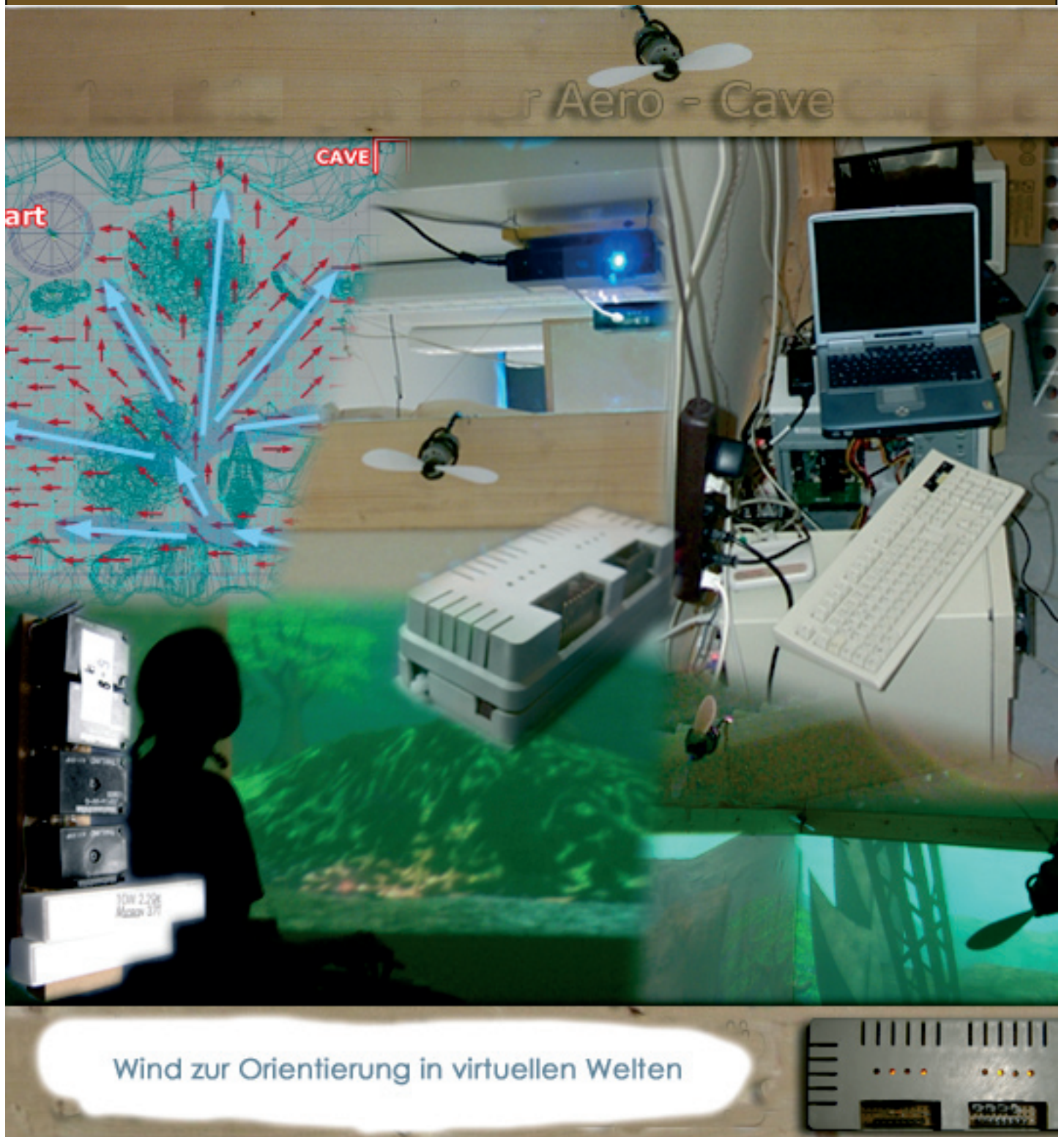


Daniel Pratsch



Impressum

artecLab paper 9

Daniel Pratsch

Der Aero-Cave – Wind zur Orientierung in virtuellen Welten

Laboratory for Art, Work and Technology

Universität Bremen

Enrique-Schmidt-Straße 7 (SFG)

D-28359 Bremen

www.artecLab.uni-bremen.de

Bremen 2006

Redaktion: Bernd Robben

ISSN 1860-9953

Copyright © artecLab-paper, Bremen

Satz und Herstellung im Eigenverlag

Diplomarbeit

Auswirkungen einer Aero-Cave Umgebung auf die Orientierung innerhalb einer virtuellen 3D-Umgebung

angefertigt von

Daniel Pratsch

Gutachter

Prof. Dr. F. Wilhelm Bruns

Prof. Dr. Karl-Heinz Rödiger

Fachbereich 3

Mathematik / Informatik

Universität Bremen

Oktober 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziel der Arbeit	2
1.2	Mögliche Einsatzszenarien	3
1.2.1	Entertainment	3
1.2.2	Vorfürhungen	4
1.3	Gliederung der Arbeit und generelles Vorgehen	5
2	Grundlagen	7
2.1	Virtuelle 3D-Welten	7
2.1.1	Virtual Reality	8
2.1.1.1	Einsatz in der Industrie und Forschung	10
2.1.1.2	Einsatz in Trainingsumgebungen und VEs	11
2.1.1.3	Einzug in den Heimanwenderbereich	12
2.1.2	Immersion	13
2.1.2.1	Zusammenhänge zwischen Immersion, Präsenz und Telepräsenz	14
2.1.2.2	Kommunikationsmodell und Immersion	15
2.1.2.3	Fazit: Immersion	16
2.2	Umgebungen - Interaktion mit Virtualität	18
2.2.1	Klassische Desktopsituation	18
2.2.2	CAVE-Systeme	20
2.2.3	Grundlage des Aero-CAVE Systems	21
2.3	Orientierung	23
2.3.1	Natürliche Orientierung in der realen Welt: Kognitive Karten	23
2.3.2	Orientierung in simulierten 3D-Umgebungen	25
2.4	Einordnung der Aero-Cave Umgebung	26
2.4.1	Augmented Reality	26
2.4.2	Force Feedback	27
2.4.3	Mixed Reality	28
2.4.4	Sensorik innerhalb der Aero-Cave Umgebung	29

3	Implementierung	31
3.1	Wahl der Engine für die Umsetzung	32
3.1.1	Unreal Tournament 2003	32
3.1.2	MiCasas CAVE-System	33
3.2	Windmaschinenbau und Interface	34
3.2.1	Die Windmaschine	34
3.2.2	Das Hardware-Interface	36
3.2.2.1	USB-Interface	37
3.2.2.2	Relaiskarte	37
3.2.2.3	Eigenbau	38
3.2.3	Die Brücke zwischen Hard- und Software	43
3.2.3.1	Kommunikation mit dem Spiel UT2003	46
3.2.3.2	Berechnung der Windstufen in UT2003	47
3.2.3.3	Virtueller Wind: WindTrigger	48
3.3	Das Erstellen der Map	48
4	Praxistests	53
4.1	Erste Versuche	53
4.2	Praxistests und Interviews mit Versuchspersonen	54
4.2.1	1. Versuchsperson	54
4.2.2	2. Versuchsperson	55
4.2.3	3. Versuchsperson	55
4.2.4	4. Versuchsperson	56
4.2.5	5. Versuchsperson	56
4.2.6	6. Versuchsperson	57
4.2.7	7. Versuchsperson	58
4.2.8	8. Versuchsperson	58
4.2.9	9. Versuchsperson	59
4.2.10	10. Versuchsperson	59
4.2.11	11. Versuchsperson	60
4.2.12	12. Versuchsperson	61
4.2.13	13. Versuchsperson	61
4.2.14	14. Versuchsperson	62
5	Auswertung der experimentellen Ergebnisse	65
5.1	Ideen und Verbesserungsvorschläge	65
5.1.1	Aus Gesprächen mit Versuchspersonen	65
5.1.2	Bei der Arbeit	66
5.2	Orientierung	67
6	Zusammenfassung	71
6.1	Zukunft & Chancen	72

Anhang	77
Kostenauflistung	77
Systemvoraussetzungen	79
Installation	81
Abbildungsverzeichnis	84
Tabellenverzeichnis	85
Literaturverzeichnis	87

Danksagung

Als erstes möchte ich meiner Freundin Joanna für ihre Geduld danken, die sie in den Monaten hatte, in denen diese Diplomarbeit entstanden ist. Es war keine leichte Zeit, alles war neu für mich und vieles ungewiss. Meine Familie, die mich kaum mehr zu sehen bekommen hat, muss ich hiermit um Verzeihung bitten, für die lange Abwesenheit gegen Ende der Arbeit und für ihr Verständnis, welches sie mir entgegengebracht hat. Meinen Freunden, weil sie mich in dieser Zeit tatkräftig unterstützten und in vielen Fragen mit Rat und Tat zur Stelle waren. Danke für eure Notebooks, Alexander und Sebastian, ohne die ich in der Evaluationsphase arge Probleme bekommen hätte. Den Mitarbeitern des artecs, besonders Martin Faust und Daniel Cermak-Sassenrath, danke ich für ihre Anregungen und den Aufbau der CAVE-Umgebung, in dem ich die Evaluation meines Systems vollzogen habe. Ich danke allen Versuchspersonen, die sich durch die Map geschlagen haben und ein Interview über sich ergehen ließen ;). Und ich danke meinem betreuenden Professor Willi Bruns, der an mein Vorhaben glaubte und mir diese Diplomarbeit ermöglichte, sowie Prof. Dr. Karl-Heinz Rödiger für sein Interesse an meinem Thema und die schnelle Bereitschaft der Zweitgutachter dieser Arbeit zu werden. Für die Korrekturlesung danke ich Alexander Alves, Jens Martin Baumgartner, Sebastian Kinder und Germaine Stolper.

1 Einleitung

„Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle.“

Albert Einstein

Der rein visuellen Orientierung mittels Bildschirm, Maus und Tastatur fehlt es an Greifbarkeit und Immersion¹. Die Bewegungslosigkeit schränkt das Empfinden des realen Erlebens empfindlich ein. Erfindungen, wie Joysticks, Motion-Tracking-Systeme² und Simulatoren künstlicher Umgebungen³ steigern den Grad der Immersion erheblich. Dabei werden Instrumente, Umgebungen, Fortbewegungsmöglichkeiten sowie physikalische Gegebenheiten der realen Welt nachempfunden, um Situationen so detailreich wie möglich erlebbar zu machen.

Die Idee dieser Diplomarbeit setzt genau dort an. Sie versucht die Auswirkung einer fortschrittlichen Umgebung auf die Orientierung innerhalb künstlich geschaffener Räume zu untersuchen und zeigt Möglichkeiten, diese mit kleinen Eingriffen zu verbessern. In dieser Arbeit wird speziell die CAVE⁴ als ein System für die Simulation von 3D-Welten herangezogen und weiterentwickelt. Wenn der Partizipant nicht durch Aktoren, wie einem fliegenden Teppich⁵ (Abbildung 1.1) oder ähnlichen Vorrichtungen innerhalb einer solchen CAVE bewegt wird, so verharret er relativ bewegungslos in der Mitte der Vorrichtung. Bewegungen, die mittels 3D-Maus oder Tanzmatte (vgl. (35, S. 51 ff.)) vonstatten gehen, geben ihm keine direkte physikalische Rückmeldung. Um den Anschein einer realen Bewegung zu erwecken, wird in dieser Arbeit eine ‚Windmaschine‘ vorgestellt, die die virtuelle Bewegung spürbar machen soll. In der Evaluationsphase wird die so angereicherte Umgebung von Versuchspersonen getestet und deren Eindrücke in Interviews untersucht.

¹lat. immersio, „Eintauchen“, der Begriff der Immersion wird im Kapitel 2.1.2 erläutert

²Damit sind alle Geräte zur Erfassung der Position im Raum gemeint, welche über Magnetfelder, Sonar, Licht oder mit Hilfe anderer Sensoren arbeiten

³Virtuelle Achterbahnfahrten in beweglichen Kabinen, Flugzeugcockpitnachbildungen und die CAVE sind Beispiele solcher Simulatoren

⁴CAVE = Cave Automatic Virtual Environment, vgl. (9), *die* CAVE, da Environment mit Umgebung übersetzt wird

⁵Das studentische Projekt MiCarpet entwickelte ein solches System, vgl. (34)

1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Bei meiner Arbeit im Projekt MiCasa⁶ habe ich mich vertiefend mit virtuellen Umgebungen, deren Konstruktion und der immersiven Wirkung verschiedener Techniken beschäftigt. Das Endergebnis, unsere CAVE und ihre Interaktionsmöglichkeiten, bot eine umfangreiche Plattform für die Forschung an neuen Formen der Mensch-Maschinen-Interaktion. Besonders interessiert war ich an der immersiven Wirkung der CAVE, und nach dem Bau und ersten Tests mit der Tanzmatte zeigte sich bei der Bewegung innerhalb der virtuellen Welt, dass ein großer Unterschied zu Bewegungen ausserhalb der CAVE besteht. Es fehlte das Gefühl von Bewegung, man sieht zwar die Welt an sich vorbeiziehen, jedoch spürt man keine Beschleunigung und keinen Luftzug, der in der Realität bei jeder Bewegung durch unsere Atmosphäre entsteht.

Ohne die natürlich vermittelten Beschleunigungsempfindungen und dem sensorischen Feedback⁷ steht man in der Mitte der CAVE und ‚bewegt‘ sich dennoch durch eine computersimulierte Welt. G-Kräfte lassen sich auf einer starren Konstruktion nicht oder nur über Umwege durch kostenintensive und einschränkende Konstruktionen, wie drehbare oder variable Laufbänder realisieren (vgl. omnidirectional treadmill (10)). Denkbar ist auch eine große Version eines Trackballs, auf oder in der man sich fortbewegt (vgl. Abbildung 1.2, Cybersphere, vgl. (12)). Diese Varianten haben den Vorteil, sich innerhalb der CAVE körperlich zu betätigen. Eine Tanzmatte stellt ein eingeschränktes, aber ebenfalls Beinbewegung erforderndes Eingabemedium dar. Ein weiterer Vorteil, die Bewegung innerhalb der dreidimensional simulierten Welt über unseren natürlichen Fortbewegungsapparat zu lenken, ist die gesteigerte Immersion, sowie die Möglichkeit andere Aufgaben mit der Hand zu bewältigen.

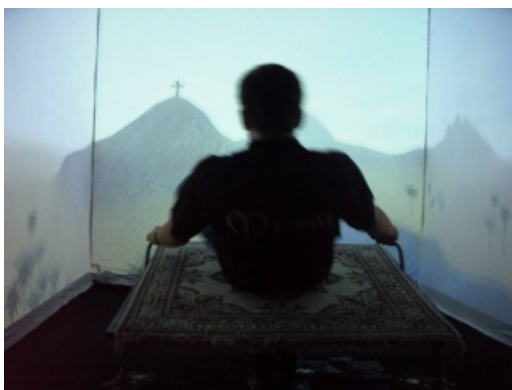


Abbildung 1.1: **Fliegender Teppich**
MiCarpets Projekttagspräsentation

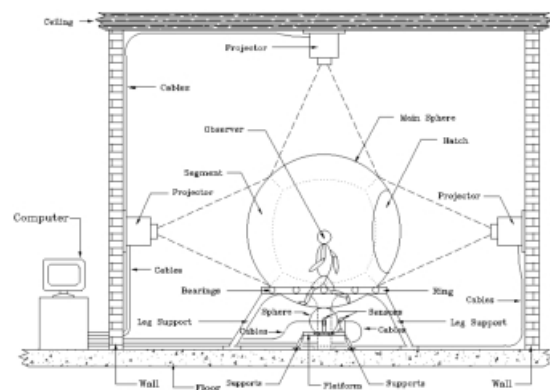


Abbildung 1.2: **Cybersphere**
Schema aus (12, S. 143)

⁶Micasa (35) war von 2002 bis 2004 ein studentisches Projekt an der Universität Bremen

⁷in der Informatik gebräuchlicher Begriff für Rückmeldung oder Antwort eines Systems

Diese Arbeit versucht nun über die Implementierung einer ‚Windmaschine‘ den Luftzug, der bei natürlichen Bewegungen entsteht, nachzuempfinden sowie Wind aus der Virtualität in die reale Welt wehen zu lassen. Inwieweit dieses die Orientierung beeinflussen kann, wird über den experimentellen Aufbau zu klären versucht.

1.2 Mögliche Einsatzszenarien

Die Aero-Cave Umgebung kann überall dort zum Einsatz kommen, wo die Grenzen zur virtuellen Welt weniger hart erscheinen sollen. CAVE-Systeme eignen sich schon von Natur aus, um die virtuelle der realen Welt näher zu bringen. Die zusätzliche immersive Wirkung des Windes, der aus der Virtualität kommt, wird in folgenden Beispielen deutlich gemacht.

1.2.1 Entertainment

Folgende Situation:

Ein Automobilhersteller hat sich entschlossen, sein neuestes Modell (ein Cabriolet) möglichst werbewirksam einem Publikum vorzustellen, und realisiert extra für diesen Zweck eine virtuelle Fahrt in einem Modell auf einer Messe. Für den Aussteller ist es wichtig, dass die Gefühle des Publikums angesprochen werden, und wünscht daher eine möglichst perfekte Simulation.



Abbildung 1.3: **GT Legends**
Offenes Cabriolet, vgl. (43)



Abbildung 1.4: **MotoGP URT 3**
Motoradrennspiel

Dazu gehört auch Wind, der einem um die Nase weht, wenn man in einem Gefährt, wie einem Cabriolet, eine Spritztour unternimmt. Die Aero-Cave Umgebung wäre ideal dafür geeignet. Sie kann Wind aus allen Richtungen erzeugen,

und je nach Größe und Stärke der Ventilatoren kann man den Wind nach Belieben skalieren. So wäre eine Cabrioletsimulation (Abbildung 1.3) glaubwürdiger, oder ein Motoradsimulator (Abbildung 1.4) noch realistischer.

Auch so etwas wie eine virtuelle Ballonfahrt (vgl. iHABS (25)) würde von der Aero-Cave Umgebung profitieren — spürt man dann doch den Wind, der das Gefährt durch die virtuellen Landschaften treibt. 3D-Shooter könnten ebenfalls neue Spielkonzepte einbinden. Wird eine Tür leise geöffnet, könnte ein kleiner Windstoß aus der Richtung der Tür ein nützlicher Hinweis sein. Darüber hinaus kann Wind auch als Wegweiser fungieren, und der Orientierung innerhalb eines Levels dienlich sein. Sucht man verzweifelt den Ausgang aus einem Höhlensystem, könnte man jetzt dem rettenden Windzug folgen, und wäre in Windeseile wieder im Freien.

1.2.2 Vorführungen

Folgende Situation:

Ein Architekturbüro bekommt den Auftrag ein Hotel zu entwerfen und nun, nachdem der Grundriss sowie das Modell des Gebäudes (Abbildung 1.5) entwickelt ist, will man das Lüftungssystem für die Zimmer und die Flure entwerfen. Dazu wird ein virtuelles Modell des Gebäudes erstellt und mit geeigneter Software⁸ (Abbildung 1.6) die Luftverteilung und Strömungen, sowie die Temperatur simuliert. Das Ergebnis wird dann in einer CAVE begutachtet. Die genauen Strömungswerte sollen nun spürbar für die Ingenieure gemacht werden, damit man schon im Planungsstadium zugige Bereiche in Zimmern und Fluren aufspüren und auf ihre Schwere hin überprüfen kann. Gegebenenfalls werden dann auch Änderungen vorgenommen, um diese bereits im Planungsstadium — den Wünschen des Kunden folgend — anzupassen.

Für das Brandbekämpfungstraining von Feuerwehrleuten wäre ein simulierter Hochhausbrand anhand eines solchen Modells denkbar, dort spielen Windströme ebenfalls eine Rolle. So kann es durch den Brand zu gefährlichen Backdrafts⁹ kommen, bei denen Feuer die Luft aufheizt, welche den physikalischen Gesetzen folgend¹⁰ nach oben entweicht und einen Unterdruck entwickelt. Dieser lässt Luft

⁸Ein Beispiel für eine solche Software: Im Rahmen eines einjährigen Workshops wurde im Lawrence Berkeley National Laboratory das Programm COMIS (32) entwickelt, welches die Strömungseigenschaften innerhalb eines Gebäudes anhand eines Computermodells simulieren kann.

⁹Bezeichnung für Rauchgasexplosionen: nur durch Unterdruck erkennbar, die Tür ist nicht heiß von aussen, vgl. (46)

¹⁰Heiße Luft dehnt sich aus, gewinnt an Volumen und unterliegt dann dem statischen Auftrieb, vgl. (47)



Abbildung 1.5: **Hotel Kazakhstan**
Mit Ausschnitt aus einem Modell



Abbildung 1.6: **Comis**
Software zur Strömungsberechnung

von überall hin zu sich strömen. So könnte man Feuerquellen schon an leichten Luftströmen innerhalb des Gebäudes lokalisieren. Soll die Simulation so genau wie möglich sein, ist dort der Einsatz des in dieser Arbeit vorgestellten Windsystems denkbar.

Diese Beispiele verdeutlichen die Bandbreite an möglichen Einsatzszenarien, der Phantasie sind hier keine Grenzen gesetzt. In dieser Arbeit wird näher betrachtet, inwieweit ein Teil dieser Phantasien umgesetzt werden kann und welche weiteren Ideen für den Einsatz des Aero-Cave Systems geeignet sind.

1.3 Gliederung der Arbeit und generelles Vorgehen

Zunächst werden in Kapitel 2 Grundbegriffe geklärt, die für das Verständnis der Arbeit nötig sind. Was 3D-Welten bedeuten, was Immersion ist, und wie Desktop- und CAVE-Umgebungen zu verstehen sind, um einige Beispiele zu nennen. Nach der Klärung dieser Begriffe wird im 3. Kapitel auf das Vorgehen bei der Implementierung eingegangen. Zunächst wird die Wahl der Umgebung für den zu implementierenden virtuellen Wind in Kapitel 3.1 erläutert, in Kapitel 3.2.2 der Bau der Interfaces sowie in Kapitel 3.2.3 das Steuerungsprogramm AERON behandelt. Die Anbindung an die Spiele-Engine¹¹ UNREAL TOURNAMENT 2003 wird in Kapitel 3.2.3.1 beschrieben. Nach diesen Kapiteln geht es in Kapitel 3.3 um den Versuchsaufbau und schließlich um die Durchführung der Studie im 4. Kapitel. Die Praxistests mit der Windumgebung werden in Form von aufbereiteten Interviews beschrieben. In der Auswertung im 5. Kapitel werden in den Inter-

¹¹gebräuchlicher englischer Begriff, bedeutet wörtlich „Maschine“, meint ein Programm oder Programmteil (3D-, Sound-, Physik-, ...), hier das gesamte Spiel.

views und während der Arbeit entstandene Ideen vorgestellt und die Auswirkung auf die Orientierung analysiert, bevor ich ein Fazit in Kapitel 6 ziehe.

