussagen beziehen sich Ihre Mediennutzung. Bitte beziehen Sie dabei Ihre Antworten auf einen für Sie typischen, durchschnittlichen Zeitraum der letzten 12 Monate. Es gibt dabei keine richtigen oder falschen Antworten. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

3. Wie schätzen Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit Computern im Allgemeinen ein?

- ☐ Keine Erfahrung
☐ Grundlegende Kenntnisse
☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
☐ Expertenkenntnisse

4. Wie viele Stunden am Tag spielen Sie durchschnittlich Computerspiele?

An Wochenenden: ____ Stunden

An Wochentagen: ____ Stunden

5. Wie würden Sie sich selbst einschätzen?

- ☐ Nichtspieler
☐ Gelegenheitsspieler
☐ Regelmäßiger Spieler
☐ Vielspieler

6. Welche der folgenden Spielsysteme benutzen Sie mindestens einmal im Monat, um Computerspiele zu spielen?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Xbox 360
- ☐ PS Vita
- ☐ PlayStation 3
- ☐ Nintendo 3DS bzw. Nintendo DS
- ☐ Nintendo Wii
- ☐ Nintendo Wii U
- ☐ ältere Konsolen (z.B. PlayStation 2, Super Nintendo, Xbox, PSOne)
- ☐ PC / Mac
- ☐ Smartphone
- ☐ Tablet-PC
- ☐ Keine der angegebenen

7. Wie häufig haben Sie in den letzten 12 Monaten Computerspiele folgender Genres gespielt? Wenn Ihnen die Bezeichnungen nichts sagen, geben Sie bitte "nie" an.

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	nie	sehr häufig
Actionspiele: Ego-Shooter/Taktik-Shooter	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Actionspiele: Hack & Slay	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Actionspiele: Jump'n'Run	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Actionspiele: Sportspiele, Rennspiele	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Abenteuerspiele: Text-/Point-and-Click Adventure	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Abenteuerspiele: Rollenspiele, MMORPG	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Abenteuerspiele: Action-Adventure, Third-Person-Action	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Strategiespiele: Aufbaustrategie, Wirtschaftssimulation	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Strategiespiele: Echtzeitstrategie, Rundenstrategie	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Simulationen: Flugsimulation, Rennsimulation	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Simulationen: Göttersimulation, Lebenssimulation	☐	☐ ☐ ☐ ☐
Puzzle: Kartenspiele, Puzzle-Spiele, Wimmelspiele	☐	☐ ☐ ☐ ☐
nie	☐	☐ ☐ ☐ ☐

8. An wie vielen Stunden pro Tag schauen Sie Fernsehen bzw. DVDs/Blu-Rays oder Videos?

An Wochenenden: ____ Stunden

An Wochentagen: ____ Stunden

9. Welche Größe hat der Bildschirm, auf dem Sie am meisten TV oder Filme schauen?

- ☐ Klein/Tragbar (14" oder weniger, z.B. Laptop)
- ☐ Mittel (15-32", z.B. Computerbildschirm)
- ☐ Groß (33-42", z.B. Flatscreen-TV)
- ☐ Sehr groß (43" und größer, z.B. großer Flatscreen oder Beamer)

10. Wie schätzen Sie Ihr Wissen um TV / Filmproduktion ein?

- ☐ Keine Erfahrung
- ☐ Grundlegende Kenntnisse
- ☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
- ☐ Expertenkenntnisse

11. Haben Sie schon einmal stereoskopische (3D) Bilder mit Polarisationsbrillen gesehen (z.B. 3D-Kino)?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