Für die Umsetzung wurde **Windows XP** (36) genutzt, prinzipiell sind **Unix**-Systeme ebenfalls in der Lage die virtuelle Umgebung zu starten, und das Programm **AERON** zu kompilieren. Erfahrungen hinsichtlich verschiedener Betriebssysteme sind jedoch nebensächlich für das Thema dieser Diplomarbeit und werden nicht weiter behandelt.

Für die Umsetzung des Interfaceprogrammes wurde **C++** als Programmiersprache gewählt. Die Wahl der Programmierumgebung ist nach einiger Suche auf eine Erweiterung der **Dev-C++** - Software (27), **wx-Devcpp** (23), gefallen. Sie stellt eine grafische Oberfläche zur Verfügung, die mit Hilfe von **WxWidgets** (54) das Erstellen von Dialogen stark vereinfacht. Die Anwendungen sind Open Source und frei erhältlich.

Viel Zeit wurde beim Vorbereiten des Versuchsaufbaus verwendet, sowie die CAVE leider etwas spät komplettiert. Bei der Durchführung der Interviews wurden viele interessante Ideen und Vorschläge für vertiefende Studien geäußert, die mittels der getesteten Aero-Cave Umgebung durchführbar wären. Es wäre interessant, die im 5. Kapitel erwähnten Ansätze weiter zu verfolgen, nur würde das den Rahmen der Diplomarbeit sprengen.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden Begriffe, die zu den Grundlagen dieser Diplomarbeit gehören, definiert, an Beispielen erläutert und dargestellt. Um sie besser zu verstehen und einzuordnen, werden einige Überblicke gegeben und Hintergründe beleuchtet. Das Aero-Cave System besteht aus mehreren Teilen, die gesondert und im Zusammenspiel betrachtet werden.

2.1 Virtuelle 3D-Welten

Dreidimensionale virtuelle¹ Räume haben sich seit der Zeit, in der sie nur in der Vorstellung des Spielers existierten, zu der Zeit, als man sich durch fremdartige und unbekannte Welten mittels Tastatur durch Kommandos, wie „gehe nach Osten“, „steige den Berg herauf“ oder „öffne die Luke“ schlug, stark weiterentwickelt (vgl. Chronik bei Lischka (30, S. 149 ff.)). Die ersten Spiele mit Pixelgrafiken tauchten auf, die nicht durch Grafikdetails protzten, aber dennoch den Spieler in ihren Bann zogen. Es folgten 2D-Spiele, wie DOOM, die versuchten dreidimensional zu sein, es aber nicht waren, und denen dann die 3D-Spiele letzten Endes die Show stahlen. Heutzutage werden virtuelle Umgebungen grafisch so aufwendig und detailliert entworfen, dass man den Eindruck hat, man stünde dem Monster auf einem fremden Planeten von Angesicht zu Angesicht gegenüber, während Soundkünstler zunehmend durch erschreckend realistische Atemgeräusche und stimmungsvoller Musik die Szene noch unbequemer und spannender gestalten. Die Qualität der Bilder und der Umgebungen nimmt beständig zu, Titel wie HALF-LIFE und DOOM mit ihren Fortsetzungen geben einen Eindruck, wie sehr sich Spiele bis heute entwickelt haben. Abbildung 2.1 zeigt einen Vergleich zwischen HALF-LIFE und HALF-LIFE 2 Charakteren. Deutlich ist der Detailzuwachs zu erkennen, der linke Wissenschaftler ist zwar gut getroffen, aber einem Menschen sieht er noch nicht wirklich ähnlich. Der rechte hingegen nimmt dank erhöhter Polygonzahl² und detailreichen Texturen schon recht menschliche Züge an. Sieht man genauer hin, kann eine Spiegelung in der Brille des Wissenschaftlers erkannt werden, zwar noch keine dem virtuellen Raum

¹virtuell hat seinen Ursprung im mathematischen Begriff des virtuellen Bildes. Beispiel: brennenden Kerze im Wasserglas.

²Obgleich diese auch noch gesteigert werden kann, man beachte den teilweise eckigen Kittel

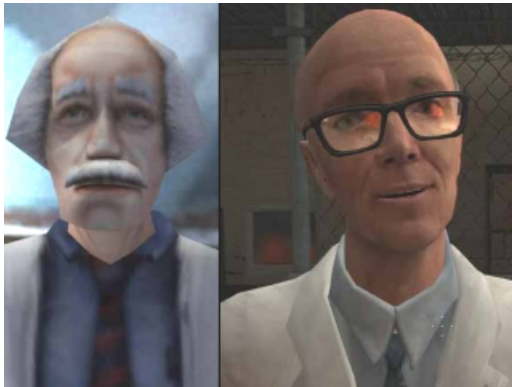


Abbildung 2.1: **Half-Life-Charaktere**
Vergleich zwischen HL und HL2



Abbildung 2.2: **Doom3-Antagonist**
Annähernd realistisches Modell

entsprechende, aber eine täuschend echte. Der Unterschied zwischen DOOM³ und DOOM3 ist enorm, da DOOM keine wirklichen 3D-Charaktere besaß, es handelte sich um Sprites⁴. Abbildung 2.2, ein Screenshot⁵ von DOOM3, zeigt einen sehr gut gelungenen Charakter, der dank Schattenwurf, sowie dem hohen Detailgrad seines Gesichts eine äußerst realistische Erscheinung abgibt.

Realismus ist dank der Begeisterung für eindrucksvolle Grafik ein Ziel der Spielehersteller geworden. Was uns in den nächsten Jahren noch im Sektor 3D-Welten erwartet, wird sich zeigen. Zur Zeit wird die PS3⁶ mit ihrer enormen Rechenleistung sehnlichst von der Spielergemeinschaft erwartet.

2.1.1 Virtual Reality

Virtual Reality⁷, im Folgenden mit VR abgekürzt, beschreibt eine vom Computer erzeugte nicht stofflich existierende Scheinwelt, die mit ihren eigenen Gesetzen der Schwerkraft, Zeit, Raum und allgemein Logik unserer eigenen nacheifert oder aber eine Welt mit uns als völlig fremd erfahrenen Gesetzmäßigkeiten entwirft. Wie ausgeprägt die VR wird, hängt zum einen von der verwendeten Hardware und der eingesetzten Software, zum anderen vom Grad der Immersion ab, dazu aber später mehr.

³DOOM und DOOM2 waren technisch sehr ähnlich, DOOM3 wurde erst jüngst fertiggestellt

⁴Sprites sind vorberechnete 2D-Bildsequenzen, die mittels Skalierung und geschickter Wahl der jeweiligen Sequenz eine 3D-Figur im Spiel vortäuschen.

⁵Bildschirmkopie, aus dem laufenden Spiel heraus aufgenommen

⁶Play Station 3 von Sony

⁷Virtual Reality wurde als Begriff Ende 1980 durch Larnier (26) geprägt und vereinte die zu dieser Zeit üblichen Begriffe „virtual worlds“, „-cockpits“ und „-workstations“

„The VR hit the headlines in the mid-1980s, and spawned a series of conferences, exhibitions, television programmes, and philosophical debates about the meaning of reality. And overnight, everything suddenly had a virtual dimension - from shopping to sex!“

(Vince, 2004) (57, S. 1)

Vince beschreibt hier die Wirkung, die VR auf viele Bereiche des Lebens hatte. Seine Beobachtungen werden durch eine Studie von Biocca, Kim und Levy über den Begriff VR (vgl. (2)) bekräftigt. VR gewann immer mehr Aufmerksamkeit, und erschien mit der Zeit⁸ deutlich öfter in den Printmedien. Auswirkungen dieser Zeit sehen wir heutzutage unter anderem an der häufigen Verwendung des Begriffs ‚virtuell‘.

Zu Anfang wurde VR mit großartigen neuen Erfindungen und den schnellsten Computern in Verbindung gebracht, und war auf das HMD⁹ sowie Datenhandschuh begrenzt wahrgenommen worden. Die dargebotene Grafik war anfänglich nur wenig komplex, die Echtzeitberechnung von 3D-Räumen sehr aufwendig, und nur mit den damals schnellsten Rechnern möglich. Und auch mit diesen war die Bildwiederholungsrate nicht immer flüssig¹⁰. Diese Einschränkungen, und das Tragen eines von der Aussenwelt abschirmenden HMD führte bei vielen zur „motion sickness“ (vgl. Patzlaff (50, S. 110), Vince (57, S. 65 ff.)), eine ebenfalls in heutigen Simulatoren auftretende Nebenerscheinung der Immersion. Das Zusammenspiel von Navigation durch die VR und die fehlenden Sinneseindrücke, die bei der Bewegung normalerweise auf den Körper wirken, oder aber deren falsche Nachahmung und das Ruckeln der dargebotenen Grafik können zu Schwindelgefühl und Übelkeit führen. Deswegen sollte bei der Umsetzung einer VE (Virtual Environment, vgl. ebd., S. 19 ff.) auf eine möglichst ‚benutzerfreundliche‘ Simulation geachtet werden.

VR ist nicht mehr auf das Tragen von HMDs oder VE eingeschränkt. Der Begriff trifft heutzutage allgemeiner auf fast alle interaktiven virtuellen Räume zu. Hier ist zu beachten, dass die Begrifflichkeit ‚virtuelle Räume‘ weitfassend ist und inzwischen eine große Definitionsspanne einnimmt. Räume sind nicht immer nur von spatialer Dimension. Deswegen wird hier VR auf Welten, die mindestens eine 3D-Darstellung, einen *erlebbaren* 3D-Raum, und eine 3D-Welt¹¹ bieten, begrenzt.

⁸Im Zeitraum von Januar 1988 - Dezember 1993 wurden von Biocca, Kim und Levy 96 täglich erscheinende Zeitungen auf die Verwendung der Wörter „virtual reality“ sowie „simulation“ hin untersucht (vgl. hierzu Grafiken (2, S. 6)).

⁹Head Mounted Display, vgl. (57, S. 83 f.)

¹⁰Bewegtbilder werden unterhalb von 20 Bildern pro Sekunde nicht mehr als flüssig wahrgenommen, es kommt zum Ruckeln, was das Empfinden von Echtzeitbewegungen mindert.

¹¹Als kleines philosophisches Denkbeispiel dazu ziehe man einen gänzlich leerer Raum ohne Licht, Töne oder sonstigen erlebbaren Erfahrungen in Betracht, und fragt sich, ob dieses als VR angesehen werden kann.

Erlebbar bedeutet, dass es sich um Echtzeitanwendungen handelt, die über Immersion Präsenz innerhalb der VR wecken. In Kapitel 2.1.2 wird dieses vertiefend behandelt.

2.1.1.1 Einsatz in der Industrie und Forschung

Nach der anfänglichen Begeisterung für VR haben sich die Anwendungen durch die aufwändigen und teuren Gerätschaften zur Erkundung und Darstellung der VR in der Industrie auf bestimmte Bereiche konzentriert (vgl. (13, S. 53)).

Zum einen war das der Fall im computerunterstützten Design, CAD, wobei man sich enorme Vorteile durch die Visualisierung von Prototypen versprach. Reale Prototypen waren teuer, die Herstellungskosten mitunter enorm, denkt man beispielsweise an die Raumfahrtindustrie. Heutzutage können virtuelle Prototypen entworfen, in vielerlei Hinsicht mit physikalischen Simulationsprogrammen getestet und wenn nötig sogar direkt mit Hilfe von VR Eingabegeräten, wie einer 3D-Maus oder Datenhandschuhen manipuliert werden.

Zum anderen findet VR für das Begehen von virtuellen Gebäuden oder die Vermarktung eines geplanten, aber vorerst nur in der VR existierenden Produktes Verwendung, um Investoren für ein Projekt zu gewinnen. Für die Entwicklung hochkomplexer Industrieanlagen ist ebenfalls die computergestützte Planung und Simulation in der VR vor der Umsetzung unverzichtbar geworden. Es gibt viele

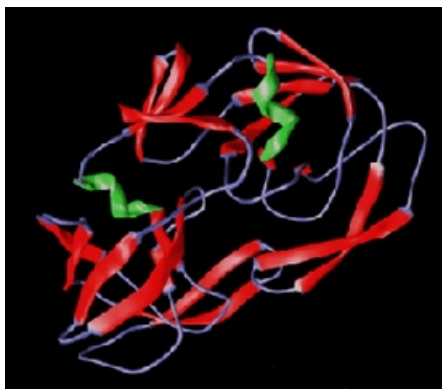


Abbildung 2.3: **3D-Visualisierung**
Linkliste zum Thema: (49)

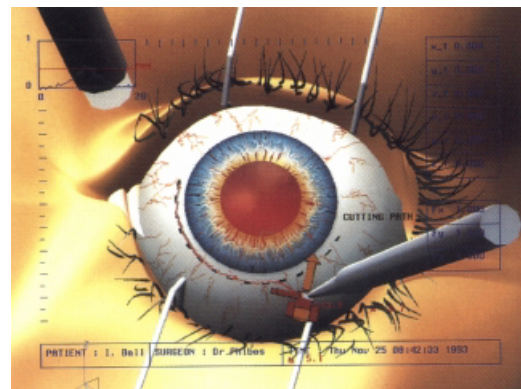


Abbildung 2.4: **virtuelle Augen-OP**
Training in der VR (7, Color Plate 11)

Wege, um wissenschaftliche Erkenntnisse zu veranschaulichen. Mittels VR jedoch ist es möglich, die Forschung lebendiger zu gestalten, indem man Modelle schafft und diese geeignet visualisiert. Von der 3D-Visualisierung von chemischen Molekülen (Abbildung 2.3) bis zur räumlichen Darstellung unseres Weltalls¹², dem

¹²Das freie Programm Celestia (28) bietet einen beeindruckenden interaktiven Blick auf unser Weltall

Medium VR sind fast keine Grenzen gesetzt. Gerade für Lernumgebungen sowie zu Präsentationszwecken kann VR ein adäquates Mittel zur Visualisierung und Übung sein. In der VR können Details von 3D-Modellen zur Veranschaulichung mit Namen versehen, animiert und ‚verlinkt‘¹³ werden, um zusätzliche Informationen abrufbar zu machen. Dieses ist vor allem sinnvoll in Lernumgebungen.

2.1.1.2 Einsatz in Trainingsumgebungen und VEs

Lernumgebungen können einfache, am Monitor und einem normalen PC erfahrbare Trainingsprogramme sein, die VR für die Visualisierung komplizierter Vorgänge nutzen. In der VR können so genannte ‚Expertensysteme‘ dem Teilnehmer helfend zur Seite stehen, und bei Fehlern oder Problemen Hinweise geben¹⁴.

In der Medizin dienen virtuelle Patienten der Anschauung und Übung zu erlernender Techniken. Beispielsweise werden dreidimensionale Modelle von zuvor mittels CT¹⁵ gescannten Körperteilen zur Analyse mittels VR visualisiert und dann begutachtet. In Abbildung 2.4 wird eine Augen-OP trainiert, ein Beispiel für einen Eingriff, der viel Übung benötigt. Dort werden spezielle Eingabegeräte, die die Bewegung der Hand und die Position des Skalpells feststellen, für die möglichst natürliche Interaktion mit dem nur in der VR vorhandenen virtuellen Operationsgebiet eingesetzt. Verfügen diese Eingabegeräte über Force Feedback¹⁶, spricht man von ‚Mixed Reality‘, die im Kapitel 2.4.3 noch eingehender betrachtet wird.

VEs dienen in der Luft- und Raumfahrt als auf alle möglichen Situationen programmierbare Trainingsumgebungen, um eine Crew optimal auf jegliche Zwischenfälle vorzubereiten. Je nach Einsatzgebiet werden unterschiedliche sensorische Eindrücke vermittelt, Flugsimulatoren (Abbildung 2.5) sind neben der Simulation der Bewegung im Raum auch zur Simulation von Brand (Rauch, Nebel) innerhalb des Cockpits fähig, um Stresssituationen zu erzeugen. Denkbar wäre die Simulation eines Winde hervorrufenden Drucklecks, simulierbar mit dem hier vorgestellten System. Um das Leck zu reparieren, müsste es anhand von Luftströmungen oder in die Richtung treibenden Gegenständen gefunden werden. Für die Lokalisierung des Lecks könnten die gespürten Winde zur räumlichen Orientierung genutzt werden.

¹³Verweis auf zusätzlichen Inhalt, kann mit einem Wort, Icon, Ort, Zeitpunkt oder Gegenstand in der VR verknüpft werden

¹⁴Die aber auch damit einhergehenden Gefahren beim Einsatz von VEs werden vielleicht an folgendem Beispiel klarer: „Rempeters erzählt eindringlich von einem Ingenieur, der nach stundenlangem Training im Fahrsimulator auf dem Heimweg versuchte, durch einen entgegenkommenden LKW zu fahren. Ein Verhalten, auf das er durch den Simulator konditioniert war.“ (58, S. 130)

¹⁵Computertomographie, Umsetzung von Röntgenbildern in ein Schichtmodell, auch mit Magnetresonanztomographen möglich (MRT)

¹⁶Englisch für „Kraftrückmeldung“, siehe Kapitel 2.4.2

VR ist als fester Bestandteil von Übungsumgebungen zu sehen, die solch komplexe und heikle Berufe wie die des Astronauten, eines Piloten oder eines Chirurgen darstellen. In der Industrie wird es in Zukunft einen hohen Bedarf an solchen Einrichtungen geben, um die Sicherheit bei realen Einsätzen zu verbessern sowie die Ausbildung kostengünstiger zu gestalten, oder Umgebungen, wie den Mars, hier auf der Erde zwecks Fehlerminimierung erkundbar zu machen.



Abbildung 2.5: **Flugsimulator**
Zfb in Berlin (41)



Abbildung 2.6: **3D-Shutterbrille**
Revelator 3D von ELSA

2.1.1.3 Einzug in den Heimanwenderbereich

Neben den erwähnten VEs hat VR auch auf gängigen Desktop-Systemen und Spielekonsolen Einzug gehalten. Die Zunahme der Details in den Spielen macht es dem Spieler oder der Spielerin immer leichter sich von den Spielen mitreißen zu lassen. Mit der stetig steigenden Rechnerleistung — es wird von einer Verdoppelung der Rechenleistung alle 18 Monate¹⁷ gesprochen — gelingt heutzutage die Darstellung realistischer VR-Welten auf dem Monitor des Heimanwenders. Durch kostengünstige 3D-Brillen, wie die in Abbildung 2.6 gezeigte ELSA Revelator 3D, gelingt sogar die dreidimensionale Darstellung zu Hause¹⁸. Die Zukunft der VR im Heimbereich gehört den Schnittstellen zum Computer, die in der Lage sind VR erlebbar zu machen, wie es der Fall beim Aero-CAVE System ist. Und sie gehört einem Begriff, der sich in den vergangenen Jahren gewandelt hat, der *Immersion*.

¹⁷vgl. (38), Mooresches ‚Gesetz‘, begründet auf Moores Beobachtung, dass sich die Anzahl der Transistoren integrierter Schaltkreise alle 12 (später auf 24 revidiert, und nun etwa alle 18) Monate verdoppelt

¹⁸Durchgesetzt hat sich diese Technik allerdings noch längst nicht. Shutterbrillen benötigen eine Bildwiederholfrequenz im Bereich von 100 - 140 Hz, um den räumlichen Eindruck flimmerfrei zu erzeugen. Zur Zeit ist jedoch eine Abkehr von den CRT-Monitoren zu beobachten, hin zu den Flachbildschirmen, die nur eine Frequenz um die 60 Hz aufweisen. Damit sind Shutterbrillen wahrscheinlich passé.

2.1.2 Immersion

„VR appears to be different from conventional mass media in at least two ways. First, the audience members' sensory experience can be much more like the sensory experience of the real physical world. Second, and related to that, is an effect we will call immersion.“
(Shapiro and McDonald, 1995) (3, S. 337)

Shapiro und McDonald betrachten den Unterschied zwischen nicht interaktiven Medien und VR und nennen Immersion als ein wichtiges Kriterium für VR. In ihrem Kapitel¹⁹, „I'm not a Real Doctor, but I Play One in Virtual Reality“ (vgl. (53)) beschreiben sie die Implikationen, die VR auf die Beurteilung von Realität hat und haben kann. Sie setzen sich unter anderem damit auseinander, wie neue Medien auf den Zuschauer wirken, insbesondere die allmähliche Vermischung der Rollen ‚Zuschauer‘ und ‚Teilnehmer‘ wird genauer untersucht.

Ein immersives System wird bei Biocca und Delaney (vgl. (1)) kurz als ein mit Hilfe des Computers die Sinne einhüllendes System beschrieben, und betonen insbesondere die Beziehung zwischen Eintauchen und Immersion:

„Immersive is a term that refers to the degree to which a virtual environment submerges the perceptual system of the user in computer-generated stimuli. The more the system captivates the senses and blocks out stimuli from the physical world, the more the system is considered immersive.“

(Biocca und Delaney, 1995) (1, S. 57)

3D-Welten sind, je nachdem wie realistisch sie durch Texturen, Modelle, Sound-, Musik-, sowie Spezialeffekte wirken, ideal für die Entgrenzung des Ichs geeignet, für die Identifizierung mit der gesteuerten virtuellen Person. Wer schon mal ein Rennspiel gespielt und sich dabei ertappt hat, die Steuerung des Vehikels nicht nur anhand hektischer Betätigung des Eingabemediums, sondern direkt durch die Körperhaltung beeinflussen zu wollen, kennt das Phänomen der Präsenz und der Immersion. Man wird Teil des Geschehens und vergisst alles um sich herum, selbst einfache Wahrheiten werden dabei verdrängt. Der Bildschirm, auf dem uns die dreidimensionale Welt vorgetäuscht wird, ist eine Grenze, derer man sich ab und an wieder Gewahr werden muss. Dass man durch die Veränderung des Blickwinkels vor dem Bildschirm nicht die Perspektive im Spiel beeinflussen kann, merkt man spätestens wenn man den Kopf zur Seite neigt, mit dem Ziel, um einen die freie Sicht blockierenden Gegenstand herumzuschauen. Was in der uns gewohnten, dreidimensionalen Welt durchaus zum Erfolg führen kann, lässt

¹⁹ *Communication in the Age of Virtual Reality* (3) ist eine sehr aufschlussreiche Sammlung von Abhandlungen rund um das Thema Virtual Reality

uns vor dem PC einstweilen nicht wirklich intelligent ausschauen, zeugt jedoch von unserer Fähigkeit die uns dargebotene virtuelle 3D-Welt als Pendant unserer Wirklichkeit zu sehen.

Genau diese Vermischung mit der virtuellen Welt macht den Reiz des Themas für den Autor aus. 3D-Welten sind erst dann etwas besonderes, wenn man sich als Teil dieser fühlen kann.

2.1.2.1 Zusammenhänge zwischen Immersion, Präsenz und Telepräsenz

Immersion, also der Grad der Abgrenzung von der realen Welt, wird durch die technischen Möglichkeiten zur Wahrnehmungserzeugung eines Systems bestimmt. Ist das System in der Lage, Sinne von der Aussenwelt abzuschirmen, spricht man von einem *immersiven System*. Immersion, was schon die Wortbedeutung impliziert, ist das Eintauchen in eine VR. Präsenz hingegen ist die Erfahrung, dass die gesteuerte Figur als Repräsentation einer selbst in der VR wahrgenommen wird. „Das dort bin ich“ wäre ein passender Kommentar, um Präsenz zu umschreiben. Für Immersion hingegen würde ein Kommentar wie „Ich kann fliegen!!“ passen.

„Immersion increased the sensation of presence within the virtual world“

(Vince, 2004) (57, S. 5)

Vince beschreibt wie Immersion das Gefühl der Präsenz in der virtuellen Welt positiv beeinflussen kann. Darüber hinaus beschreibt er immersive Systeme und fasst neben HMDs die CAVE als ein solches auf.

Steuer (56, S. 33 ff.) spricht von Telepräsenz, welches nach seiner Auffassung in dieser Arbeit als wichtiger Teil der Immersion angesehen werden muss. Die Trennung der beiden Begriffe fällt nicht leicht, da Telepräsenz zum einen bei Steuer das Gefühl des „vor Ort seins“ beschreibt, zum anderen heute aber eher für den Bereich der Telekonferenzen gebräuchlich ist.

Das von Steuer zur Hilfe genommene Kommunikationsmodell in Abbildung 2.7 beschreibt VR als Medium zur Kommunikation und wurde teils synonym für die heute gebräuchlichen Begriffe der Präsenz und Immersion verwendet. Meiner Meinung nach hat sich ein Wandel der Wortbedeutung ergeben, Telepräsenz beschreibt heute die Präsenz einer Person, vermittelt über Datenaustausch, an einem anderen — aber realen — Ort, während das Gefühl innerhalb einer virtuellen Umgebung zu sein dem Begriff der Präsenz mittels der Immersion zugeschrieben wird.

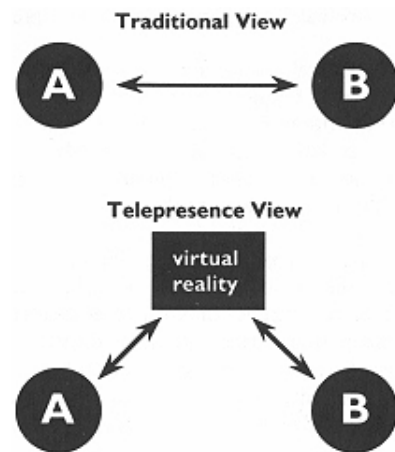


Abbildung 2.7: **Telepräsenz**
*zwei Kommunikationsmodelle nach
 Steuer (56)*

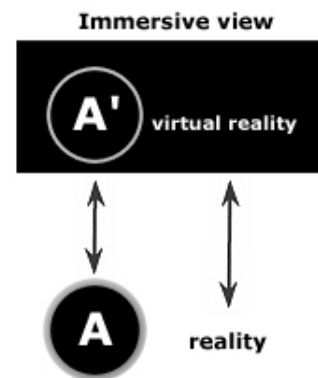


Abbildung 2.8: **Immersion**
Auswirkung der Immersion

In Abbildung 2.8 existiert ein Abbild der Person A in der VR, A'. Entweder ist A' ein von A gesteuerter Avatar²⁰ — dann sieht A eine Spielfigur, die von ihr als eine Repräsentation ihrer selbst angesehen wird — oder die Welt wird aus der Sicht von A', der so genannten ‚Ego-Perspektive‘²¹, dargestellt. Kommunikation findet zwischen der Person und dem virtuellen ‚Geist‘, der Spielfigur innerhalb der VR und den Realitäten statt. Zum einen wirkt die VR auf die Darstellung der Umwelt sowie im Falle von Force Feedback auf Controller, Bewegungsplattformen oder dem in dieser Diplomarbeit vorgestellten Windsystem. Zum anderen kann die reale Welt über Sensoren Daten an die virtuelle Welt weitergeben.

2.1.2.2 Kommunikationsmodell und Immersion

Eine Kommunikation zwischen A und A' ist eher intrapersonell zu sehen, da es sich um A' nur um die virtuelle Figur handelt, die A steuert. A entwickelt eine Vorstellung, eine geistige Repräsentation von A'. Das Modell in Abbildung 2.8 zeigt die Versetzung in die virtuelle Welt, wie man es sich unter dem Kommunikationsaspekt vorstellen kann. Die Steuerung und Handlungen von A' in der VR werden mittels Eingaben von A kontrolliert. A' wiederum besitzt Eigenschaften, mit denen A umgehen muss. Eine Spielfigur kann oft sehr viel mehr, als A in der Realität, und manchmal wünscht sich A seine Fähigkeiten auch mit A' ausüben zu können. Ein paar Beispiele, um dieses zu verdeutlichen:

²⁰von Sanskrit Avatara, „Herabkunft“. Beschreibt ein virtuellen Stellvertreter der eigenen Person, sichtbare Figur des Spielers

²¹Diese Perspektive wurde für die CAVE in Kapitel 2.2.2 genommen, um das Gefühl der Präsenz und Immersion zu verstärken, vgl. point of view bei Clarke-Willson (8, S. 230 ff.)

- Wer Ego-Shooter spielt kennt das Wieder-auferstehen nach einem in der VR für A' tödlichen Schuss. Passiert das in der Realität, ist A tot und bleibt es.
- In vielen Spielen wünscht A, dass A' beispielsweise schwimmen könnte. Oft dienen Gewässer spielestechnisch als natürliche Barriere (Abbildung 2.9).
- Super Mario (Abbildung 2.10, (39)) kann fliegen, wenn er die Arme ausstreckt und ein Waschbärkostüm trägt. Mir sind zum Glück noch keine Bilder aus der realen Welt bekannt.

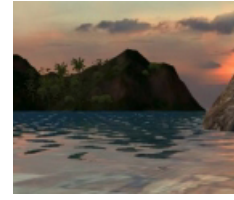


Abbildung 2.9: **Far Cry**
Wasserbegrenzung



Abbildung 2.10: **Super Mario**
Fliegender Spielheld

In einer für die Immersion ausgelegten virtuellen Umgebung sollten wenn möglich keine Situationen entstehen, in der A' etwas nicht kann, was A in der realen Welt ausüben könnte. Wenn man eine Begrenzung einbaut, sollte es eine wahrhaftig unüberwindliche sein, und nicht ein kleiner, aber in der VR unüberwindlicher Zaun oder eine dünne Holztür, die einfach nicht aufgehen will. Je genauer die Umsetzung einer künstlichen Umgebung und je ausgeklügelter und natürlicher die Kontrolle sowie das Feedback ausfallen, desto größer ist die Immersion und das Gefühl der Präsenz.

2.1.2.3 Fazit: Immersion

Immersion dient folglich dem Eintauchen in eine andere Welt und somit dem Gefühl des „vor Ort seins“, indem es die Sinne auf die vom Computer generierten Eindrücke konzentriert. Der Begriff beschreibt darüber hinaus die Einbeziehung in eine andere Welt, die Bildung einer räumlichen und gefühlsmäßigen Wahrnehmung eines artifiziellen Raumes. Je realistischer die dargebotene Grafik, desto höher die immersive Wirkung. Diese kann durch umfangreichere Darstellung der virtuellen Umgebung — zum Beispiel innerhalb einer CAVE über Stereobrille wahrgenommen mit realistischem 3D-Sound²² — enorm gesteigert werden. Force Feedback Systeme jeglicher Art erweitern diesen Effekt ebenfalls.

Steuer ordnete Systeme nach ihrer Lebhaftigkeit und Interaktivität, um so Relationen zwischen den einzelnen Medien deutlich zu machen. Parallelen zu in

²²Ein beeindruckendes System, welches durch sehr viele Boxen einen sehr guten Raumklang erzeugt, ist das IOSONO System (vgl. (17)) des MP3 Erfinders, Karlheinz Brandenburg

Abbildung 2.11 gezogenen Vergleichen zwischen Medien und ihrer Wirkung auf den Betrachter und Immersion bestehen darin, dass die Medien mit einem hohen Grad an Lebhaftigkeit und Interaktivität gleichzeitig sehr immersive Medien darstellen. Zur Verdeutlichung ist Steuers Abbildung (vgl. (56, s. 52)) um die CAVE erweitert worden. Die Aero-CAVE ist hierbei eine Teilmenge der CAVE und ist etwas höher als die Basisversion einer CAVE anzusiedeln, da sie durch die Einbindung eines weiteren Gefühlserlebnisses lebhafter, echter erscheint.

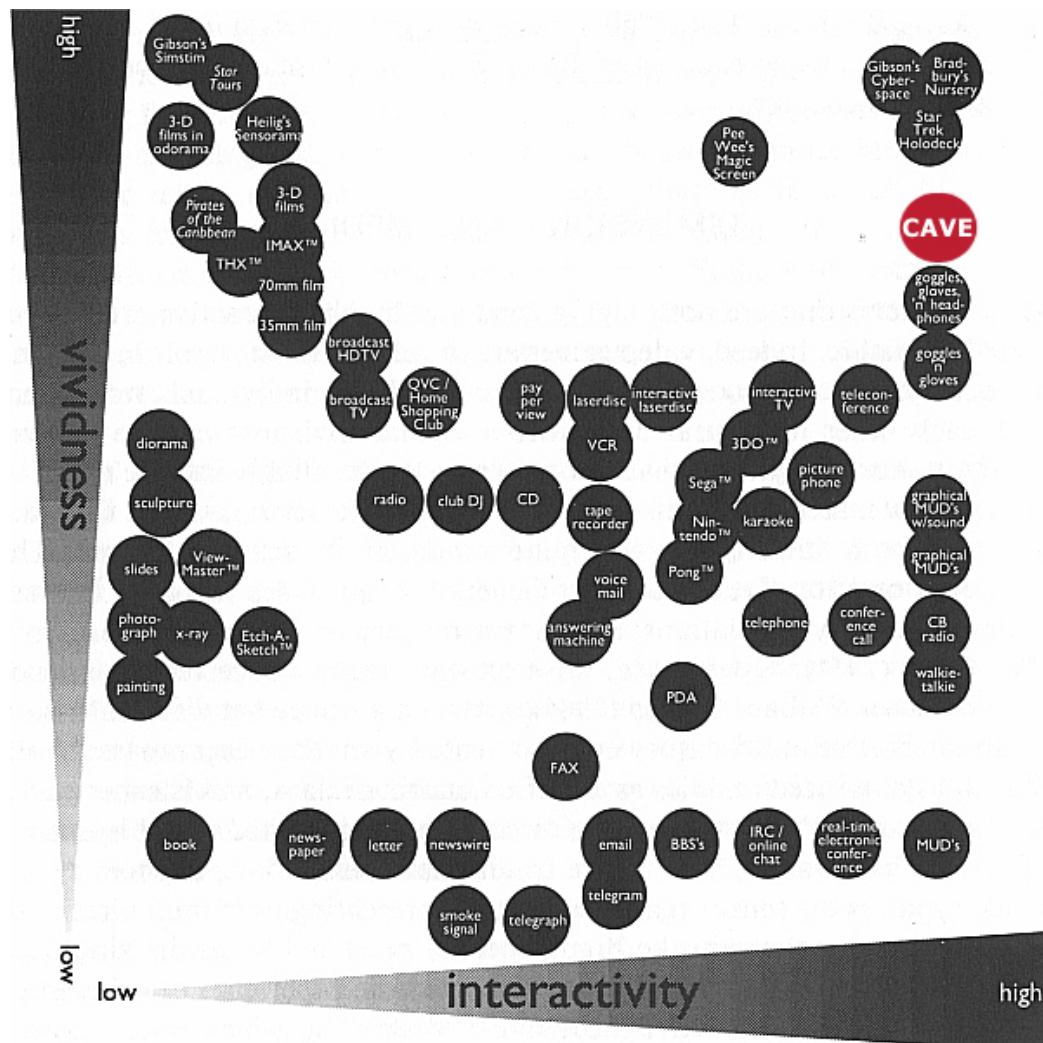


Abbildung 2.11: **Einordnung von Medien**
anhand der Faktoren *Lebhaftigkeit und Interaktion*

Abschließend ist noch zu erwähnen, dass Immersion zu einem großen Teil im Kopf stattfindet, lässt man sich nicht auf die gebotenen Sinneseindrücke ein, ist das Erlebte nicht mehr immersiv. Vollständig immersive Systeme würden eines Holodecks bedürfen — ein fiktiver, im Star Trek-Universum für die lange Reise

im Weltraum konzipierter Erholungs- und Übungsraum (vgl. (55)). Dort werden mit Hilfe von Hologrammen, dreidimensionalen Trugbildern, komplette Welten erzeugt, über Kraftfelder Sinneseindrücke simuliert und durch Materiereplikation Nahrung, Wasser und anderes materialisiert. Wie weit wir davon entfernt sind, wird später thematisiert.

2.2 Umgebungen - Interaktion mit Virtualität

Die mittels Grafik und Spezialeffekten erzeugte Immersion hat ihre Grenzen, so beeindruckend und großartig sie unbestritten in Zukunft noch werden wird, ist und bleibt sie eine durch ein passives Medium vermittelte. So, wie Filme im Fernsehen und Kino den Zuschauer emotional bewegen, ihn durch Identifikation mit den Charakteren auf der Leinwand fesseln können, sind grafische Leckerbissen in Spielen in der Lage das Empfinden der uns vorgegaukelten Realität zu verstärken. Dennoch erleben wir Computerspiele anders, weil sie direkter sind. Sie ermöglichen uns als Protagonisten unserer — in einem gewissen Rahmen — eigenen Geschichte die Welt um uns für kurze Zeit zu vergessen.

2.2.1 Klassische Desktopsituation

Die klassische Desktopsituation besteht aus einem Computer, der an einem Monitor angeschlossen ist. Neben Maus und Tastatur gehören Soundkarte und Stereoboxen zu der Grundausstattung. Sie bietet dem Benutzer ein relativ immersionsarmes Medium, da über die Ausgabemedien Bildschirm und Stereoboxen die Sinne nicht auf Anhieb gefesselt werden können.

Der Grad der Immersion kann allerdings noch gesteigert werden. Joysticks eignen sich vor allem für Flug- und Weltraumsimulationen und tragen je nach Ausarbeitung zu einer realistischen Steuerung bei. Kapitel 2.4.3 geht noch einmal genauer auf dieses Eingabemedium ein, besonders betrachtet wird dort der Aspekt des Force Feedbacks.

Tastatur und Maus stellen eine recht abstrakte Schnittstelle zwischen Mensch und Computer dar, die erst durch viel Übung und mit viel Geschick die Kontrolle über den Protagonisten ermöglichen. Gerade 3D-Shooter werden meist mit der Tastatur (Bewegung nach vorn, hinten, sowie zu den Seiten und springen) und Maus (Kontrolle der Blickrichtung, oben-unten, rechts-links) gesteuert. In brennlichen Situationen lernt man oft ungewollt die Grenzen dieser Schnittstelle kennen. Wenn man sich verdrückt, benötigt man Zeit und eventuell einen kurzen Blick auf das Keyboard, weg vom Geschehen, um die zur Steuerung konfigurierten Tasten wiederzufinden.



Abbildung 2.12: **Optimus - Tastaturstudie**
Konzept einer neuartigen Tastatur, vgl. (29)

Mit über 100 Tasten und der Möglichkeit der Tastenkombinationen ist die Tastatur ein universelles Eingabegerät, entwickelt zur Eingabe von Zeichen zwecks Erledigung von Schreibarbeiten. Für eines der ältesten Eingabemedien für den Computer gibt es aber seit neuestem die Aussicht auf programmierbare Tastaturen, die über kleine OLED²³-Displays (Abbildung 2.14) die Tastenbelegung visualisieren können. Abbildung 2.12 zeigt eine Studie des *Art. Lebedev Studios* mit dem Namen **OPTIMUS**, welche vorraussichtlich 2006 in die Läden kommt. Die Möglichkeit die Tasten je nach Belieben und von Programmen verändern zu können, wird sich für die Immersion in Spielen positiv auswirken. Die ansonsten passive Tastatur könnte sich zu einem neuen aktiven Medium entwickeln.

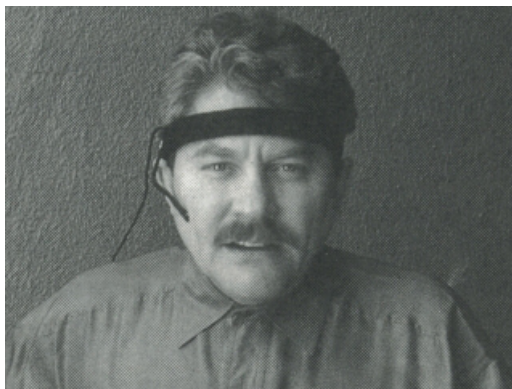


Abbildung 2.13: **Augenmuskelmessung**
Emotionen als Eingabe



Abbildung 2.14: **OLED-Displays**
Die Zukunft des Bildschirms?

²³Organische Leuchtdiode, wird als Nachfolger der LCD-Technik gesehen. Dabei wird über Elektrolumineszenz mehrerer verschiedener organischer Moleküle Licht unterschiedlicher Wellenlänge erzeugt. Über geeignete Kombinationen kann so ein Farbdisplay mit sehr geringer Bautiefe gebaut werden, welches ohne Hintergrundbeleuchtung auskommt.

Ein alternatives Eingabemedium stellt beispielsweise die in Kapitel 2.4.4 vorgestellte Tanzmatte dar. Es existieren aber noch weit interessantere Eingabemethoden, etwa die der Messung der Augenmuskelstellung anhand von am Kopf angebrachten Sensoren, die versucht, Emotionen als Eingabe zu nutzen (Abbildung 2.13). Die wohl beste Methode zur Steuerung durch 3D-Welten wäre wohl die direkte Vernetzung mit dem Computer, absolut — wie im Film *Matrix* (Elektroden im Gehirn, vgl. (24, S. 147 f.)) — oder weniger invasiv durch die Auswertung von Gehirnströmen.

2.2.2 CAVE-Systeme

CAVE-Systeme haben eine lange Geschichte und sind eigentlich die Nachfolger einer sehr alten Technik, dem Panorama (Abbildung 2.15, vgl. (6, S. 15 ff)). Schon im ausgehenden 18. Jahrhundert war der Wunsch groß, Umgebungen so detailreich wie möglich festhalten zu können und so wurden 360° Darstellungen einer Landschaft oder einer Innenstadt in Panoramen festgehalten. In Rotunden²⁴ oder ähnlichen Bauwerken installiert, erfährt der Betrachter einen Rundumblick von einem weit entfernten Ort.



Abbildung 2.15: **Panorama der Innenstadt von Edinburgh**
Im 18. Jahrhundert von Robert Barker gemalt, (vgl. ebd., S. 22)

Anders, als das Panorama, welches nur zur Darstellung unbewegter Szenen (vgl. ebd., S. 19 ff.) dienen konnte, ist sein Nachfolger, die CAVE, nicht nur in der Lage animierte Landschaften darzustellen, sondern diese sogar interaktiv werden zu lassen. CAVE-Systeme gibt es in verschiedenen Formen, von aufgrund aufwendiger Projektionstechnik kostspieligen, komplett runden Installationen — dem ursprünglichen Panorama nicht unähnlich — bis zu halb offenen, kostengünstigeren Versionen. Die Immersion ist je nach Umsetzung verschieden stark, Grau beschreibt dieses bildlich aus der Sicht eines Kunsthistorikers und Medientheoretikers:

„Datenbeamer, die außerhalb der Installation platziert sind, strahlen die Echtzeit-Bilder auf semitransparente Projektionswände, so dass im Inneren zunächst keine, die Illusion mindernde bildfreie Zone offen bleibt und so der Eindruck körperlicher Anwesenheit im Bildraum

²⁴Rotunden sind Zentralbauten mit kreisförmigem Grundriss

geschaffen wird. Damit ist ein zentrales Charakteristikum virtueller Kunst erfüllt: ein bildlicher Einschluss – diesmal im CAVE –, der ein mehr oder minder starkes Empfinden der Immersion hervorruft und nachhaltig von der Außenwelt separiert.“

(O. Grau, 2004) (16, S. 1 f.)

Diese bildliche Beschreibung trifft das Wesen der CAVE-Systeme recht genau. Die Separierung durch räumliche Trennung von der realen Welt bei gleichzeitiger Schaffung eines neuen, virtuellen Bildraumes steigert die Immersion erheblich. Die Echtzeitdarstellung einer virtuellen Welt, welche darüber hinaus mit Hilfe von Steuergeräten, wie 3D-Maus, Joystick, Tastatur oder Tanzmatte interaktiv erkundet werden kann, verstärkt dieses nochmals. Ideal wäre ein System, welches die Projektion einer VR ohne Verzerrung, dreidimensional und raumauflösend umsetzen könnte. Letzteres meint die weitgehend optimale Projektion oder Darstellung der VR, bei der das Medium, in diesem Falle eine Projektionsfolie, nicht als solches mehr wahrgenommen wird. Abbildung 1.2 zeigt ein sehr interessantes Konzept einer CAVE, obgleich die Illusion auch hier noch nicht perfekt ist. Nun aber zu dem dieser Arbeit als Grundlage dienenden CAVE-System.