12. Haben Sie bereits Erfahrung mit 3D-Bildern auf folgenden Geräten/Medien machen können?

Die Frage wurde nur angezeigt, wenn folgende Bedingungen erfüllt waren:
Antwort war 'Ja' bei Frage '11' (Haben Sie schon einmal stereoskopische (3D) Bilder mit Polarisationsbrillen gesehen (z.B. 3D-Kino)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	noch nie	wenig (maxi- mal 3 mal)	viel (mehr als 10 mal)	sehr viel (mehr als 20 mal)
Kino	☐	☐	☐	☐
Heimkino (aktives 3D mit Shut- ter-Brille)	☐	☐	☐	☐
Heimkino (passives 3D wie im Kino)	☐	☐	☐	☐
Computerspiele mit Konsolen (z.B. PlayStation 3)	☐	☐	☐	☐

	noch nie	wenig (maxi- mal 3 mal)	viel (mehr als 10 mal)	sehr viel (mehr als 20 mal)
Computerspiele am PC/Mac (z.B. Nvidia 3D-Brille)	☐	☐	☐	☐
Professionelle VR-Anlage (aus Industrie, Forschung)	☐	☐	☐	☐

13. Wie schätzen Sie Ihr Wissen darüber ein, wie 3D-Bilder produziert werden?

- ☐ Keine Erfahrung
- ☐ Grundlegende Kenntnisse
- ☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
- ☐ Expertenkenntnisse

14. Wie schätzen Sie Ihr Wissen über technische Hintergründe von Virtual Reality ein?

- ☐ Keine Erfahrung
- ☐ Grundlegende Kenntnisse
- ☐ Fortgeschrittene Kenntnisse
- ☐ Expertenkenntnisse

Block 3

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Person. Bitte denken Sie über sich selbst nach und geben Sie an, wie sehr Sie der jeweiligen Aussage zustimmen. Mitunter mag es Ihnen schwer fallen, Ihre Zustimmung zu einer der Aussagen einzuschätzen. Denken Sie jedoch daran, dass es keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 15. Ich bin ein sehr guter Computerspieler.
- 16. Ich bin mit verschiedenen Plattformen für Computerspiele vertraut.
- 17. Ich lese computerspielbezogene Zeitschriften.
- 18. Ich besuche Websites und Foren, um mich über Computerspiele mit anderen auszutauschen.
- 19. Ich gewinne oft, wenn ich ein Computerspiel gegen einen menschlichen Gegner spiele.
- 20. Ich gewinne oft, wenn ich ein Computerspiel gegen einen Computergegner spiele.
- 21. Ich kenne mich mit Computerspielen gut aus.
- 22. Ich verbringe einen großen Teil meiner Freizeit mit Computerspielen.
- 23. Ich denke oft über Strategien in Computerspielen nach.

Block 4

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihr Wissen und praktische Erfahrung mit Tischtennis.

24. Wie schätzen Sie Ihre praktische Spielerfahrung im Tischtennis ein?

25. Welche der folgenden Tennis-Computerspiele haben Sie bereits gespielt?
Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Virtua Tennis (3 oder 4; PlayStation 3, PSP, Windows, Xbox 360, Wii)
- ☐ Rockstar Games presents Table Tennis (Wii/Xbox 360)
- ☐ Outlaw Tennis (PlayStation 2, Xbox)
- ☐ Wii Sports Tennis (Wii)
- ☐ Mario Tennis/ Mario Power Tennis (N64, Wii, Gameboy Color, Nintendo 3DS)
- ☐ Ace Gals Tennis (Xbox 360)
- ☐ Grand Slam Tennis (Wii)
- ☐ Family Table Tennis (Wii)
- ☐ SEGA Superstars Tennis (Nintendo DS, PlayStation 2, PlayStation 3, Wii, Xbox 360)
- ☐ Ich habe noch gar keine Tennis-Computerspiele gespielt
- ☐ Anderes Tennisspiel, und zwar: _____

Block 5

Bitte geben Sie bei folgenden Multiple-Choice-Fragen die richtigen Antworten an. Dabei können sowohl alle, einige, eine oder auch gar keine der Antwortvorgaben korrekt sein.

26. Während des Aufschlags berührt der Ball die Netzgarnitur, was bedeutet das?

- ☐ Dies wird immer als Fehler gewertet.
- ☐ Der Aufschlag wird wiederholt.
- ☐ Das Spiel geht ununterbrochen weiter, wenn der Ball auf die Seite des Gegners fällt.
- ☐ Der Aufschlag zählt nur als Fehler, wenn er zurück in das Spielfeld des Aufschlägers fällt.

27. Wann wird beim Tischtennis die Seite gewechselt?

- ☐ Nach jedem Satz.
- ☐ Nie.
- ☐ Beim letzten Satz werden die Seiten nach 10 Punkten gewechselt.
- ☐ Beim Stand von 10:10 geht der Satz in die Verlängerung, dabei wird nach jedem Punkt die Seite gewechselt.

28. Welche Aussagen zu Fehlern im Spiel sind korrekt?

- ☐ Wenn der Ball gespielt wird, bevor er auf dem Tisch aufkam, ist dies ein Fehler.
- ☐ Es gilt als Fehler, den Ball beim Aufschlag mehr als einmal auf der eigenen Tischhälfte aufkommen zu lassen.
- ☐ Es gilt als Fehler, den Ball direkt auf die gegnerische Tischhälfte zurückzuspielen.
- ☐ Es gilt nicht als Fehler, wenn die freie Hand während des Ballwechsels versehentlich den Tisch berührt.

29. Beim Doppel gelten welche Sonderregelungen?

- ☐ Der Ball muss diagonal nach rechts aufgeschlagen werden.
- ☐ Beim Ballwechsel müssen die Spieler abwechselnd den Ball spielen.
- ☐ Die Aufstellung wechselt nicht nach jedem Satz.
- ☐ Im Doppel kann ein Satz noch nicht nach 11 Punkten enden.

30. Welche Aussagen zu Spielweisen und Spieltaktik sind korrekt?

- ☐ Spin bezeichnet die Drehung des Balls um die eigene Achse, z.B. Seitschnitt oder Überschnitt.
- ☐ Topspin bezeichnet einen Ball mit starker Vorwärtsrotation, der in einer nach unten gekrümmten Flugbahn resultiert.
- ☐ Bei einer Ballonabwehr steht der Spieler nah am Tisch und spielt den Ball extrem flach zurück.
- ☐ Ein Flip wird mit einer Kippbewegung aus dem Handgelenk gespielt.

Tischtennis – Fragebogen, Teil 2

Block 1

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihr persönliches Erleben, während Sie das Spiel gespielt haben. Bitte gehen Sie in sich und geben für jede der folgenden Aussagen an, wie sehr Sie ihr zustimmen können. Mitunter mag es Ihnen schwer fallen, Ihre Zustimmung zu einer der Aussagen einzuschätzen. Denken Sie jedoch daran, dass es keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Antworten Sie einfach spontan so, wie es Ihnen persönlich richtig erscheint.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“ / „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