2.2.3 Grundlage des Aero-CAVE Systems

Die hier vorgestellte CAVE stammt aus dem studentischen Projekt MiCasa (vgl. (35, S. 29 ff.)) an der Universität Bremen unter der Leitung von Prof. Dr. F. Wilhelm Bruns. Sie wurde, um den räumlichen Gegebenheiten eines der artec-Labore zu entsprechen, etwas verändert im Sommer 2005 wieder aufgebaut. Abbildungen 2.16 und 2.17 zeigen Schemata der CAVE und geben einen guten Eindruck, wie eine solche Umgebung den Besucher umschließt.

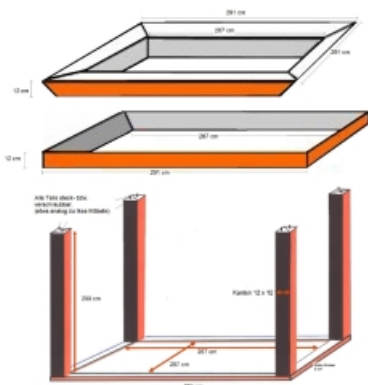


Abbildung 2.16: MiCasas CAVE
Aufbauschema

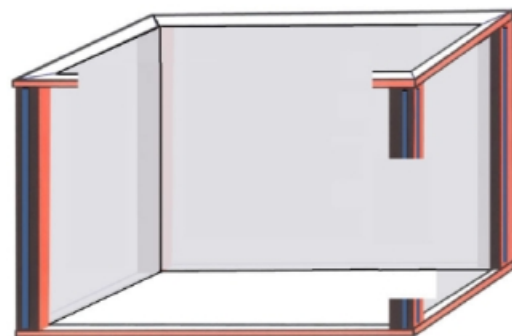


Abbildung 2.17: Bespannung
Zusammengesetzter CAVE

Die CAVE hat einen quadratischen Grundriß und umschließt eine Fläche von etwa 7,13 m². Die Leinwände sind im Verhältnis 4:3 konzipiert, circa 2,67 m breit und etwa 2,00 m hoch. Die ursprüngliche Version sah vor, dass alle vier Wände von außerhalb angestrahlt werden. Die so entstehende 360° Illusion einer VR war mit Hilfe einer Tanzmatte begehbar (vgl. (35, S. 51 ff.)).

Da ein geeignet großer Raum für eine dauerhafte Installation nicht vorhanden war, wurde die CAVE in einem Labor aufgebaut und von Innen (Abbildung 2.18) über an der Decke montierte Beamer projiziert. Spiegel (Abbildung 2.19) wurden an den Seiten angebracht, um den Projektionsweg günstiger zu gestalten. Die Installation ist im artec Labor dreiseitig umgesetzt worden, eine Seite dient

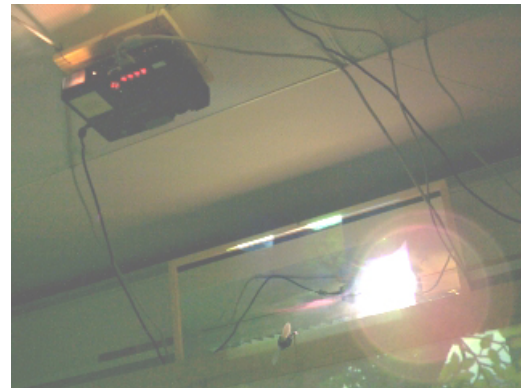


Abbildung 2.18: **Beameraufhängung** Abbildung 2.19: **Spiegelkonstruktion**
Innerhalb der CAVE an der Decke *Reflektieren das Bild auf die Wände*

nun als Eingang und ist komplett offen. Diese Situation erfordert Umdenken in künftigen Anwendungen, für die Steuerung sowie Versuche. Durch die fehlende Rückwand ist die Steuerung mittels Tanzmatte nicht mehr befriedigend, da die Bewegung zum Ausgang hin visuell keine Rückmeldung liefert. Nur durch die angrenzenden Wände ist die Bewegung als solche sichtbar.

Die Lichtwege der Projektionen verlaufen nun innerhalb der CAVE und sorgen in der Standposition für große Schatten, wodurch diese Eingabemethode nicht mehr in Frage kam. Um den Schatten Herr zu werden, wurde ein Stuhl in die Mitte gestellt, auf dem die Versuchsperson (kurz: VP) sitzend mittels Keyboard in der virtuellen Umgebung navigieren konnte.

Im Falle des Aero-Cave Systems wurde diese Schwäche jedoch dazu genutzt, um die Orientierung nicht auf visuelle Reize zu beschränken. Die VP wurde in die Lage versetzt, nur durch das Spüren des Windes einen Weg zu erraten. Das führt uns zum nächsten Kapitel, welches die *Orientierung* behandeln wird.

2.3 Orientierung

Orientierung ist ein weit reichender Begriff und beschreibt in Gebieten wie Religion, Politik, Mathematik, Physik, Verhaltensforschung, Akustik, Sex, Astronomie sowie Kognitionswissenschaft und Navigation eine bestimmte Form der Ausrichtung. Dabei ist die örtliche Ausrichtung, die Fähigkeit zur Positionswahrnehmung und räumliche Inbezugsetzung Gegenstand dieser Arbeit, die sich mit der Auswirkung einer fortschrittlichen Umgebung auf die Orientierung generell und speziell innerhalb einer virtuellen 3D-Umgebung beschäftigt.

2.3.1 Natürliche Orientierung in der realen Welt: Kognitive Karten

Im frühesten Kindesalter machen wir uns schon auf, um die Welt zu erkunden. Nachdem wir unsere anfängliche Sehschwäche²⁵ überwunden, räumliches Sehen²⁶ gemeistert, die Erkenntnis erlangt, dass hinter dem Spiegel niemand sitzt, und krabbelnd unsere Umgebung kennengelernt haben, bewegen wir uns letztendlich durch unsere Welt und versuchen uns anhand der erlernten Fähigkeiten zu orientieren.

Für die Orientierung ist eine Form des im Spiel erworbenen Umgangs mit der Wirklichkeit besonders hervorzuheben, der Modellbildung. Früh stellen Kinder Situationen mit Modellen nach, die sie erlebt oder beobachtet haben, schlüpfen in Rollen und bilden Orte und Gegenstände mit Spielzeugen nach. Die Modellbildung spielt bei der Schaffung kognitiver Karten (vgl. (11)) eine Schlüsselrolle. Diese sind individuelle Repräsentationen der wahrgenommenen Welt und spiegeln die Erfahrungen einer Person mit seiner Umwelt wieder. Kognitive Karten sind nicht exakt, stellen also kein genaues Abbild der real existierenden Welt dar. Sie sind individuell verzerrt (vgl. ebd., S. 26 ff.), und werden durch den täglichen Umgang mit der Umwelt ständig neu definiert. Die Genauigkeit der kognitiven Karte hängt stark von der Frequenz der Aktualisierung eines Ortes oder der Intensität der Erfahrung bei der Speicherung ab. Orte, an denen wir bewusst viel Zeit verbringen, sind ausgeprägter und genauer ‚kartographiert‘ als Orte, an denen wir nur sporadisch die Umwelt wahrnehmen. Es gibt allerdings Ausnahmen, die durch besonders intensives Erleben einen Ort für lange Zeit sehr detailliert in dieser Karte speichern, obwohl er nur wenig frequentiert wurde. Bei der Bildung einer Repräsentation im Geist werden individuell verschiedene *Situationen* abgespeichert. Zunächst werden markante Objekte eines Weges oder eines Ortes memorisiert, an denen sich das Individuum orientieren kann. Wird

²⁵Aufbau des Auges eines Kindes und eines Erwachsenen unterscheiden sich sehr, vgl. (14, S. 614 ff.))

²⁶Wahrnehmung muß erlernt werden, vgl. ebd., S. 623 ff.

die Strecke oder ein Ort auf dieser Strecke mit zusätzlichen Erinnerungen angereichert, unterliegt die kognitive Karte einer zunehmenden Verfeinerung und der reinen Ortsinformation mit den vorhandenen Objekten und ihren Ortsbeziehungen werden Erfahrungen hinzugefügt. Später werden bei der geistigen Visualisierung des Weges sinntragende Kennzeichen wiedergegeben, die Personen, Erfahrungen, Gerüche, Wetter, Stimmung, Gefühle bis hin zu panischen Ängsten mit dem Ort verbinden können und es können Erinnerungen an den Ort durch eben diese ausgelöst werden. Der Geruch von Zimt, Spekulatius und Kerzen versetzt so manchen in Weihnachtsstimmung, Erinnerungen an das letzte oder ein schon lang zurückliegendes Fest werden erneut geweckt.

Kognitive Kartierung ist demnach ein Weg unseres Geistes die Wirklichkeit zu fassen, und wird als ein interaktiver Prozess mit dem Ort angesehen. Allerdings können schon Vorstellungen weckende Beschreibungen eine Karte zeichnen, ohne dass der Ort je real erfahren wurde. Das Studium von Karten erzeugt beispielsweise bei einem geübten Kartenleser eine für die Orientierung gut geeignete kognitive Karte, anhand derer die spätere Wegsuche erfolgreich abgeschlossen werden kann. Etwas fortschrittlicher verläuft dieses bei der Schaffung einer kognitiven Karte mit Hilfe von 3D-Räumen, bei der über VR und VEs prinzipiell jeder Ort virtuell begehbar wird. Später können dann in der Realität zumindest die für die Orientierung wichtigen in der VR erlernten Merkmale dazu dienen, sich an einem real existierenden und unbekannten Ort zurecht zu finden.

Bei der Erkundung eines (realen als auch eines virtuellen) Ortes werden selektiv Merkmale der Umwelt gespeichert, um das Wissen um einen Ort auf das nötigste zu reduzieren. Diese Optimierung geschieht automatisch und ist von Individuum zu Individuum unterschiedlich ausgeprägt respektive verschieden fokussiert. Je nach Grad der Speicherung sind nur rudimentäre Kenntnisse über den Ort vorhanden, oder die gesamte Szenerie mit all ihren Einzelheiten.

Kognitive Karten helfen bei der Orientierung und entstehen je nach Situation vor unserem geistigen Auge. Sie helfen bei der Wegfindung im täglichen Leben und werden aus Erinnerungen zusammengesetzt. Daher sind sie ebenfalls individuell verschieden, denn jeder sieht die Welt mit eigenen Augen. Orientierung ist demnach von Person zu Person eine unterschiedliche Erfahrung und deshalb besonders schwer zu analysieren. Daher sucht man nach Gemeinsamkeiten, die bei der Orientierung eine Rolle spielen.

Strukturelemente, wie Wege, Bereiche, Grenzen, Brennpunkte sowie Merk- und Wahrzeichen stellen solche Gemeinsamkeiten dar. Sie helfen bei der Vorstellung und Beschreibung von Orten und dienen bei der Wegsuche in Abfolge als Route.

Wegweiser helfen uns in fremden Orten bei der Orientierung. Einrichtungen, wie der Hauptbahnhof oder ein Krankenhaus, sind anhand von Hinweisschildern mit Richtungsangabe (Ein Ende des Schildes weist eine dreieckige Form auf, angelehnt an die Form eines Pfeils, vgl. Wegweiser bei (52)) zu finden.

2.3.2 Orientierung in simulierten 3D-Umgebungen

Was liegt also näher, als Wegweiser in der Virtualität zu utilisieren, um die Orientierung innerhalb einer solchen Welt zu vereinfachen? Im Falle von fiktiven virtuellen Räumen, Spielwelten oder Simulationsumgebungen, die nicht in der Realität existieren, und deren Abbild nicht als Trainingsgrundlage dient, haben sie ihre Berechtigung und können je nach Nützlichkeit eingesetzt werden. Im Spiel UNREAL TOURNAMENT 2003 gibt es beispielsweise einen praktischen Wegweiser im Spielmodus „Capture the Flag“²⁷. Die Tasten ‚N‘ und ‚M‘ (in der Standardkonfiguration) lösen eine kleine Partikelwolke vom Standpunkt des Spielers aus, die entweder zur roten oder zur blauen Basis fliegt, und der man nur noch zum Ziel folgen muss. So gelingt es dem Spieler leichter sich in der virtuellen Welt zu orientieren, und schnell die Ziele des Spiels zu erlernen. Ein weiterer Hinweis auf die Position des Spielers liefern in rot und blau gehaltene Deko-Objekte, wie Schilder und Türen, die das Gebiet des jeweiligen Teams markieren.

Lernumgebungen können ebenfalls Hinweisschilder beinhalten, deren Platzierung allerdings je nach Trainingsfortschritt variabel gestaltet werden muss, wenn das entsprechende Hinweisschild nicht auch in der Realität existiert. Denn ansonsten besteht die Gefahr, dass ein solches Hinweisschild auch in der Realität erwartet wird und dessen Inhalt nicht unbedingt gespeichert wurde.

Die Orientierung mittels VR ist in einigen Spezialfällen dank weit fortgeschrittener Techniken möglich. Dabei handelt es sich in der Regel um das Erlernen des Umgangs mit Gerätschaften²⁸, und nicht die *natürliche, ungebundene* Fortbewegung im Raum.

Die im vorhergehenden Kapitel schon erwähnte Möglichkeit, kognitive Karten mit Hilfe von VR und VEs zu erstellen, bedeutet aber Modelle der Orientierung aus der realen Welt auf die virtuelle Welt anzuwenden. Laut Schmauks „[...] kann durch Einbezug der Cyberspace-Technologie eine Landschaft eigener Wahl als stetig sich verändernde Kulisse der virtuellen Fortbewegung dienen“ (52, S. 9). Für die Kulisse können alle nur erdenklichen Schauplätze gewählt werden, wie realistisch diese erscheinen, liegt letztendlich an der Umsetzung und Präsentation der VR.

Virtuelle ist aber nicht gleich reale Fortbewegung. Nun stellt sich die Frage, wie realistisch virtuelle Fortbewegung sein muss, um das Gefühl einer realen Fortbewegung zu simulieren — oder inwieweit dieses überhaupt wünschenswert ist.

²⁷Neben diesem Spielmodus existieren noch zwei weitere diese Form der Orientierungshilfe bietende Modi, „Bombing Run“ und „Double Domination“

²⁸Räumliche Gegebenheiten von Flughäfen, Kampfgebieten oder Manöver im Weltall beziehungsweise im menschlichen Körper werden durch speziell angepasste VEs simuliert, und dienen der Erstellung kognitiver Karten. Solche VEs simulieren zivile und militärische Flugzeugcockpits, Raumfahrzeuge sowie chirurgische Instrumente.

„Während also die Fortbewegung ohne eigenes Gehen seit der Domestizierung von Reittieren entwickelt wurde, ist das Gehen ohne Fortbewegung eine Errungenschaft der letzten Dekaden.“

(D. Schmauks, 2002) (ebd.)

Um einer solchen Errungenschaft gerecht zu werden bedarf es eines intelligenten Designs. Zum einen, um die visuelle Wahrnehmung auf den virtuellen Schauplatz zu versetzen und zum anderen die Körperempfindungen der virtuellen Welt näher zu bringen. Wird dieses unterlassen, führt entweder das Ausbleiben der Sinnesindrücke einer Fortbewegung oder die verzerrte Wahrnehmung einer solchen, bei vielen zu der schon auf Seite 9 beschriebenen „motion sickness“. Die Simulation einer natürlichen Fortbewegung ist daher wünschenswert.

Gewöhnlich bewegen wir uns auf unseren Beinen durch die Welt. Das Gefühl des Gehens hilft der kognitiven Kartierung Entfernungen und Relationen zu speichern. Erst mit der Erkundung eines Ortes erleben wir dessen Wirklichkeit und können Erfahrungen über ihn mit anderen vergleichen und verknüpfen. Nun fehlt aber der Eindruck der Bewegung innerhalb der CAVE, und stellt eine Hürde für die Fähigkeit zum Orientieren innerhalb einer solchen Umgebung dar. „Gehen ohne Fortbewegung“ muss dieses Problem in Angriff nehmen, falls sie zu einer *erfolgreichen* Errungenschaft werden soll.

2.4 Einordnung der Aero-Cave Umgebung

Um die Aero-Cave Umgebung einzuordnen, wird im Folgenden auf die letzten dafür notwendigen Begriffe eingegangen. Die Erweiterung einer CAVE um den Faktor Wind wirft die Frage auf, inwieweit die Anreicherung als *Augmented Reality* aufgefasst werden könnte, oder ob eher von einer mit *Force Feedback* erweiterten Umgebung gesprochen werden sollte. Oder ist es doch schon eine *Mixed Reality*?

2.4.1 Augmented Reality

Augmented Reality (vgl. (57, S. 88 f.)) beschreibt Systeme, die durch virtuelle Objekte die Realität anreichern. Sie bleiben jedoch virtuell und überlagern die Wirklichkeit nur zum Schein, anders als die real spürbaren Auswirkungen der Aero-Cave. Ein Beispiel für Augmented Reality ist in Abbildung 2.20 zu sehen, in denen zwei virtuelle Raumschiffe eine reale Hand angreifen. Sie sind mittels Joypad steuerbar (im Hintergrund sichtbar) und bewegen sich anscheinend im 3D Raum, der von der Kamera aufgenommen wurde. Augmented Reality ist ein

Forschungsfeld, welches zur Zeit viele wissenschaftliche, militärische und industrielle Einrichtungen beschäftigt. Durch in die Windschutzscheibe eingebaute Bildschirme, Projektionssysteme oder über HMDs eingeblendet sind beispielsweise intuitive Navigationssysteme realisierbar, in denen das reale Bild durch Hinweise über Straßen, Geschäfte und Sehenswürdigkeiten angereichert wird.

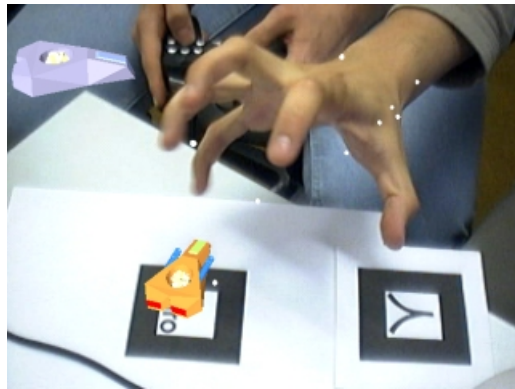


Abbildung 2.20: **Augmented Reality**
virtuelle Raumschiffe im Realraum

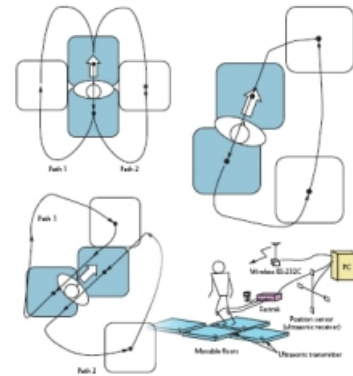


Abbildung 2.21: **CirculaFloor**
Fortbewegungslose Bewegung

2.4.2 Force Feedback

Force Feedback steht für den Sinneseindruck von Kräften und Widerständen, der von der VR auszugehen scheint. Dazu benötigt man eine Vorrichtung, die die Kräfte aus der VR in der realen Welt spürbar machen kann. Kräfte können entweder einem realen Objekt (Gewicht, Zugkraft) nachempfunden, oder frei skaliert sein (vgl. (7, S. 4)). Force Feedback wurde in Joysticks mit kleinen Motoren erreicht, die die Stellung des Steuerknüppels beeinflussen konnten. In Flugsimulationen können beispielsweise so Kräfte simuliert werden, die dem Fliegen eines realen Flugzeuges mit Ruderkontrolle recht nahe kommen.

Eine Form des Force Feedback ist das schon angesprochene endlose Laufband, eine Vorrichtung, die Bewegungen auf dem Band ausgleicht, und die Person in die Mitte der Installation zurücktransportiert. Abbildung 2.22 ist aus einem Video zusammengestellt worden und zeigt die Möglichkeit, in jede beliebige Richtung zu laufen, während das Laufband dafür sorgt, dass der Rand nicht überschritten werden kann (vgl. (20)).

Eine etwas fortschrittlichere Technik, um den virtuellen Raum zu simulieren, dennoch Gehbewegungen zu ermöglichen, stellt das CirculaFloor System dar (vgl. (22), Abbildung 2.21). Es besteht aus mehreren, frei beweglichen Plattformen. Vier Bodenplatten (vgl. Video (21)) erreichen durch Ausgleichsbewegungen, dass der Benutzer trotz Gehbewegungen in alle Himmelsrichtungen an Ort und Stelle



Abbildung 2.22: **Omnidirektionales Laufband**
Umsetzung des Laufens ohne Ortsveränderung (vgl. Video (19))

gehalten wird. Sie simulieren durch geschickte Koordination der einzelnen fahrenden Platten einen unendlichen Boden.

Diese Systeme sind denkbare Erweiterungen des Aero-Cave Systems. Gerade bei der Ortsbezogenheit durch die gekonterte Bewegung würde sich virtueller Wind positiv auf die Verschmelzung der virtuellen mit der realen Welt auswirken.

Die Aero-Cave Umgebung ist zum Teil mit Force Feedback Elementen ausgestattet. Allerdings kann eher von einem haptischen oder taktilen Feedback gesprochen werden, obwohl meist stärkere Kräfte auf die Haut gemeint sind (vgl. (7, S. 3 f.) und ebd., S. 13 ff.).

2.4.3 Mixed Reality

Die Vermischung der virtuellen mit der realen Welt ist vor allem im Entertainmentbereich anzutreffen. Seit der Entwicklung von Computerspielen, wie dem berühmten „Tennis for two“ (vgl. (30, S. 17 ff.)), nahm die Entwicklung von Eingabegeräten und Ausgabemedien ihren Lauf. Das Zusammenspiel von Force Feedback, VR und Augmented Reality ist Wegbereiter für die *Mixed Reality*.