1. Ich habe meine gesamte Aufmerksamkeit auf das Spiel gerichtet.
2. Ich habe mich auf das Spiel konzentriert.
3. Das Spiel hat meine Sinne vereinnahmt.
4. Ich habe mich dem Spiel voll gewidmet.
5. Ich konnte die im Spiel dargestellte Anordnung der räumlichen Umgebung gut nachvollziehen.
6. Ich hatte eine genaue Vorstellung von der im Spiel dargestellten räumlichen Umgebung.
7. Ich hatte die räumliche Anordnung der gezeigten Gegenstände gut vor Augen.
8. Ich konnte gut abschätzen, wie groß der dargestellte Raum war.
9. Ich konnte gut abschätzen, in welcher Entfernung sich die Dinge zueinander befanden.
10. Ich habe jetzt noch ein plastisches Bild der räumlichen Umgebung im Kopf.
11. Ich kann jetzt noch einen Plan der dargestellten räumlichen Umgebung zeichnen.
12. Ich könnte mich jetzt noch in der dargestellten räumlichen Umgebung gut zurechtfinden.
13. Ich hatte das Gefühl, in der dargestellten Umgebung selbst anwesend zu sein.
14. Es war, als ob sich mein eigentlicher Standort in die dargestellte Umgebung verlagert hätte.
15. Ich hatte das Gefühl, in der dargestellten Umgebung selbst körperlich anwesend zu sein.
16. Es kam mir vor, als ob ich wirklich am dargestellten Geschehen teilgenommen habe.
17. Ich hatte den Eindruck, dass ich selbst in der dargestellten Umgebung aktiv werden konnte.
18. Ich hatte das Gefühl, mich um die dargestellten Objekte bewegen zu können.
19. Die dargestellten Gegenstände wirkten auf mich, als ob ich selbst etwas mit ihnen machen konnte.
20. Es kam mir so vor, als ob ich in der dargestellten Umgebung tun und lassen konnte, was ich wollte.
21. Ich habe meist an Dinge gedacht, die mit dem Spiel etwas zu tun hatten.
22. Ich habe gründlich überlegt, inwiefern die dargestellten Dinge miteinander zu tun haben.
23. Das im Spiel Dargestellte hat meine Gedanken angeregt.
24. Ich habe darüber nachgedacht, ob das im Spiel Dargestellte für mich nützlich sein kann.

- 25. Ich habe mich darauf konzentriert, ob Unstimmigkeiten im Spiel vorhanden sind.
- 26. Ich habe nicht besonders darauf geachtet, ob es Fehler bzw. Widersprüche im Spiel gibt.
- 27. Ich stand dem Dargestellten im Spiel kritisch gegenüber.
- 28. Für mich war es nicht von Bedeutung, ob das Spiel Fehler bzw. Widersprüche enthält.
- 29. Die dargestellte Umgebung erschien mir natürlich.
- 30. Der Inhalt wirkte glaubhaft auf mich.
- 31. Die dargestellte Umgebung kam mir während des Spiels so vor, als wäre sie ein Teil der realen Welt.
- 32. Die dargestellten Szenen könnten in der realen Welt wirklich stattfinden.
- 33. Ich hatte den Eindruck, dass die dargestellten Objekte real waren.
- 34. Nach dem Spiel fühlte ich mich desorientiert.
- 35. Während des Spielens fühlte ich mich müde.
- 36. Während des Spielens war mir schwindlig.
- 37. Das Spiel strengte meine Augen übermäßig an.
- 38. Ich hatte während des Spielens Kopfschmerzen.
- 39. Mir hat das Computerspiel gefallen.
- 40. Das Tischtennispiel hat Spaß gemacht.
- 41. Während des Spiels habe ich darüber nachgedacht, wie sehr es mir gefällt.
- 42. Das Spiel hat mich nicht sehr interessiert.
- 43. Die stereoskopische 3D-Darstellung im Spiel war deutlich erkennbar.

Block 2

Die folgenden Aussagen beziehen sich darauf, wie sehr Sie sich generell für das Thema interessieren, das im Spiel aufgegriffen wurde. Bitte geben Sie wieder an, wie sehr Sie der jeweiligen Aussage zustimmen.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 44. Ich bin generell an Sport interessiert.
- 45. Ich finde schon seit langer Zeit Gefallen an Tischtennis.
- 46. Ich hatte schon eine Vorliebe für Tischtennis, bevor ich das Spiel gespielt habe.
- 47. Ich mag es einfach, mir Gedanken zu Tischtennis machen.