Im vorangehenden Kapitel wurde nur ein kurzer Blick auf Technologien geworfen, die anders als reine Eingabegeräte ein Feedback liefern. Der von Milgram und Kishino eingeführte Begriff „Mixed Reality“²⁹ beschreibt Umgebungen, die eine Verschmelzung von virtueller mit realer Welt ermöglichen. Spezieller bedeutet dies, dass ein Gegenstand oder Medium in der realen Welt eine virtuelle Repräsentation besitzt und Auswirkungen auf das virtuelle Gegenstück auf das reale übertragen werden und auch umgekehrt. Beschreibungen einer Mixed Reality Umgebung finden sich bei Brave et al. (vgl. WYFIWIF³⁰ (4)), bei Grau (vgl. (15, S. 245 ff.)) sowie bei Ishii und Ulmer (vgl. (18)). Diese beinhalten Vorschläge und Umsetzungen für Mixed Reality Systeme, denen der Brückenschlag zwischen

²⁹vgl. (37), für weitere Erläuterungen vgl. (5, S. 71 ff.), (16, S. 245), (33, S. 4 ff.)

³⁰Abgeleitet von WYSIWIS, anstelle von *see* ist *feel* gerückt - „What you *feel* is what I *feel*“, und beschreibt die Abkehr von rein visuellen Kooperationsmedien hin zu multisensorischen.

der virtuellen und realen Welt gemein ist. Eines der Schlüsselkonzepte ihrer Vorstellung von einem neuen Mensch-Computer Interface³¹, „Tangible Bits“, stellt bei Ishii und Ulmer die Einbeziehung von den Menschen umgebenden Medien dar:

„Ambient Media: Use of ambient media such as sound, light, airflow, and water movement for background interfaces with cyberspace at the periphery of human perception.“

(Ishii & Ulmer, 1997) (S. 235, ebd.)

Im Falle der Aero-Cave Umgebung wirkt sich durch Ventilatoren (Abbildung 2.24) erzeugter, virtueller Wind auf den Realraum der CAVE aus. Zum einen wird bei der Steuerung mittels Eingabegerät Wind fühlbar, zum anderen weht Wind an bestimmten Stellen in der VR, welcher zusätzlich den Realraum bewegt. Das Aero-Cave System ist aufgrund der Vermischung von virtuellem mit realem Wind als Mixed Reality Umgebung anzusehen. Wünschenswert wäre noch, wie in Abbildung 2.23 skizziert, die Messung von Wind und Windrichtung an einem realen Ort und die Einbindung dieser Meßwerte in die Virtualität, um dem Konzept der Mixed Reality noch gerechter zu werden.

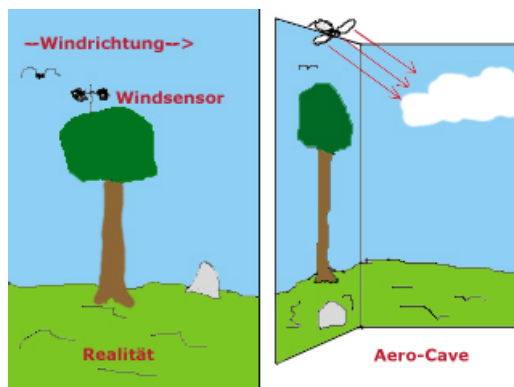


Abbildung 2.23: **Mixed Reality**
Einbezug der Wirklichkeit



Abbildung 2.24: **Ventilator**
Für die Windmaschine unentbehrlich

2.4.4 Sensorik innerhalb der Aero-Cave Umgebung

Die Sensorik innerhalb des Aero-Cave Systems ist variabel, in der Planung war die Steuerung per Tanzmatte vorgesehen. Ein solches Eingabemedium wurde aus dem studentischen Projekt Micasa übernommen. Die Tanzmatte (Abbildung 2.25) ist kurz gesagt die große Version des Ziffernblocks einer Tastatur (vgl. (35, S. 51

³¹Human-Computer Interface, HCI

ff.)). Wie aus der Tabelle 2.1 ersichtlich, sind alle Himmelsrichtungen sowie die Wahl zwischen zwei Geschwindigkeitsstufen³² abgedeckt. Sie stellt eine intuitive Steuerungsmethode in einer gänzlich geschlossenen CAVE dar.

NUM 7	NUM 8	NUM 9	NORDWESTEN	NORDEN	NORDOSTEN
NUM 4	NUM 5	NUM 6	WESTEN	LAUFEN/GEHEN	OSTEN
NUM 1	NUM 2	NUM 3	SÜDWESTEN	SÜDEN	SÜDOSTEN

Tabelle 2.1: **Mapping**
des Ziffernblocks für die Steuerung



Abbildung 2.25: **Tanzmatte**
Steuern im Stand, vgl. ebd.



Abbildung 2.26: **Sitzposition**
Aero-CAVE Steuerung

Aufgrund der schon erwähnten Schwierigkeiten wurde die Sitzposition (Abbildung 2.26) und die Tastatur als Eingabemedium genommen. Auf der Tastatur konnte nun durch den Druck auf die Leertaste zusätzlich gesprungen werden.

Die Grundlagen für das Verständnis der Begrifflichkeiten und Welten sind hiermit gelegt, zur Vertiefung verweise ich hier noch einmal auf die Quellen, die interessante Einblicke in den Forschungsstand und einen Ausblick auf Kommen- des geben. Das nächste Kapitel baut auf diesen Grundlagen auf, teils auf die bereits gegebenen Ausblicke auf das Aero-Cave System, und teils auf die hier eingeführten Begriffe.

³²Wird zusätzlich zu der Richtung das mittlere Feld gedrückt, wie es beim Stehen in der Mitte der Tanzmatte normalerweise der Fall ist, ist der langsamere Modus (Gehen) aktiviert. Wird das Feld verlassen und nur eines der Richtungsfelder benutzt, so ist der Laufmodus aktiv. Diese Steuerung wurde bei der Umsetzung mit Tastatur umgedreht, da nun die mittlere Taste nicht ständig gedrückt wurde.

3 Implementierung

In diesem Kapitel werden die einzelnen Komponenten der Aero-Cave Umgebung vorgestellt. Dabei wird zunächst auf die Wahl der Engine eingegangen. ‚Engine‘ meint in diesem Zusammenhang ein Programm, welches alle Teile einer virtuellen Umgebung steuert. Zu einer Engine gehören Komponenten wie Grafik, Audio, Logik, Physik, Kollisionserkennung, Netzwerk sowie künstliche Intelligenz. Letzteres ist für Spiele wichtig, um so genannte NPCs, Non-Player-Characters, in die Umgebung einzubinden. Diese NPCs bereichern virtuelle Umgebungen, wie z.B. im Projekt MiCaDo (33) die Tiere den virtuellen Dschungel (Abbildung 3.1). Die Netzwerkkomponente spielt gerade bei der Umsetzung von CAVE Umgebungen eine große Rolle, wie in Kapitel 2.2.2 schon erläutert wurde. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um das Server-Client Modell (Abbildung 3.2).

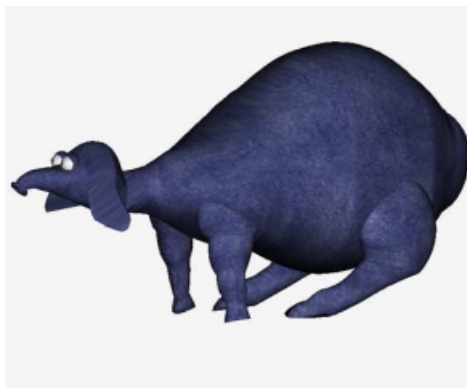


Abbildung 3.1: **Florifant**
NPC des Projekts MiCaDo

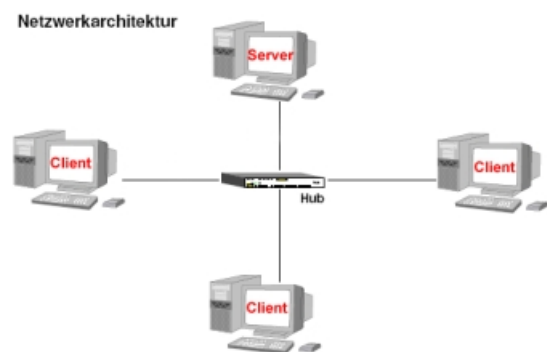


Abbildung 3.2: **Netzwerkarchitektur**
Des Aero-Cave Systems

Im Folgenden wird das Vorgehen bei der Realisierung der Aero-Cave Umgebung bis hin zur Mapgestaltung in Kapitel 3.3 erläutert.

3.1 Wahl der Engine für die Umsetzung

Die Wahl einer Engine ist für den Verlauf der Implementierungsarbeit von großer Wichtigkeit. Die Motorsteuerung über das selbst gebaute Interface und dem Programm zur Steuerung, AERON, kann von jeder Engine, die eine UDP¹ gestützte Kommunikation ermöglicht, angesprochen werden. Trotz dieser Steuerungsmöglichkeit müssen andere Kriterien beachtet werden, da die Gestaltung einer Windumgebung maßgeblich durch die Funktionen und Rahmenbedingungen der Engine beschränkt wird. Bei der Wahl einer geeigneten Engine wurde deshalb auf folgende Kriterien geachtet:

- verfügbarer, eingängiger Map-Editor:
Wichtig bei der Gestaltung von Maps
- um eigene Funktionalitäten erweiterbare Engine:
Modifizierbarkeit des Spielablaufs, Wind innerhalb der virtuellen Welt
- UDP oder eine ähnliche Schnittstelle zur Engine
- Verfügbarkeit (Preis, Aufwand, Portabilität)
- gute Dokumentation
- eine aktive, öffentliche Entwicklergemeinschaft (Community)

Verschiedene Engines wurden in Betracht gezogen, darunter auch die im artecLab² von Martin Faust entwickelte Madness-Engine, auf die z.B. das Projekt MiCaDo (33) ihr CAVE-System aufbauten. Aufgrund kleinerer Probleme mit dem Netzwerkcode (33, S. 110 f.) und der Einschränkung auf Innenlevel (vgl. ebd., S. 93) wurde diese Engine nicht verwendet. Die Engine der Gruppe MiCarpet ist aufgrund ihrer Komplexität nicht genommen worden, hier fehlte ein Editor, der alle Aspekte einer Map darstellen kann (vgl. (34, S. 91 ff.)).

3.1.1 Unreal Tournament 2003

UT2003 eignet sich hervorragend, um Modifikationen und damit ganz neue Spiele oder Anwendungen zu realisieren. Die Scriptsprache Unrealscript ist stark Objekt-orientiert und bietet die Möglichkeit jede Klasse des Spiels — sei es beispielswei-

¹User Datagram Protocol: minimales, verbindungsloses Netzwerkprotokoll, vgl. (51)

²Universität Bremen, Forschungszentrum artec, mit Schwerpunkt der Erforschung der Interaktion zwischen Mensch und Maschine (vgl. (42))

se ein Schalter oder ein Spieltyp³ — zu erweitern, darauf aufbauend eine eigene Klasse zu entwerfen oder die ursprüngliche vollständig umzuschreiben.

```
class HelloWorld extends Actor placeable;
```

Dieses ist ein typisches Beispiel einer Klassendeklaration in UnrealScript. Die neue Klasse ‚HelloWorld‘ erbt alle Funktionen und Variablen von der Klasse ‚Actor‘. Sie wird über ‚placeable‘ für den Editor, der mit dem Spiel UT2003 mitgeliefert wird, ein platzierbares Objekt. Dieses kann nun in einer Map positioniert und über dessen Eigenschaftsmenü (vgl. Abbildung 3.21) können die Attribute verändert werden. In Kapitel 3.2.3.3 wird bei der Vorstellung der Klasse ‚WindTrigger‘ auf weitere Merkmale von UnrealScript eingegangen.

3.1.2 MiCasas CAVE-System

Die Entscheidung fiel auf das CAVE-System von MiCasa (35), da der Map-Editor von UNREAL TOURNAMENT 2003 (kurz: UT2003) aufgrund seiner leichten Erweiterbarkeit durch eigene, das Spiel beeinflussende Objekte, sowie der erweiterbaren UDP-Schnittstelle, gegenüber den anderen Engines und somit auch den in Frage kommenden CAVE-Systemen einen deutlichen Vorteil besaß. In Kapitel 3.3 wird dieses bei der Erstellung der Map deutlicher. Darüber hinaus bildete die große Mod-Community⁴ eine gute Basis und erleichterte ebenfalls die Wahl der Engine.

Das CAVE-System, welches im Projekt MiCasa entstand, baut auf UT2003 auf. Im Projekt wurde der cubecams-Mutator erstellt, die es ermöglichte von der Position eines Spielers alle nötigen Ansichten für die Projektion auf die Leinwände der CAVE zu erzeugen. Das Spiel, welches sich normalerweise wie ein 3D-Shooter verhält, wurde in einigen Aspekten verändert. So wurde die Waffe speziell als Greifwerkzeug programmiert, mit dem man Gegenstände im Spiel aufheben und mittels des entwickelten A.R.M.⁵ bewegen konnte. Die 3D-Figur wurde unsichtbar gemacht, sowie die Waffe nicht mehr dargestellt. Eigene NPCs wurden programmiert, und mit selbsterzeugten 3D-Modellen und Animationen ins Spiel integriert. Die erste Ebene des MZHs⁶, ein Teil der Kunsthalle (vgl. (44)) und ein Test-, sowie ein Portallevel zum Reisen zwischen diesen Maps wurden erzeugt. Die Positionsbestimmung mittels Laserpointer und Webcam wurde entwickelt und die Tanzmatte gebaut.

³Ein Beispiel eines solchen veränderten Spieltyps ist der SahneGametype (35, S. 47 ff.), der neben „Deathmatch“, „Capture the Flag“ und weiteren auswählbar ist und die Maps mit „SG“-Präfix zur Auswahl stellt

⁴Mods sind Spielmodifikationen, die aus dem ursprünglichen Spiel durch leichte oder radikale („total conversions“) Veränderungen ein neues machen

⁵A Real-Time Motion Capturing Device, vgl. (35, S. 59 ff.)

⁶Der Fachbereich 3 (Mathematik/Informatik) der Universität Bremen befindet sich (zum größten Teil) im Mehrzweckhochhaus (MZH)

Für die Umsetzung der Windmaschine wurde der Cubecams-Mutator als Grundlage genommen, in Kapitel 3.2.3.1 wird darauf ausführlich eingegangen. Die Tanzmatte war optional Teil des Aufbaus, der durch die Tastatursteuerung ersetzt wurde.

3.2 Windmaschinenbau und Interface

Beim Bau der Windmaschine und des Interfaces wurde als Grundvoraussetzung eine funktionstüchtige, vierseitige, von aussen projizierte CAVE als Grundgerüst für die Installation angenommen. Als Steuerung war eine Tanzmatte vorgesehen. Diese Vorgaben spielten beim Design und der Umsetzung eine große Rolle. In den Praxistests der fertigen Umgebung in Kapitel 4.2 wird auf die endgültige Umsetzung mit ihren Hindernissen eingegangen.

3.2.1 Die Windmaschine

Das erste, was man für eine Wind erzeugende Umgebung benötigt, sind Ventilatoren. Nun gibt es Ventilatoren in den verschiedensten Bauweisen, von Miniaturventilatoren, die für Lüftung von Grafikkarten und anderen elektronischen Bauteilen dienen, bis hin zu meterhohen Ventilatoren, wie sie im Film zum Einsatz kommen, wenn viel Wind gefragt ist. Die Größe und der Effekt musste auf die Situation in der CAVE angepasst werden. Dazu wurden zunächst verschiedene Ventilatorgrößen auf ihre Stärke geprüft, um herauszufinden, welche Art von Ventilatoren genügend Wind erzeugt. Ein kleiner CPU-Kühler stellte sich als zu schwach und ungerichtet heraus, war für die Aero-Cave Umgebung folglich ungeeignet. Ein batteriebetriebener Miniventilator brachte schon einen gut spürbaren Windzug, war jedoch nur für Entfernungen von maximal einer Armlänge ausreichend stark. Ein kleiner Modellbaumotor mit Propeller brachte selbst aus einiger Entfernung noch den gewünschten Effekt. Ein Standventilator erzeugte viel Wind, aber hatte eine Einschaltverzögerung, bedingt durch das Anlaufen der größeren Rotorblätter. Bevor zwischen der Kombination von Modellflugzeugmotor und Propeller und der Standventilatorlösung entschieden wurde, war noch die Position, sowie die Anzahl der Ventilatoren entscheidend. Vier Ventilatoren waren nach einigen Tests als nicht ausreichend befunden worden, um damit eine geeignete 360° Simulation zu realisieren. Acht Ventilatoren stellten sich in Anbetracht der geplanten Interfacearchitektur, die im nächsten Kapitel erläutert wird, als günstigste Variante heraus. Wie in Abbildung 3.3 zu erkennen, sind die Ventilatoren ursprünglich jeweils in den Ecken sowie in der Mitte einer jeden Wand der CAVE positioniert. Um die einzelnen Ventilatoren besser zuordnen zu können, wurden sie anhand der Himmelsrichtungen benannt, von Norden, Nordosten, Osten, ..., bis Nordwesten.

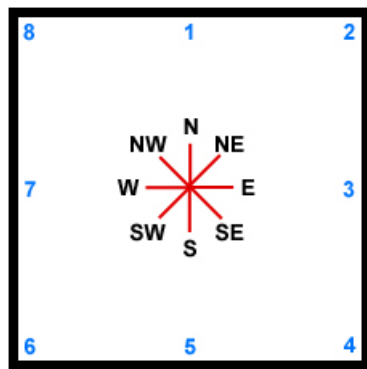


Abbildung 3.3: **CAVE-Aufsicht**
mit Positionen der Ventilatoren(1-8)

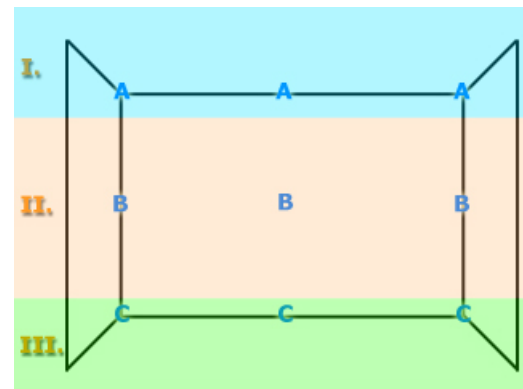


Abbildung 3.4: **CAVE-Schnitt**
mögliche Positionen für Ventilatoren

Bei der Prüfung auf geeignete Positionen für die Montage der Ventilatoren wurde ebenfalls getestet, aus welcher horizontalen Position der Wind welche Wirkung hatte. Dabei stellte sich heraus, dass Windrichtung und Intensität bedingt durch die Kleidung am Körper besonders über Windströmungen um den Kopf herum wahrgenommen werden. In Abbildung 3.4 sind die Positionen der Ventilatoren einer Seite der CAVE mit A, B, und C in den möglichen Installationshöhen I, II und III eingetragen. Höhe II war, obgleich am natürlichsten empfunden, aufgrund der visuellen Einschränkung keine befriedigende Lösung. Ähnlich lag der Fall bei Höhe III, die Positionen waren darüber hinaus zu weit vom Kopfbereich entfernt. Ebenso war die Verletzungsgefahr nicht zu unterschätzen, falls man innerhalb der CAVE über oder in einen Ventilator fällt⁷. Höhe I wurde aufgrund der geringeren visuellen Einschränkung präferiert, ebenfalls war der Luftweg zum Kopf kürzer, als er es vom Boden gewesen wäre. Die Verletzungsgefahr besteht allerdings immer noch, und ist bei der Benutzung zu berücksichtigen.

Die Elektromotoren und Propeller aus dem Modellflugzeugbereich stellten sich für den Einsatz in der Aero-Cave Umgebung als geeignet heraus. Trotz geringer Größe erzeugen sie viel Wind, der bei korrekter Ausrichtung der Ventilatoren gut spürbar ist. Aufgrund der geringen Maße ist die visuelle Beeinflussung minimal.

Beim Testen in der CAVE stellte sich heraus, dass sich die Eckventilatoren⁸ zu weit von der Mitte befanden, und der Luftzug im Vergleich mit den Seitenventilatoren⁹ deutlich schwächer ausfiel. Dieses Problem war auf zwei verschiedene Wege lösbar, wobei der Weg über das Angleichen der Softwaresteuerung als unbefriedigend angesehen wurde. Kurzerhand wurden die Positionen, wie in Abbildung 3.5 zu erkennen, in den Raum hinein im gleichen Radius zum Mittelpunkt auf den Diagonalen der CAVE befestigt. Das Ergebnis war ein in etwa gleich stark

⁷„Motion sickness“, vgl. Seite 9, konnte und wollte der Autor nicht ausschließen

⁸Dabei handelt es sich um die Ventilatoren 2, 4, 6 und 8 (vgl. Abbildung 3.3)

⁹folglich die Ventilatoren 1,3,5 und 7

empfundener Windeindruck aus jeder Himmelsrichtung. Abbildung 3.6 zeigt die Ventilatoren 1, 7, und 8 in der endgültigen Umsetzung¹⁰.

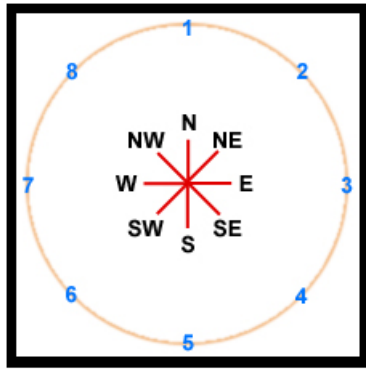


Abbildung 3.5: **2. CAVE-Aufsicht**
endgültige Positionen

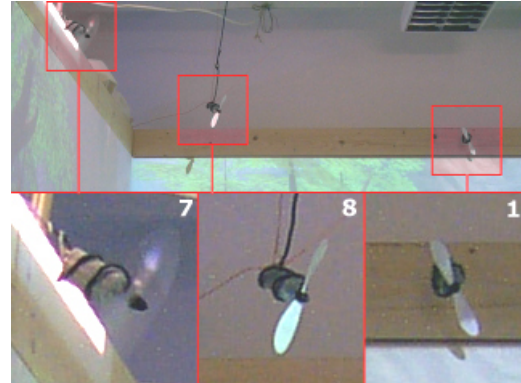


Abbildung 3.6: **Ventilatoren**
im Einsatz

3.2.2 Das Hardware-Interface

Um nun mit den Ventilatoren arbeiten zu können, benötigt man ein Interface zum PC. Die Umsetzung sah acht Ventilatoren vor, vier PCs für die Steuerung und mindestens vier Geschwindigkeitsstufen pro Motor. Bei der Suche nach einem, diesen Kriterien entsprechenden Interface spielten weitere Anforderungen eine Rolle:

- Die Motoren sollten über verschiedene Geschwindigkeitsstufen regelbar gemacht werden können, je mehr Stufen, desto besser.
- Der Aufbau sollte wenn möglich modular sein, um Teile schnell austauschen, und das System leicht erweitern zu können.
- Die Kosten für den Aufbau sollten nicht zu hoch sein oder ein Sponsor gefunden werden, der die Interfaces stellt.
- Die Kommunikation mit dem Interface sollte in einer gängigen Programmiersprache — am besten in C/C++ — erfolgen.
- Der Status des Interfaces sollte ohne angeschlossenen Motor überprüfbar sein.

¹⁰Ventilator 7 lief gerade und produzierte Wind, als das Bild gemacht wurde, die Aufhängung im Raum ist bei Ventilator 8 gut zu erkennen, vgl. dazu auch Abbildung 2.24

Nach der Suche nach möglichen Interfaces wurden drei Varianten, welche vielversprechend für die unproblematische Umsetzung erschienen, auf diese Kriterien hin untersucht.

3.2.2.1 USB-Interface

Ein USB-Interface hat den Vorteil, dass es sehr einfach an einen PC angeschlossen werden kann und automatisch durch das Betriebssystem erkannt wird. Als Beispiel eines solchen USB-Interfaces wurde das Modell K8055 von Velleman auf seine Tauglichkeit hin überprüft. Es wurde ein fertiges Modul gewählt, da der Eigenbau eines selbstentworfenen USB-Interfaces mit der dazugehörigen Schnittstellenprogrammierung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war. Die benötigten Ausgänge (acht digitale Ausgangsschalter) für die Umsetzung mit jeweils zwei Ventilatoren pro Interface waren vorhanden, der Aufbau war modular und zeigte sogar den Zustand der Ausgangsschalter über LEDs an. Lediglich die Relais fehlten, um die Motoren mit genügend Strom (circa 1,8 Ampere) zu versorgen. Die Leistungen der Ausgangsschalter waren, wie aus nebenstehender Abbildung 3.7 zu entnehmen, zu gering.

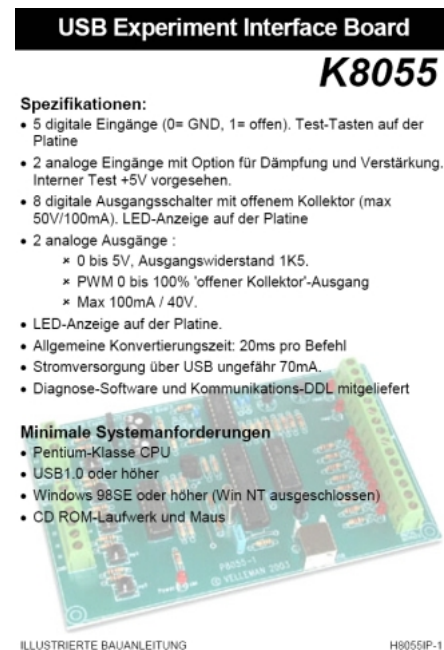


Abbildung 3.7: **USB-Interface**
Spezifikationen des Modells K8055
von Velleman

Die Anbindung über eine im Lieferumfang des USB-Interfaces enthaltene DLL¹¹ erlaubt eine bequeme Kommunikation mit dem Interface. Leider waren die Kosten für ein Modul hoch, vier benötigte Modelle würden insgesamt über 200 Euro kosten, dazu kämen noch die Kosten für die Motoranbindung mit Relais und Widerständen.

3.2.2.2 Relaiskarte

Relaiskarten sind Interfacekarten, die auf der USB- oder RS232-Schnittstelle aufbauen und das Manko der im vorherigen Abschnitt erläuterten Lastgrenze von

¹¹Dynamic Link Library, Sammlung von externen ProgrammROUTINEN, auf die Programme über einen geeigneten Aufruf zugreifen können

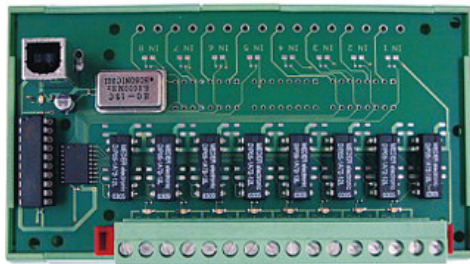


Abbildung 3.8: **Relaiskarte**
Modell *USBRel8* von *Quancom*

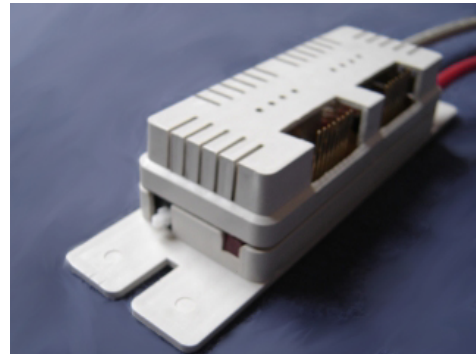


Abbildung 3.9: **Aero-Cave Interface**
Interface für die parallele
Schnittstelle

wenigen Milliampere mit Hilfe von Relais überwinden. Diese sind in Abbildung 3.8 gut zu erkennen, das als Referenz dienende Modell *USBRel8* von *Quancom* besitzt acht Ausgangsschalter. Die Spezifikationen dieses Modells sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. Wie schon bei der USB-Interfacekarte erfolgt die Anbin-

SYSTEMBUS	USB
MODULADRESSE	Über Steckbrücken einstellbar von 0-3
AUSGÄNGE	8 DIL-Relais (max 15W/1A)
ANZEIGEN	Initialisierung durch Treiber, Zustand der Relais
ANSCHLÜSSE	steckbare Schraubklemmen

Tabelle 3.1: **Spezifikationen**
Aus der Bedienungsanleitung (vgl. (40))

dung über eine DLL. Auch hier waren die hohen Kosten für ein Modul zu hoch, vier benötigte Modelle würden insgesamt ebenfalls über 200 Euro kosten. Die Lastgrenze von 1A übersteigen die Motoren leider auch, so dass ein anderer Weg gefunden werden musste.

3.2.2.3 Eigenbau

Die Suche wurde mit der Erkenntnis beendet, dass andere Systeme noch teurer wären. Der Eigenbau eines Interfaces ist aufgrund der niedrigen Kosten und des fehlenden Sponsors gewählt worden. Die entworfenen Interfaces sind speziell auf die Erfordernisse zugeschnitten und sind modular geblieben.

Um die Kommunikation mit dem PC zu gewährleisten, wurde ein Interface für die parallele Schnittstelle (vgl. (59, S. 137 ff.)) gebaut. Abbildung 3.9 zeigt das

fertige Interface. Die 25-polige Schnittstelle ist in Abbildung 3.10 abgebildet, die Pinbelegung ist aus der Tabelle 3.2 zu entnehmen. Der „Parallelport“ kann auf unterschiedliche Art und Weise angesprochen werden, da über die Jahre verschiedene Protokolle für die Kommunikation mit unterschiedlichen Peripheriegeräten entwickelt worden sind. SPP¹², EPP¹³ und ECP¹⁴ bieten jedoch alle acht Datenleitungen sowie Ground (GND, Erdung) auf den selben Pins, welche beim Bau des Interfaces benötigt werden.



Abbildung 3.10: **Parallelport**
Schnittstelle aus (59, S. 161)

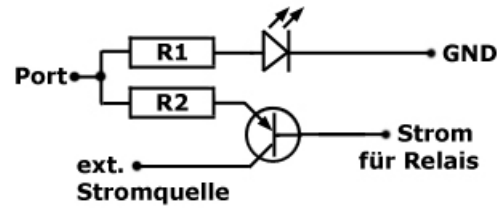


Abbildung 3.11: **Interfacekonzept**
 $R1 = 330\Omega$, $R2 = 10k\Omega$

Pin	Signal SPP	Signal EPP	Signal ECP
1	<i>Strobe</i>	<i>Write</i>	<i>Host CLK</i>
2 – 9	<i>Data bit 0 – 7</i>	<i>Data bit 0 – 7</i>	<i>Data bit 0 – 7</i>
10	<i>ACK</i>	<i>Interrupt</i>	<i>PeriphCLK</i>
11	<i>BUSY</i>	<i>Wait</i>	<i>PeriphACK</i>
12	<i>Paper End</i>	<i>n.c.</i>	<i>ACKReverse</i>
13	<i>SELECT</i>	<i>n.c.</i>	<i>XFlag</i>
14	<i>Auto Feed</i>	<i>Data Strobe</i>	<i>Host ACK</i>
15	<i>Error</i>	<i>n.c.</i>	<i>PeriphRequest</i>
16	<i>Initialize</i>	<i>n.c.</i>	<i>ReverseRequest</i>
17	<i>SELECT INPUT</i>	<i>Adress Strobe</i>	<i>ECP Mode</i>
18 – 25	<i>GND</i>	<i>GND</i>	<i>GND</i>

Tabelle 3.2: **Anschlussbelegung**
SPP, EPP, ECP Protokoll (vgl. ebd., S. 163 f.)

¹²Standard Parallel Port, Standardeinstellung im BIOS der meisten Mainboards

¹³Enhanced Parallel Port, schnellere Kommunikation durch bi-direktionale Verbindung

¹⁴Enhanced Capability Port, baut auf EPP auf. Beide zielten auf die Anbindung von externen Laufwerken, bei denen die Transferrate deutlich höher sein musste, als es bei Druckern und Scannern der Fall war. Utilisiert zusätzlich einen DMA-Kanal (Direct Memory Access).

Die per Data bit 0 bis 7 ansprechbaren Ports 0 – 7 werden über die Schaltung in Abbildung 3.11 erweitert. Jeder Port bekommt auf diese Art eine der Überwachung dienende LED, die den Status¹⁵ anzeigt. Mittels des Transistors (BC 547) kann ein höherer Strom geschaltet werden, als es über die parallele Schnittstelle allein möglich ist. Die Konstruktion des Interfaces ist auf zwei Motoren ausgelegt worden, daher sind Port 0 – 3 und Port 4 – 7 gruppiert. In Abbildung 3.12 ist mittig noch die Ansteuerung für die an der Seite des Gehäuses lokalisierten Status - LED zu erkennen. Zur Sicherheit steht höherer Strom erst dann zur Verfügung, wenn das Interface Kontakt mit dem Parallelport hat und der Schalter des Interfaces aktiviert ist. Beim Anschalten des PCs wird die parallele Schnittstelle reinitialisiert, und alle Ports auf ein vom Betriebssystem gewählten Grundzustand¹⁶ versetzt.

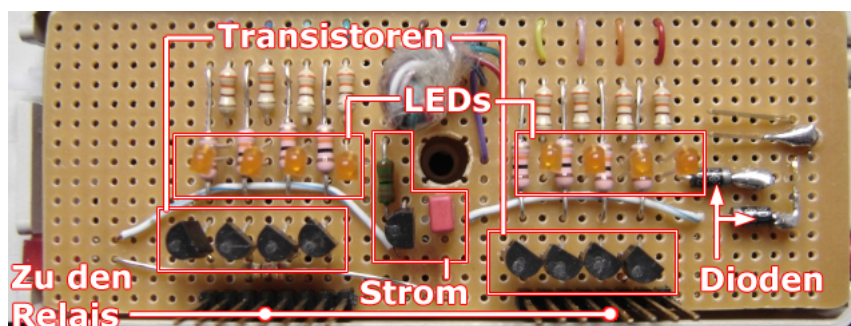


Abbildung 3.12: **Innenleben**
Interface von oben ...

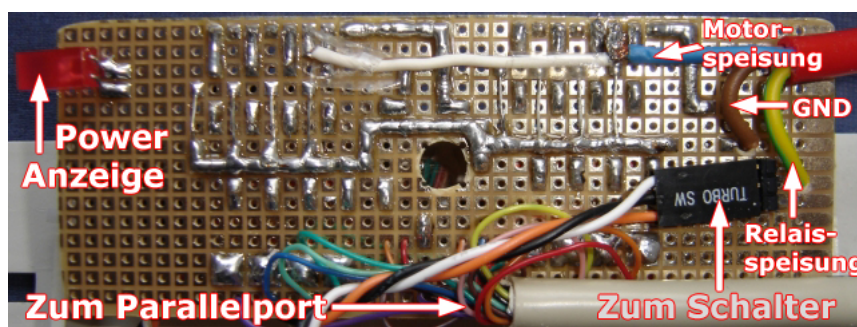


Abbildung 3.13: **Stromanschluss**
... und von unten

Da die PC-Netzteile, von denen der Strom für die Ventilatoren mittels PC-Stromversorgungsadapter bezogen wird, die Stromspitze beim Aktivieren der Motoren ohne Widerstand als Fehler interpretieren und vorsichtshalber abschalten,

¹⁵Port ist auf 0 geschaltet – LED aus, Port auf 1 – LED an

¹⁶Beispielsweise aktiviert Windows XP alle, Windows 98 hingegen nur einen Port

wurde der Schalter eingebaut. Für den Betrieb müssen alle Ports zunächst auf Null initialisiert werden, was beim Starten des Levels und der Interface-Software AERON geschieht. Erst danach ist die Aktivierung der Interfaces sicher.

Die Ansteuerung der Motoren erfolgt über vorgeschaltete Widerstände, um verschiedene Drehgeschwindigkeiten der Propeller und somit unterschiedliche Windstärken zu realisieren. Diese wurden in einer Zwischenstufe im Verbund mit Relais zwischen dem Interface und den Motoren ausgelagert. Für alle acht Motoren wurden jeweils vier Relais und drei Hochlastwiderstände¹⁷ zu Relais-Widerstandseinheiten kombiniert (kurz: RWEs, Abbildung 3.14 und 3.15). Diese RWEs sind Vermittler zwischen Interface und Motor und sind aus dem Modularitätssprinzip entstanden. Werden andere Motoren mit anderer Leistung gewünscht, wird die RWE nach Wunsch angeglichen, ohne das Interface an sich zu verändern. Das Interface ist über die RWEs nun in der Lage für jeden Motor neun verschiedene Geschwindigkeitsstufen zu schalten, wie in Abbildung 3.18 zu erkennen ist. Zwei solcher RWEs werden an einem Interface betrieben, so dass pro Interface zwei Motoren gesteuert werden können.

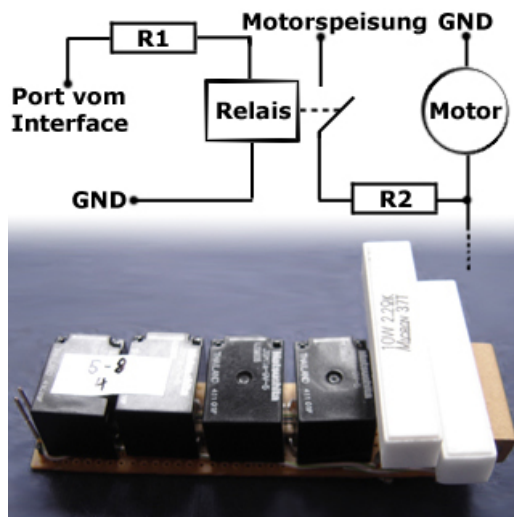


Abbildung 3.14: **RWE**
Schaltplan für einen Port

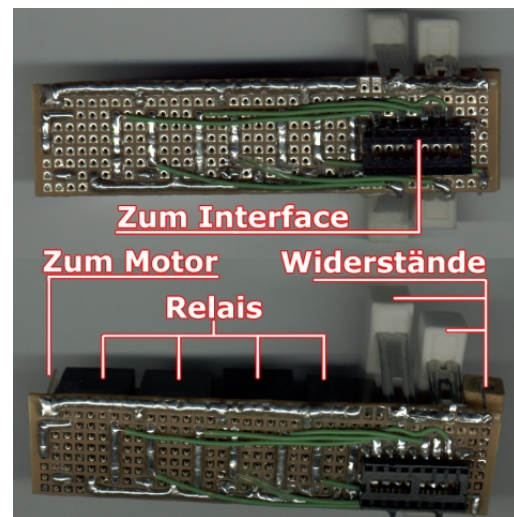


Abbildung 3.15: **Brücke**
zwischen Interface und Motor

Wird Relais 4 eines RWEs aktiviert, ist kein Widerstand zwischen Motor und Stromspeisung geschaltet. R2 aus Abbildung 3.14 ist dann 0Ω und lässt den Strom ungehindert fließen. Kombinationen mit dem aktivierten Port 3 oder 7, welche jeweils das 4. Relais eines der beiden RWEs ansprechen, sind aufgrund der Parallelschaltung der R2 Widerstände daher zwecklos, diese stellt schon die höchste Stufe für den jeweils angesprochenen Motor dar. Ist kein Port (0 – 3

¹⁷Die Motoren brauchen etwa 6 Watt und dementsprechende Widerstände, die sicherheitshalber mindestens 7 Watt aufweisen.

oder 4 – 7) aktiviert, so ruht der Ventilator. Durch die Kombination von den drei anderen Relais können vier weitere Widerstandswerte erreicht werden. Insgesamt stehen also sieben Zwischenstufen zur Verfügung. Bei der Suche nach geeigneten Widerstandswerten für ein möglichst gleichbleibende Geschwindigkeitsänderung wurden die in Abbildung 3.16 in der Legende aufgeführten Kombinationen von Widerständen mittels der Formel $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ untersucht. Der Verlauf der Kurve sollte annähernd dem einer Linie oder einer exponentiell abnehmenden Kurve entsprechen, um eine gleichbleibende Geschwindigkeitszunahme im Vergleich mit den anderen Stufen zu realisieren. Dabei stellten sich rechnerisch die Stufen mit der Kombination der Widerstände $6,8\Omega$, $4,7\Omega$ und $2,2\Omega$ als günstig heraus. Toleranzschwankungen der Hochleistungswiderstände führten praktisch zu folgender Belegung der Ports: Port 0/4 = $7,4\Omega$, Port 1/5 = $5,2\Omega$, Port 2/6 = $2,7\Omega$

Die Widerstandswerte aus Tabelle 3.3 zeigen die Werte für die letzten beiden Kurven aus Abbildung 3.16.

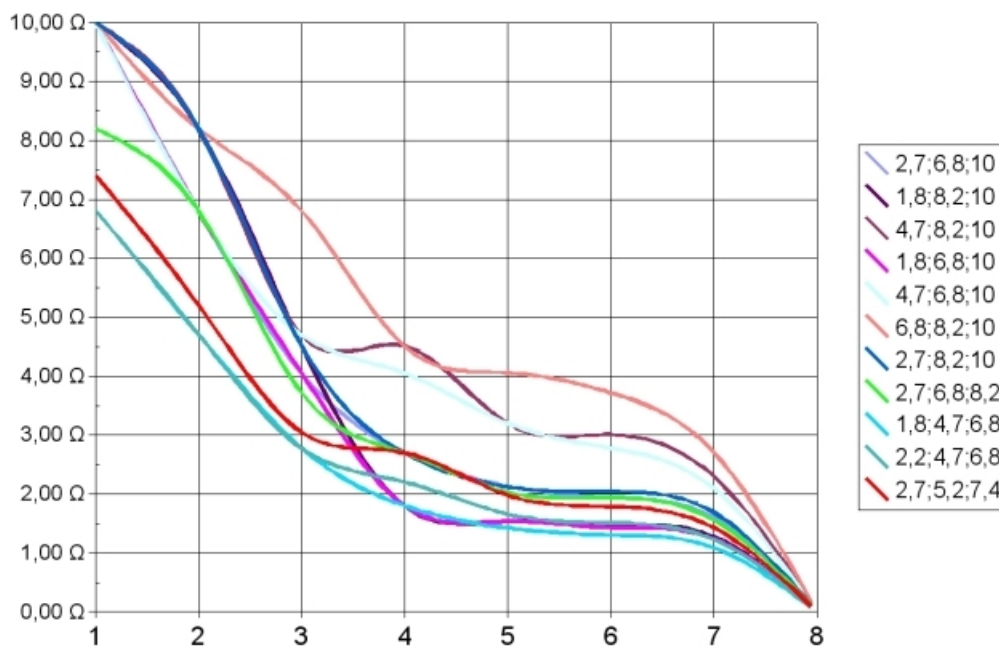


Abbildung 3.16: **Widerstandskombinationen**
Errechnete Zwischenstufen für verschiedene Widerstandskombinationen

Die Relais¹⁸ laufen mit 12V des PC - Stromkreises, über einen 56Ω Widerstand werden diese in 9V überführt. Die Motoren drehen sich schon bei 5 Volt mit maximaler Geschwindigkeit. Aus Tabelle 3.4 sind die technischen Daten der Motoren (vgl. ebd., S. 100) zu entnehmen.

¹⁸Matsushita JSM1A-9-5, 9V, 120Ω, max. 120V/5A, vgl. (45, S. 156)

Stufe Fall	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>rechnerisch</i>	6,80	4,70	2,78	2,20	1,66	1,50	1,23	0
<i>praktisch</i>	7,40	5,20	3,05	2,70	1,98	1,78	1,43	0

Tabelle 3.3: **Widerstandswerte der Stufen 1-8**

Stufe 0 = Widerstand ist ∞ , es fließt kein Strom und der Motor ist aus.

BETRIEBSSPANNUNG	3...9 V-
STROMAUFNAHME	max. 3,5 A
DREHZAHL	max. 16000 U/min
MOTORABMESSUNGEN OHNE WELLE	(LxBxH): 50x28,5x24,5 mm
WELLE	(LxØ): 13x2,3 mm

Tabelle 3.4: **Technische Daten**

Stufe 0 = des Gleichstrommotors MABUCHI FS390PH

Der Strom wurde von der Stromversorgung des PCs bezogen, hier gibt es Unterschiede in der Belastbarkeit unterschiedlicher Netzteile. Beim Testen stellten sich einige Netzteile als zu ‚nervös‘ heraus. Sie schalteten sich selbst bei niedriger Belastung sofort aus. Externe Netzteile können ebenfalls benutzt werden, falls die Stromspeisung höhere Anforderungen stellt. Für den Betrieb der kleinen Motoren sind die Netzteile jedoch ausreichend stark.