Block 3

Die letzten noch folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Person. Bitte denken Sie über sich selbst nach und geben Sie wieder an, wie sehr Sie der jeweiligen Aussage zustimmen. Auch hier gibt es wieder keine richtigen oder falschen Antworten. Uns interessiert Ihre ganz persönliche Einschätzung.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 48. Wenn mir jemand einen Grundriss zeigt, dann kann ich mir den Raum dazu gut vorstellen.
- 49. Es fällt mir leicht mir einen Raum plastisch vor Augen zu führen, ohne darin zu sein.
- 50. Wenn ich einen Text lese, kann ich mir die Anordnung der beschriebenen Objekte meistens gut vorstellen.
- 51. Wenn mir jemand einen Raum schildert, ist es für mich meist sehr einfach, mir diesen klar vorzustellen.

Block 4

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf das Eingabegerät des Spiels. Bitte geben Sie für jede der folgenden Aussagen an, wie sehr Sie ihr zustimmen können.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 7-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

- 52. Die Spielbedienung wirkte natürlich.
- 53. Die durchgeführten Handlungen und Bewegungen im Spiel waren denen ähnlich, die ich im realen Leben beim Tischtennis benutzen würde.
- 54. Die mit dem Controller ausgeführten Handlungen waren sehr nah mit daraus resultierenden Handlungen in der Spielumgebung verbunden.
- 55. Die Art und Weise wie ich den Controller im Spiel benutzt habe, fühlte sich natürlich an.
- 56. Die Art und Weise wie ich meinen Körper eingesetzt habe, um das Spiel zu steuern, fühlte sich realistisch an.
- 57. Die Art und Weise, mit dem Controller den Schläger zu steuern, ließ das Spiel realistischer erscheinen.
- 58. Es war schwer, meinen Schläger im Spiel zu kontrollieren.
- 59. Der Controller fühlte sich wie eine Erweiterung meines Körpers an.
- 60. Beim Aufschlag machte der Controller die Steuerung sehr realistisch.
- 61. Der Controller ermöglichte mir all das tun zu, was ich brauchte, um im Spiel erfolgreich zu sein.
- 62. Während des Spiels fühlten meine Arme und Beine so ähnlich an, als wenn ich in der realen Welt Tischtennis spielen würde.
- 63. Der Controller war sehr gut für Tischtennis geeignet.
- 64. Mit dem Controller konnte ich nicht alles so genau steuern, wie ich es wollte.
- 65. Der Controller erschien mir für das Spiel sehr angemessen.
- 66. Ich habe meine Spielziele mit dem Controller sehr gut umsetzen können.
- 67. Ich hätte mir für die Steuerung des Spiels einen anderen Controller gewünscht.
- 68. Die Aufgabe im Spiel war schwer.
- 69. Die Art und Weise der Darstellung im Spiel erschien mir für die Aufgabe angemessen.
- 70. Die Eingabe- und Anzeigeeinformationen waren gut auf die Spielaufgabe abgestimmt.

71. Ich hätte mir eine andere Form für die Darstellung der Spielumgebung gewünscht, um meine Aufgabe besser zu erfüllen.
72. Ich kann mir insgesamt keine bessere Kombination von Eingabegeräten und der Art und Weise der Darstellung vorstellen, die für die Spielaufgabe angemessener gewesen wäre.

Block 5

Bitte geben Sie bei folgenden Aussagen zu Eingabegeräten für Computerspiele an, wie sehr Sie Ihnen zustimmen können.

Die Fragen in diesem Block wurden vollständig randomisiert präsentiert. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zur Bewertung („Stimme überhaupt nicht zu“/ „stimme voll und ganz zu“) eingesetzt.

73. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Lenkrad-Controllern.
74. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Gamepad-Controllern.
75. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Joystick-Controllern.
76. Ich habe bereits viel Erfahrung mit Wii-Controllern.

Block 6

Zum Abschluss der Untersuchung bitten wir Sie, das VR-System an sich zu bewerten. Dazu werden Ihnen Gegensatzpaare von Eigenschaften präsentiert, die das System haben kann. Durch Wählen eines dieser Kreise können Sie Ihre Zustimmung zu einem Begriff äußern.