3.2.3 Die Brücke zwischen Hard- und Software

Die Hardware muss nun mittels Software angesprochen werden. Auf **Windows NT** basierende Systeme, wie **Windows XP**, benötigen für die Kommunikation mit der parallelen Schnittstelle eine frei erhältliche DLL¹⁹, da die Kommunikation mit den Schnittstellen aufgrund von Sicherheitsbemühungen eingeschränkt wurde. Die DLL ermöglicht den direkten Zugriff auf die Schnittstelle mittels der Befehle **Inp32** und **Out32**. Um die Funktionen einzubinden, ist folgende Syntax zu gebrauchen:

```
HINSTANCE hLib = LoadLibrary("inpout32.dll");
infuncPtr inp32 = (infuncPtr) GetProcAddress(hLib, "Inp32");
oufuncPtr out32 = (oufuncPtr) GetProcAddress(hLib, "Out32");
```

Über diese Einsprungsadressen werden nun die Aufrufe der Befehle **inp32** und **out32** an die DLL weitergeleitet. "**inp32(Portadresse)**" gibt den Status der Schnittstelle in Form eines Dezimalwertes zurück, über "**out32(Portadresse,**

¹⁹Logix4u stellt auf ihren Internetseiten den Sourcecode als Freeware zur Verfügung, vgl. (31)

Dezimalwert)" setzt man ihn. Die DLL überprüft beim Aufruf um welches Betriebssystem es sich handelt und ruft die für das Betriebssystem spezifischen Routinen zur Kommunikation mit der parallelen Schnittstelle auf. **Windows 9X**, **NT** und seine Derivate sind mit dieser DLL lauffähig.

Im BIOS²⁰ des Mainboards wird die Adresse des parallelen Schnittstellenports festgelegt, hexadezimal lautet sie meist **0378h**, dezimal **888**²¹. In Abbildung 3.17 ist die grafische Benutzeroberfläche, kurz GUI²² abgebildet. Die Adresse für den parallelen Schnittstellenport wird im Feld *Portnummer* festgelegt, der aktuelle Wert der Schnittstelle wird daneben angezeigt.



Abbildung 3.17: **Aeron**
GUI für die Interfacesteuerung

Der Wert des Ports der parallelen Schnittstelle kann zwischen 0 und 255 liegen und repräsentiert den Zustand der Pins 2-9 (vgl. Tabelle 3.2). Über 2^n wird Datenbit n in Dezimalform abgebildet. Beispielsweise ist Pin 2, der Datenbit 0 im Register darstellt, über den Wert 2^0 , also den Wert 1 erreichbar. Wird der Port auf diesen Wert gesetzt, ist Pin 2 aktiviert. Tabelle 3.5 zeigt alle acht Datenbits (Pins) mit den entsprechenden Dezimalwerten.

$n(\text{Pin} = n+2)$	0(2)	1(3)	2(4)	3(5)	4(6)	5(7)	6(8)	7(9)
Dezimalwert (2^n)	1	2	4	8	16	32	64	128

Tabelle 3.5: **Repräsentierung der Datenbits und Pins**

Werden diese Werte gesetzt, ist jeweils nur der entsprechende Pin aktiviert.

²⁰Basic Input/Output System, Grundeinstellungen für das Mainboard und die Peripheriegeräte werden hier festgelegt. Beim Starten des PCs durch das Drücken einer bestimmten Taste erreichbar.

²¹Diese wird in den folgenden Beispielen stellvertretend als Port verwendet

²²aus dem Englischen von „Graphical User Interface“ abgeleitet

Um mehr als nur einen Pin zu aktivieren, ist eine Kombination der Dezimalwerte erforderlich. Sollen beispielsweise Pin 3, 5 und 7 aktiviert werden, müssen die Dezimalwerte 2, 8 und 32 addiert werden. Das Ergebnis 42 wird dann an den Port mittels `"out32(888,42)"` gesendet, und die Ports aktiviert.

Für die Rückwandlung des Wertes, den man über `"Inp32(888)"` erhält, bedarf es eines Algorithmus. Vom höchsten Dezimalwert (128) abwärts wird geprüft, ob der Portwert kleiner oder größer ist. Sollte der Portwert kleiner sein, ist der entsprechende Port nicht aktiviert. Im Programm wird dieses über eine Boolesche Variable (m1-m8) gespeichert, indem sie auf `"false"` gesetzt wird. Ist der Portwert größer, so wird die entsprechende Variable auf `"true"` gesetzt und der Portwert um den Dezimalwert gekürzt. Das geschieht, bis alle acht Dezimalwerte verglichen worden sind und der Status aller Pins anhand der Variablen gespeichert ist (vgl. AeronDlg.cpp, Funktion motorSpeed).

In Abbildung 3.18 werden die erforderlichen Werte für die Ansteuerung der Stufen der einzelnen Motoren (Abbildung 3.19) mit den entsprechenden Dezimalwerten aufgeführt. Die Werte für die Motorsteuerung erhält das Programm über die Nummernblöcke des GUIs für Motor 1 und 2 oder per UDP - Verbindung nach Druck auf „Verbinde“, was zu einer Kommunikation mit der VR-Anwendung führt. Dazu muss noch die Adresse des Hosts, sowie der Port für die UDP - Kommunikation angegeben werden. Ist die Verbindung erfolgreich hergestellt worden, wird ein UDP-Paket mit dem Präfix AERON und dem aus dem Namen der Seite bestehenden Suffix gesendet²³

0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	16	32	48	64	80	96	112	128
X	= Werte für Solobetrieb von Motor 1							
X	= Werte für Solobetrieb von Motor 2							



Abbildung 3.18: **Zustände**
Neun Geschwindigkeitsstufen

Abbildung 3.19: **Motor**
mit Propeller

²³AERONSeitenname, beispielsweise AERONNorth

3.2.3.1 Kommunikation mit dem Spiel UT2003

Das Spiel basiert auf dem Server-Client Modell (vgl. Abbildung 3.2), es gibt einen Host, der die übrigen Clients mit den nötigen Daten über das Spielgeschehen versorgt. UT2003 bietet die Möglichkeit, Nachrichten per UDP-Pakete zu verschicken und zu empfangen. Über die Modifikation der Klasse „UDPBeacon“ wurde die Routine zur Behandlung von empfangenen UDP Nachrichten verändert:

```
if (left(Text,5) == "AERON"){...
```

UDP-Pakete, die mit *AERON* beginnen, werden abgefangen, je nach Seitenangabe verarbeitet, und schließlich beantwortet:

```
super.SendText(ClientAddr,Text$SpeedoM1$","$SpeedoM2);
```

In UnrealScript können Funktionsaufrufe über "**super**" an die Klasse gestellt werden, von der sie geerbt wurde. **SendText** wird also erst in der Klasse **UDPBeacon** gesucht, dann in **UDPLink**, da **UDPBeacon** von dieser Klasse erbt. Dort wird eine native²⁴ Funktion aufgerufen, die das Senden ermöglicht.

Strings werden über "\$" verknüpft. Die Antwort setzt sich aus der Seite und den ,durch ein Komma getrennten, zu schaltenden Stufen der beiden Motoren zusammen. Das über die initial gesendete Nachricht identifizierte²⁵ und dadurch für das Spiel ansprechbar gewordene Programm *AERON* nimmt diese Antwort entgegen, verarbeitet sie und verschickt erneut das ursprüngliche UDP-Paket mit der Seite und dem Präfix *AERON*. Diese Zeichenkette wird wieder als neue Nachricht über **ReceivedText** verarbeitet. So bleiben beide Programme über die UDP Kommunikation in Verbindung. Bei der Verarbeitung des vom Spiel gesendeten UDP-Pakets wird die Art der Nachricht bestimmt, handelt es sich bei dem Präfix um die vom Client anzusprechende Seite des Aero-Cave, werden die Werte für die Windstufen aus dem Suffix ausgelesen und anschließend in die Steuerung der Motoren umgesetzt. Es besteht die Möglichkeit die Option „Minimalwind“ per Checkbox einzuschalten, dann weht zusätzlich permanent ein Wind der Stufe 1.

²⁴UT2003 ist gerade, was die Erweiterbarkeit angeht, teilweise komfortabel, teilweise aber auch umständlich. *Nativ* heisst in diesem Zusammenhang, dass die Ausführung der Funktion nicht durch UnrealScript, sondern durch bereits vorkompilierte Programmteile erfolgt, was vergleichbar mit dem DLL-Prinzip ist. Diese Programmteile können nicht ohne weiteres verändert werden, dazu müssen zunächst erforderliche Lizenzen des Spiels erworben werden, um Zugriff auf die Quellcodedateien zu erlangen. Die Einbindung einer DLL war aus den gleichen Gründen nicht möglich, dieses behalten die Entwickler des Spiels den Lizenznehmern vor. Daher ist man auf UnrealScript beschränkt, und deswegen musste auch die Steuerung der Motoren durch ein externes Programm realisiert werden.

²⁵Über Clientaddr wurde die Adresse des Clients gespeichert

3.2.3.2 Berechnung der Windstufen in UT2003

Nach Empfang des Seitennamens wird nun der Beschleunigungsvektor des vom Spieler gesteuerten Akteurs ausgelesen und mit für diese Seite spezifischen Werten für die Vektorkomponenten X, Y verglichen. Der Akteur kann entweder stehen, gehen, laufen oder springen. Um diese Grundstufen bei der Bewegung spürbar zu machen, wurden vier Windstufen getestet und festgelegt, 0 für Stehen, 2 für Gehen, 5 für Laufen und der Maximalwert 8 für Springen. Die Abfolge der Stufen ist in Abbildung 3.20 schematisch beschrieben. Die Stufen richten sich nach den Schwellenwerten:

Schwelle 1 = ± 500.00	Stufe I : 0 bis Schwelle 1	→ Stehen
Schwelle 2 = ± 1400.00	Stufe II : Schwelle 1 bis Schwelle 2	→ Gehen
Schwelle 3 = ± 2000.00	Stufe III : Schwelle 2/3 bis Schwelle 4	→ Laufen
Schwelle 4 = ± 4000.00	Stufe IV : Ab Schwelle 4	→ Springen

Tabelle 3.6: Schwellenwerte und Einordnung der Stufen

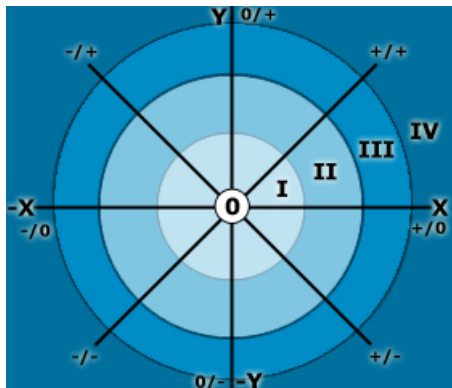


Abbildung 3.20: **Bewegungen**
in der X/Y Ebene

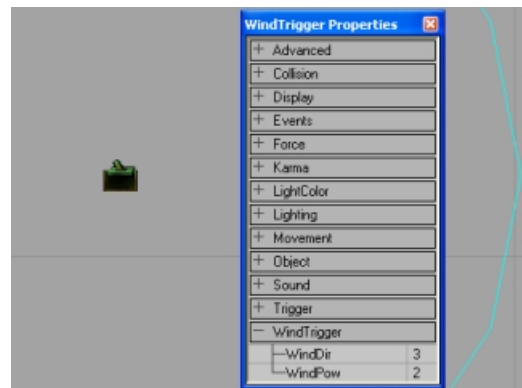


Abbildung 3.21: **WindTrigger**
mit Windrichtung und -stärke

Schwelle 2 und 3 stellen die Schwellen für die Stufe III dar. Diagonale Bewegungen bedeuten niedrigere Geschwindigkeiten für die Teilvektoren X und Y. Die Gesamtgeschwindigkeit ist jedoch gleich der einer einfachen Bewegung entlang des X- oder Y-Vektors.

Nun kann man sich durch die Welt bewegen und spürt je nach Geschwindigkeit einen bestimmten Luftzug aus der entsprechenden Richtung.

3.2.3.3 Virtueller Wind: WindTrigger

Um auch virtuellen Wind spürbar zu machen, wurde ein neuer Schalter über die Erweiterung eines normalen Schalters entworfen²⁶. Ihm wurden zwei Werte (vgl. Abbildung 3.21) hinzugefügt, `WindDir` für die Windrichtung und `WindPow` für die Windstärke, wobei Werte von 0 – 8 in beiden Fällen eine gültige Eingabe darstellen. Wird ein solcher Schalter aktiviert, wird über die abgeänderte Funktion "Touch" per `UDPBeaconEx` die Aktivierung dieses WindTriggers in einer Variable auf dem Server gespeichert:

```
Beac.default.Windmemo=Beac.default.Windmemo$WindDir$WindPow;
```

Der String `Windmemo` speichert alle momentan betätigten WindTrigger, indem ein Paar aus `WindDir` und `WindPow` an sein Ende gehängt werden. So können mehrere WindTrigger aktiviert sein und der Wind aus vielen Richtungen kommen. Bei der Berechnung des Windes wird dieser String durchlaufen, und die jeweiligen Maxima für die verschiedenen Richtungen mit dem Wert des bereits berechneten Bewegungswindes addiert. Als Limes wurde die höchste Stufe genommen, der Wert übersteigt daher Windstufe 8 nicht.

Wird der Bereich eines WindTriggers wieder verlassen, so wird in der "UnTouch" - Funktion die Variable `Windmemo` um das Wertepaar gekürzt.

Nachdem nun die Kommunikation sowie die Interna der Programmteile näher beleuchtet worden sind, verweise ich bei weiteren Fragen auf den auf der DVD vorliegenden kommentierten Quelltext.

3.3 Das Erstellen der Map

Einfache Maps sind leicht zu gestalten, je natürlicher sie aussehen sollen, desto größer ist der Aufwand, der betrieben werden muss. Will man beispielsweise eine real existierende Umgebung in der VR nachbilden, müssen die 3D-Objekte²⁷, Texturen, Lichter und Geräusche der Umwelt nachempfunden werden. Es handelt sich dabei um einen aufwendigen Prozess, der ausführlich beispielsweise in den bereits erwähnten MiCa-Projektberichten²⁸ behandelt wurde.

Die Realisierung einer für die Zwecke dieser Diplomarbeit adäquaten Map sollte nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen, daher wurde eine Map des Spiels ausgewählt. Sie wurde von sämtlichen Waffen, Gegnern, Sprungpunkten und sonstigen spieltypischen Gegenständen befreit.

²⁶vgl. Quelltext von `WindTrigger.uc`

²⁷wenn nötig auch deren Animationen

²⁸vgl. (33, S. 87 ff.), (35, S. 74 ff.), (34, S. 117 ff.)

Als Grundlage diene eine Map, die genügend Freiraum zur Erkundung besaß. Die VP sollte die Bewegung in eine Richtung lang genug aufrecht erhalten können, um den Effekt des Windes besser zu spüren. Darüber hinaus sollte eine natürlich wirkende Landschaft die Eingewöhnungsphase innerhalb der VR verkürzen. Wird zu viel Ablenkung durch visuelle Reize geschaffen, bedeutet dieses eine negative Auswirkung auf die Aufmerksamkeit der VP den Wind betreffend.

Die Wahl fiel auf eine Map mit einer Felsschlucht, mit Bäumen und einem Fluss, **BR-Canyon**²⁹. Die von den für die Experimente unnötigen Spielgegenständen befreite Map wurde mit WindTriggern versehen und in **SG-Canyon** umbenannt (vgl. 3.1.1).

Die WindTrigger stehen im Editor über den „Actor Class Browser“ zur Verfügung und sind aufgrund der Klassenhierarchie von UT2003 in dem Baum unter „Actor ▷ Triggers ▷ Trigger ▷ WindTrigger“ aufruf- und platzierbar.

Die WindTrigger sind gut in Abbildung 3.23 zu erkennen. Sie besitzen die gleiche visuelle Repräsentation wie Trigger, nur besitzen sie von Anfang an größere Radien der Kollisionszylinder. Soll dieser im Editor dargestellt werden, muss im Editorfenster nach Aufruf des Optionsmenüs per Klick der rechten Maustaste auf den Kopfteil eines Viewports³⁰ die Option „Actors ▷ Radii View“ aktiviert werden. Abbildung 3.24 zeigt wie der Vergleich von Abbildung 3.22 und 3.23 zuvor die Auswirkung der eingeschalteten Option. Danach kann man die WindTrigger für die Map in Form, Größe, Windstärke und -richtung den Bedürfnissen anpassen und jeden Bereich mit ihnen abdecken. Überschneiden sich zwei Kollisionszylinder wirkt sich in dem Bereich der Überschneidung der höhere Wert auf die Windkraft aus, falls es sich um die selbe Windrichtung handelt. Ist es eine andere, so werden beide Windrichtungen aktiviert.



Abbildung 3.22: **Editor**
mit *WindTriggern*

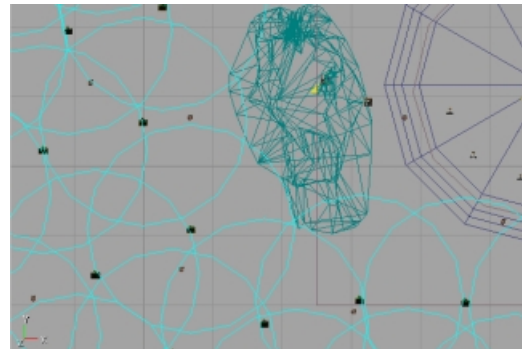


Abbildung 3.23: **Radien**
der *WindTrigger* in 2D

²⁹ Autor der Map ist Warren Marshall

³⁰ Mit Viewports sind die vier Fenster gemeint, die der Editor zur Darstellung verschiedener Ansichten der Map bereitstellt.

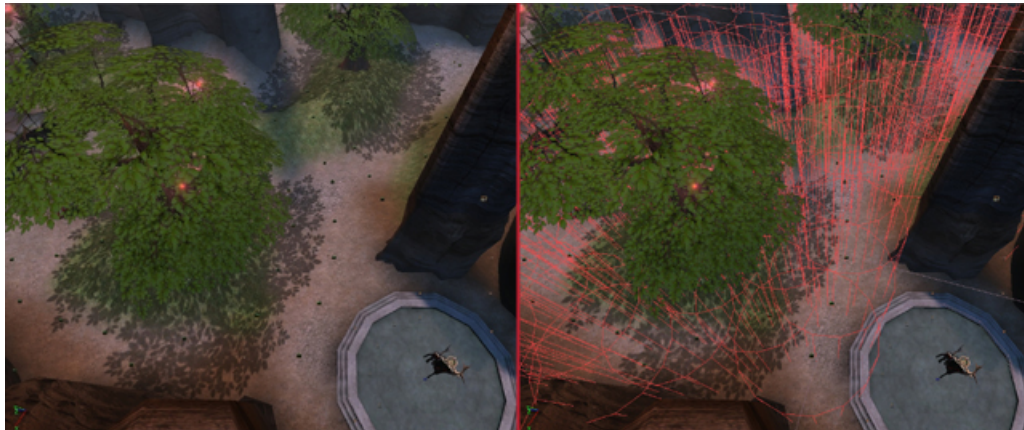


Abbildung 3.24: **3D-Ansicht, ohne und mit Radien**
*WindTrigger sind durch **Kollisionszylinder** räumlich begrenzt*

Die Versuchsmap wurde zu einem Teil mit den WindTriggern ausgestattet. Vom Startpunkt an wurden in der Umgebung WindTrigger platziert, die einen Weg markieren, den die VP folgen sollte. Aus der Richtung, aus der Wind kam, lag das Ziel, in diesem Fall der sichere Weg zur Brücke über den reißenden Fluß.

Abbildung 3.25 zeigt den Abschnitt der Map, welche mit WindTriggern ausgestattet wurde. Dieser stellt etwa ein Viertel der gesamten Map dar, welcher für das Experiment aber vollkommen genügt. Die eingestellten Windrichtungen der WindTrigger wurden mit den kleinen roten Pfeilen kenntlich gemacht, sie addieren sich zu einer durch große blaue Pfeile angedeuteten allgemeinen Windrichtung. Der dreiseitige CAVE wurde oben links klein eingeblendet, um zu verdeutlichen, dass durch die fehlende Seite die Orientierung in Richtung des Windes überwiegend blind erfolgt. Die Hauptrichtung des Windes führt zu der Brücke im Südosten, vorbei an einigen Bäumen und einer Felswand, also die Richtung, die nicht visuell dargestellt werden kann. Dafür ist der Wind rundum spürbar, auf den sich die VP konzentrieren sollte.

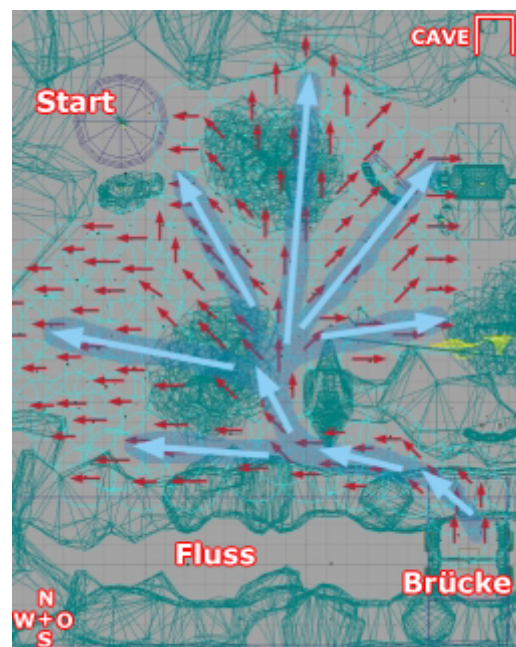


Abbildung 3.25: **Mapausschnitt**
*Mit **WindTriggern** und allgemeiner
 Windrichtung*

Das Aero-Cave System konnte nun getestet und die Auswirkungen auf die Orientierung der VP in Testläufen mit der Map untersucht werden.

Der Aufbau des gesamten Systems benötigt in etwa 20 Minuten, da alle vier Rechner hochgefahren, UT2003 auf drei, die AERON - Programme auf vier PCs gestartet und die Verbindungen hergestellt werden müssen. Der Server für das Spiel wird mit dem Mutator **Cubecams** sowie der Map **SG-Canyon** gestartet, und die ‚Spieler‘ auf den PCs für die Projektion der zwei verbleibenden Wände treten als Zuschauer (Spectator) dem Spiel bei. Danach werden die Interfaces angeschaltet und das System ist einsatzbereit.