Beispiel:

Mit dieser Beurteilung sagen Sie aus, dass Sie das System eher attraktiv als unattraktiv einschätzen.

unattraktiv 1 2 3 4 5 6 7 attraktiv

Entscheiden Sie möglichst spontan. Es ist wichtig, dass Sie nicht lange über die Begriffe nachdenken, damit Ihre unmittelbare Einschätzung zum Tragen kommt.

Bitte kreuzen Sie immer eine Antwort an, auch wenn Sie bei der Einschätzung zu einem Begriffspaar unsicher sind oder finden, dass es nicht so gut zum Produkt passt.

Es gibt keine „richtige“ oder „falsche“ Antwort. Ihre persönliche Meinung zählt!

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5	6	7	
unerfreulich	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	erfreulich
unverständlich	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	verständlich
kreativ	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	phantasielos
leicht zu lernen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	schwer zu lernen
erfrischend	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	einschläfernd
langweilig	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	spannend
uninteressant	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	interessant
unberechenbar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	voraussagbar
schnell	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	langsam
neu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	alt
unbedienbar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	bedienbar
gut	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	schlecht
kompliziert	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	einfach
abstoßend	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	anziehend
veraltet	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	modern
unangenehm	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	angenehm
vorhersagbar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	unvorhersagbar
abwechslungsreich	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	eintönig
zuverlässig	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	unzuverlässig
ineffizient	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	effizient
übersichtlich	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	verwirrend
stockend	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	flüssig
aufgeräumt	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	überladen
schön	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	hässlich
sympathisch	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	unsympathisch
unauffällig	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	auffällig

B.2 Pretest zur Ermittlung der Aufgabenschwierigkeit

Die statistischen Nachweise befinden sich im digitalen Anhang unter B.2.

B.3 Tabellen und Diagramme zu G*Power

Tabelle 44. *G*Power Post-Hoc-Analyse (Task Adequacy) Experiment 2*

F tests - ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions

Analysis: Post hoc: Compute achieved power

Input: Effect size f = 0.2041241

α err prob = 0.05

Total sample size = 132

Numerator df = 1

Number of groups = 4

Number of covariates = 1

Output: Noncentrality parameter λ = 5.4999976

Critical F = 3.9157268

Denominator df = 127

Power ($1-\beta$ err prob) = 0.6453786

Tabelle 45. *G*Power Post-Hoc-Analyse (Spatial Presence) Experiment 2***F tests** - ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions**Analysis:** Post hoc: Compute achieved power**Input:** Effect size f = 0.3333333 α err prob = 0.05

Total sample size = 132

Numerator df = 1

Number of groups = 4

Number of covariates = 1

Output: Noncentrality parameter λ = 14.6666637

Critical F = 3.9157268

Denominator df = 127

Power (1- β err prob) = 0.9671619

Tabelle 46. *G*Power Sensitivitätsanalyse Experiment 2***F tests** - ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions

Analysis:	Sensitivity: Compute required effect size		
Input:	α err prob	=	0.05
	Power (1- β err prob)	=	0.90
	Total sample size	=	132
	Numerator df	=	1
	Number of groups	=	4
	Number of covariates	=	1
Output:	Noncentrality parameter λ	=	10.6688005
	Critical F	=	3.9157268
	Denominator df	=	127
	Effect size f	=	0.2842961

B.4 Prüfung der Instrumente und deskriptive Auswertung

Die statistischen Nachweise befinden sich im digitalen Anhang unter B.4.

B.5 Inferenzstatistische Auswertung

Die statistischen Nachweise befinden sich im digitalen Anhang B.5.

C. Digitaler Anhang

Anhang C umfasst die erweiterten statistischen Nachweise aus den Anhängen A und B. Weiterhin befinden sich hochaufgelöste Fotos und Videos sowie eine digitale Version der Arbeit im digitalen Anhang.

Der digitale Anhang ist online unter MONARCH-Qucosa verfügbar.