4 Praxistests

Das fertige Aero-CAVE System wurde nun in der Praxis getestet. Der Aufbau eines solchen Systems ist aufwendig, wenn zusätzlich die CAVE aufgebaut werden muss, weniger aufwendig, wenn eine vorhandene zu einer Aero-CAVE Umgebung aufgewertet werden soll. Im Labor II des artecs an der Uni Bremen wurde die erst kürzlich installierte CAVE mit dem System ausgestattet und war nun bereit für die ersten Praxistests.

4.1 Erste Versuche

Nach der Installation, dem Starten der Spiele und der Verbindung über AERON mit den Motoren wurde zunächst die Steuerung mit der Tanzmatte getestet. Der Windeindruck war gut, nur die Schatten auf den Wänden störten. Daher wurde die Tanzmatte entfernt und an ihre Stelle ein Stuhl und eine Tastatur plziert. Die Ventilatoren wurden neu ausgerichtet, damit der Windstrom nun weiter unten in der Mitte auf den Kopf der VP trifft. Nach einer ersten, einfachen Map für das Testen des Windeindrucks und des Systems an sich, wurde die im Experiment verwendete Map erstellt.

Das Experiment sah vor, die VP mit der Instruktion „Folge dem Wind“ sich räumlich in der virtuellen Welt zurechtzufinden zu lassen. Nach einer kleinen Einführung in die Steuerung wurden die Ventilatoren bei manchen VP noch genauer ausgerichtet, damit der Windstrom aus allen Richtungen besonders im Kopfbereich großflächig auftreten konnte. Danach wurden sie auf den Weg geschickt.

Im folgendem Kapitel werden die Interviews mit den Personen nach dem erfolgten Experiment in aufbereiteter Form und anonymisiert wiedergegeben.

4.2 Praxistests und Interviews mit Versuchspersonen

4.2.1 1. Versuchsperson

VP 1, eine 28-jährige Frau, die schon Erfahrungen mit Ego-Shootern¹ und einer CAVE besaß, gewöhnte sich recht schnell an die Steuerung. Die Orientierung wurde ihr nach genauerer Erklärung des Windsystems klarer, da zunächst ungewiss war, wann Wind wehen würde. Bei den weiteren VP wurde danach bei der Einführung darauf hingewiesen, dass zum einen für die Bewegung innerhalb der VR ein Feedback in Form von Bewegungswind und zum anderen in Form von Ortswinden möglich ist. Letzterer sei im Stehen gut erkennbar, und darauf hin fand die VP ihren Weg durch die Map bis zur Brücke, dem Ziel des Experiments. Die Sitzposition und die eingeschränkte Projektion störten die VP nicht, die Geräusche der Motoren waren teilweise zu laut, auch wurde die Orientierung zunächst nicht überwiegend nach dem Wind gerichtet, sondern über die auditive und teils visuelle² Ortung der Geräuschquelle. Die VP richtete sich nach diesem Hinweis aber bewusst auf die Wahrnehmung der Windrichtung und konnte sich — besser als sie selbst gedacht hatte — anhand der Windrichtungen orientieren.

Die Map wurde als geeignet befunden, der Fluss als gemeine Falle gewürdigt, der aufgrund der fehlenden dritten Wand zu spät als Gefahr wahrgenommen worden wäre. Die wechselnde Windrichtung, welche die VP in Richtung Brücke führte, bewahrte die VP vor einem ungewollten Bad im reißenden Fluß.

Die VP hatte längere Haare, die den Nacken zum Teil schützten. Der Wind wurde dadurch nicht so deutlich gespürt, wenn er aus südlicher Richtung kam. Aufgefallen war auch die zeitliche Verzögerung des Windes bei Bewegungen, da der Weg vom Ventilator zum Kopf etwas länger ist und der Wind eine gewisse Zeit benötigt, um diese Strecke zurückzulegen. Diese zeitliche Windverzögerung beträgt etwa 0.5 bis 2 Sekunden, je nach Windgeschwindigkeit und Windsituation³ innerhalb der Aero-Cave Umgebung.

Als Verbesserung für weitere Versuche wurde neben der farblichen Markierung der Bewegungstasten auf der Tastatur eine auditive Abkopplung der VP vorgeschlagen. Die Idee, Wind aus der VR spürbar zu machen, wurde positiv bewertet.

¹Ego-Shooter sind aufgrund der Ego-Perspektive (vgl. Seite 15) vergleichbar mit der Steuerungssituation innerhalb der Aero-Cave.

²Die Ventilatoren wurden nach der auditiven Ortung oft kurz angeschaut, um sich der Aktivierung zu vergewissern, nach dem Hinweis an den Versuchsleiter kam dies allerdings nicht mehr vor.

³War der Wind überwiegend aus einer Richtung gekommen, musste nicht gegen einen zuvor in diese Richtung strömendes Luftvolumen angekämpft werden, aufgrund dessen die Verzögerung geringer war, als im umgekehrten Falle.

4.2.2 2. Versuchsperson

Die zweite VP, ein 25-jähriger Mann, konnte sich aufgrund der von der ersten VP stammenden Hinweise schneller orientieren. Die zeitliche Verzögerung des Windes wurde registriert, sie störte die VP aber nicht ungemein. Die VP war ebenfalls versiert im Umgang mit Ego-Shootern, und kannte das Grundsystem aus dem MiCasa Projekt. Allerdings war die Sitzposition für ihn ein Problem, die VP drehte sich mit dem Stuhl und der Tastatur und kam bei der Steuerung durcheinander. Die Tastatur stellte sich hier aufgrund der Ortsungebundenheit als problematisch heraus. Da die Person ebenfalls Erfahrung mit CAVE-Systemen hatte, wurde der Wunsch nach der Tanzmatte geäußert. „Dann wäre die Windverzögerung auch kürzer“, bemerkte die VP. Als Alternative wurde die Nutzung der Drehbewegung des Stuhls für die Steuerung vorgeschlagen. Da auch die uneingeschränkte Projektion über die ganze Seite der CAVE-Wände bekannt war, wurde die Sichteinschränkung sowie die fehlende Südwand als störend empfunden, aber als Gegebenheit hingenommen.

Bei der Bewältigung des Experiments folgte die VP dem Wind bis zur Brücke, und bemerkte, dass der Unterschied zwischen Gehen, Laufen und Springen gut zu spüren sei und als realistisch empfunden wurde. Die Tatsache, dass Wind aus der VR ein Feedback auslöst, in verschiedenen Intensitäten, wurde sehr positiv bewertet. Auch dieser VP fiel die von den Ventilatoren erzeugte Lautstärke auf, gab aber an, sich im wesentlichen an den Windströmen orientiert zu haben.

4.2.3 3. Versuchsperson

VP 3, ein 29-jähriger Mann, besaß ebenfalls Erfahrungen mit Ego-Shootern und kannte die ursprüngliche CAVE, aber hatte kein Problem mit der visuellen Einschränkung. Wie VP 1 orientierte sie sich auch über das Geräusch der laufenden Ventilatoren und weniger anhand des Windes. Die VP spürte den Wind hinten ebenfalls nicht so gut, was vielleicht an einer fehlerhaften Ausrichtung der Ventilatoren lag. Auch die Bemerkung, er könne mehr Wind vertragen, könnte darauf hinweisen.

Als „coolen Effekt“ wurde die Wahrnehmung des Windes beim Drehen des Kopfes beschrieben. Die Map wurde etwas unrealistisch bewertet, der Sinn des Windes an bestimmten Stellen hinterfragt, was im Rahmen des Experimentes allerdings irrelevant ist. Die Möglichkeit, Wind als Gestaltungsmittel zu nutzen, wird als eine Grundlage für aufwendigere Maps angesehen. Die im Experiment entwickelte Map zeigt nur Möglichkeiten und stellt kein exaktes Abbild der Umwelt dar, sondern dient der Erforschung der Auswirkung auf die Orientierung.

Die VP äußerte einen Verbesserungsvorschlag bezüglich der Interaktion von Ge-

genständen in der Map mit den WindTriggern⁴, der zum Realismus beitragen würde. Soundeffekte für den Wind (Windheulen) wären ebenfalls denkbar, setzt aber eine mit Boxen ausgestattete CAVE voraus.

Die VP schaffte es bis zum Ziel, wobei der Wind nur sekundär als Orientierungshilfe genommen wurde. Dies veranlasste den Versuchsleiter in den folgenden Experimenten die Ausrichtung der Ventilatoren für die VP genauer einzustellen, da nach Abschluss des Experiments bei erneuter genauerer Ausrichtung auch VP 3 den Wind deutlicher spürte, als im Experiment selbst.

4.2.4 4. Versuchsperson

Die vierte Versuchsperson, eine Frau im Alter von 22 Jahren, fand die Map aus ähnlichen Gründen wie VP 3 ebenfalls unrealistisch, aber konnte sich anhand des Windes orientieren. Die VP brauchte etwas Zeit, um sich an die Unterscheidung von Bewegungs- und Ortswind zu gewöhnen, fand es zunächst verwirrend. Nach der Eingewöhnungsphase konnte die VP das Ziel dann aber über die Windströme finden. Die verschiedenen Windstufen gefielen besonders.

Wie VP 1 war sie durch längere Haare im Nackenbereich unempfindlicher und in Folge dessen versuchte sie sich umzudrehen, um den Wind besser spüren zu können. Daher wurde auch der Wunsch nach einer drehbaren Weltansicht geäußert oder einer geschlossenen Version der CAVE mit vier Wänden.

Die VP war ebenfalls versiert im Umgang mit Ego-Shootern, und bewegte sich ungezwungen in der VR. Im Verlauf des Experiments wollte sie sogar eine der Waffe haben, die zuvor vorsorglich aus der Map entfernt worden waren.

Als Verbesserungsvorschlag wurde konstanter Wind vorgeschlagen, die Option „Minimalwind“ des Steuerungsprogramms AERON würde einem solchen Wunsch Folge leisten.

4.2.5 5. Versuchsperson

VP 5, ein 23-jähriger Mann, sprach nach der Eingewöhnungsphase von einem guten räumlichen Gefühl, welches durch die visuelle Darbietung der VR und der durch den Wind vermittelten Eindruck eines erweiterten Raumes zustande kam. Die VP war ebenfalls erfahren im Umgang mit in der Ego-Perspektive zu steuernden Spielen und bewegte sich sicher durch die Map.

Die Geräusche der Ventilatoren wurde als störend bewertet, die VP orientierte sich an diesen. Allerdings achtete sie nach dieser Feststellung verstärkt auf den Wind, und orientierte sich nach der gespürten Windrichtung.

⁴So könnten beispielsweise Flaggen der Windrichtung entsprechend flattern

Auch sie schaffte es bis zum Ziel. Sie hätte sich eine größere Map gewünscht, und mehr Experimente mit dem Wind an sich, sowie mehr Ventilatoren für die Aero-Cave Umgebung. So sagten der VP die verschiedenen Windstärken beim Wechsel der Geschwindigkeiten zu, jedoch beim Springen hätte der Wind von oben und unten kommen müssen.

„Minimalwind“ wurde wie bei der vorherigen VP angedacht, um den Realismus noch zu steigern. „Man bewegt sich und bekommt Wind ab“, stellte die VP fest und war über die Erweiterung der ihr bekannten, ursprünglichen CAVE begeistert. Der VP fehlte ebenfalls die vierte Wand, konnte sich aber mit der Situation anfreuden. „Erst wenn man was fühlen kann, wird etwas realistischer“, beschrieb die VP die mittels des Aero-Cave Systems gesteigerte Immersion.

4.2.6 6. Versuchsperson

Die sechste VP, ein 62-jähriger Mann, war der Erweiterung der CAVE ebenfalls zugetan. Die VP besaß Grundkenntnisse im Umgang mit Spielen, die mittels Ego-Perspektive gesteuert werden und kannte sich gut mit CAVE-Systemen aus. Daher wurde die Steuerungsmethode über Tastatur bedauert, lieber wäre der VP die Steuerung über eine Tanzmatte gewesen. Auch die fehlende Seite störte die VP etwas.

Die Wahrnehmung der verschiedenen Intensitätsstufen des Windes und die Einbeziehung der Haut als weiteren Kanal für die Vermischung mit der VR stellte die VP als besondere Eigenschaften der CAVE heraus.

Bei der Orientierung hatte sie jedoch Schwierigkeiten, brauchte eine der längsten Eingewöhnungsphasen, aber konnte sich am Ende doch dem Wind folgend orientieren. Als Grund für die lange Eingewöhnungszeit wurde angegeben, die Map sei unübersichtlich gewesen, und es war zunächst nicht ganz klar, wohin die VP gehen solle.

Aber nach dem Tipp, sie müsse öfter stehenbleiben, konnte die VP sich Stück für Stück in der Map zurechtfinden. Auffällig waren die Orientierungsversuche anhand visueller Merkmale und der Wunsch nach einem Ziel, auf das man zulaufen könne. Orientierung war in diesem Falle fest mit der Vorstellung von visuellen Wegweisern verbunden, die Grafik lenkte die VP ab, sie konzentrierte sich daher nicht sehr auf den Wind. Vielleicht wären hier die schon von VP 3 vorgeschlagenen Interaktionen der WindTrigger mit Mapobjekten, wie Fahnen o.ä. eine hilfreiche visuelle Orientierungshilfe.

4.2.7 7. Versuchsperson

VP 7, ein 32 jähriger Mann, der sich bestens mit CAVE-Systemen und Ego-Shootern auskannte und sich schnell an den Bewegungs- und Ortswind gewöhnte, verlangte ebenfalls wie VP 3 nach mehr Wind und würde größere Ventilatoren bevorzugen, um einen größeren Bereich für die sensorische Wahrnehmung des Windes zu gewinnen. Die Windrichtungen konnten gut erkannt werden. Die Orientierung war recht problemlos und wurde bei einem zweiten Durchlauf mit geschlossenen Augen erneut getestet. Die VP kam langsamer als beim ersten Mal zum Ziel, fand dieses aber problemlos.

Die VP bemerkte dabei als einzige, dass Wind auch dann wehte, wenn die VP vor einer Wand stand und in Richtung dieser Wand lief, aber nicht von der Stelle kam. Dieser „Schönheitsfehler“ kann für einen realistischeren Bewegungswind durch eine Kollisionsabfrage behoben werden. Es wurden auch Geräusche gewünscht, beispielsweise bei der Kollision mit einer Wand, sowie Gehgeräusche im Allgemeinen.

Auch dieser VP war das Ziel nicht bewusst, besonders im zweiten Durchlauf bis zur Brücke fehlte ein Geräusch oder ein Ereignis, welches die Erfüllung der Aufgabe verkündete. Dies wurde durch den Versuchsleiter simuliert, er sagte jeder VP beim Erreichen der Brücke, dass nun das Ende des Experiments erreicht sei.

Der Wechsel der Windrichtung und die Navigation gefielen der VP, die Steuermethode ebenfalls, bis auf die Drehbarkeit des Stuhls beziehungsweise des nicht stationären Keyboards.

4.2.8 8. Versuchsperson

„Wenn man sich erst einmal daran gewöhnt hat, dann geht das“ beschrieb VP 8, eine 30-jährige Frau, die Steuerung und Orientierung innerhalb der Aero-Cave Umgebung. Die VP beobachtete an sich eine Sensibilisierung der Haut bei der Konzentration auf die gebotenen Sinneseindrücke. Dieses Feedback der Haut bei der Bewegung innerhalb der VR beeindruckte die VP.

Die Geräusche der Ventilatoren störten nicht, allerdings orientierte die VP sich zunächst visuell an den rotierenden Ventilatoren. Als dies dem Versuchsleiter auffiel, wurden die Ventilatoren genauer auf den Kopf der VP ausgerichtet. Die vorher als schwach wahrgenommenen Windströme der Seitenventilatoren wurden nun gleich stark wie die anderen Richtungen wahrgenommen. Diese Korrektur half der VP. Danach orientierte sie sich überwiegend anhand der gespürten Windrichtungen und fand die Brücke über den über die WindTrigger markierten Pfad.

Die VP gab an, Grundkenntnisse von Ego-Shootern zu besitzen und bewegte sich sicher durch die VR. Die Drehung auf dem Stuhl war allerdings auch ein Problem für diese VP, sie kam dabei mit den Tasten für die Steuerung durcheinander und

erwartete ebenfalls auf die ihr zugewandten Wand zuzulaufen, wenn sie die Taste für Vorwärts⁵ drückt.

Die Sitzposition war für die VP gemütlich, die Steuerung durch die Welt hat der VP Spass gemacht und sie war auch an den Ergebnissen des Experiments interessiert.

4.2.9 9. Versuchsperson

Die neunte VP, ein 60-jähriger Mann, war der Idee der mit Wind angereicherten CAVE ebenfalls zugetan. Die VP kannte sich gut mit CAVE-Systemen aus und bezeichnete das Aero-Cave System als eine sinnvolle Erweiterung. Die Erfahrung, die virtuelle Bewegung nun spürbar erfahren zu können, begeisterte die VP.

In der Eingewöhnungsphase, die auch etwas mehr Zeit benötigte, bemerkte die VP, dass sie sich von den Bildern lösen müsse, um sich besser auf den Wind zu konzentrieren. Dies gelang auch nach einiger Zeit, in der sich die VP an die Steuerung gewöhnte und auch die verschiedenen Intensitätsstufen des Windes bei den unterschiedlichen Bewegungsformen bemerkte. Die Orientierung anhand des Windes funktionierte dann aber recht gut und die VP schloss das Experiment erfolgreich ab.

Die Drehung des Stuhls wurde auch von dieser VP als störend empfunden. Ebenso störten Hindernisse bei der Erkundung der Map, besonders nicht sichtbare Barrieren, die wegen der fehlenden Südwandprojektion nicht dargestellt wurden. Allerdings führte der Wind, zumindest in dem Teil der Map, welcher mit WindT-riggern ausgestattet war, die VP vorbei an größeren Hindernissen, so dass die VP zumindest einen Ausweg erspüren konnte.

Als Hilfsmittel für die Bestimmung der Windrichtung wurde von der VP der Finger einmal hochgehalten, um zu spüren, aus welcher Richtung der Wind kam. Der VP wäre auch ein Fähnchen für die Bestimmung lieb gewesen, ein visuelles Medium für die Orientierung scheint der VP gefehlt zu haben.

Die VP sah viele neue Ansätze, was mit einer solchen Umgebung erforscht und simuliert werden kann, und beschrieb einige Interaktionsmöglichkeiten, die in Kapitel 5.1.2 aufgenommen wurden.

4.2.10 10. Versuchsperson

Gleich zu Beginn wurden die Ventilatoren sehr genau bei VP 10 ausgerichtet und ausgiebig die Windströme der einzelnen Ventilatoren getestet. Der 35-jährige

⁵Bewegung in Richtung Norden, vgl. Tabelle 2.1

Mann konnte sich mit in der Ego-Perspektive zu steuernden Spielen aus und lief in verschiedenen Geschwindigkeiten, die der VP auch als natürlich vorkamen.

Der VP fielen die unnatürlichen Geräusche der Wind erzeugenden Ventilatoren auf, und hätte die Ventilatoren am liebsten nicht sicht- und hörbar, um den Wind noch ähnlicher der Natur zu simulieren. Zur Vermeidung von Motorgeräuschen besteht die Möglichkeit, die Ventilatoren größer zu dimensionieren, um mit einer geringeren Umdrehungszahl das Geräusch zu mindern, welches bei hohen Drehzahlen der Motoren zwangsläufig entsteht. Antischall⁶ könnte sich ebenfalls für die Geräuschminderung der Ventilatoren eignen.

Wie VP 9 wünschte die VP sich eine größere Anzahl von Ventilatoren oder solche, die beweglich sind und so mehr Windrichtungen ermöglichen. Versteckte Ventilatoren könnten nur mit größeren Luftwegen und längeren Verzögerungszeiten realisiert werden, was gegen den erhofften Zuwachs an Natürlichkeit wirkt.

Die VP konnte sich gut an den Windströmen orientieren und gelangte unbeschadet ans Ziel, der Brücke. Das Level sagte der VP zu, ebenfalls der gespürte Wind, den die VP die VR natürlicher erschienen ließ.

4.2.11 11. Versuchsperson

Die elfte VP, ein 37-jähriger Mann mit Erfahrungen mit CAVE-Systemen und deren Steuerung, bedauerte auch die Steuerung ohne die Tanzmatte, fand die Sitzposition aber gemütlich. Aufgrund der höheren Temperaturen an diesem Tag empfand die VP den Wind als besonders angenehm, und bemerkte eine bessere Wahrnehmung der Windrichtung durch etwas verschwitzte Haut. Nach der Eingewöhnungsphase, in der die VP sich zunächst wie gewohnt visuell orientierte und die Steuerung kennenlernte, achtete sie auf die Windrichtungen und folgte dem Windpfad. Akustisch wurden die Ventilatoren als weniger störend empfunden. Die VP gab an, sie für die Orientierung nicht benutzt zu haben und sensibler für die Windrichtungen gewesen zu sein.

Die Sitzposition und die Tastatur wurde auf Anraten des Versuchsleiters nicht gedreht. Anstatt dessen sollte der Kopf den Wänden zugewandt. Diese Orientierung gefiel der VP, da nicht wie üblich die VR im PC gedreht wird, sondern die reale Kopfbewegung das gewünschte Ergebnis lieferte. Die Nutzung realer Bewegung für die Orientierung innerhalb einer VR, welche in einer VE ermöglicht wird, sieht die VP als großen Vorteil. „Die Erfahrung ist viel realer“, meinte die VP und sei schwer vergleichbar mit einem normalen System.

Bei der Orientierung über die Windrichtungen half der VP der Tipp, sich auf

⁶Über destruktive Interferenz der Schallwelle des Motorgeräusches und einer 180° phasengedrehten Schallwelle dieses Geräusches (über Mikrofone aufgenommen und phasengedreht über Lautsprecher wieder ausgegeben) wird die Geräuschquelle leiser bis stumm.

den Ortswind zu konzentrieren, den man besonders im Stehen gut spüren kann. Die VP fand dann den Weg zum Ziel und fragte nach Erreichen der Brücke, was passiert wäre, wenn sie rückwärts in den nun sichtbaren Fluss gefallen wäre. Ohne die Orientierung am Windpfad wäre sie sicherlich hereingefallen, bemerkte die VP abschließend.

4.2.12 12. Versuchsperson

VP 12, ein 58-jähriger Mann, fehlten — schon vom Versuchsleiter aufgrund der Erfahrungen mit VP 6 und 9 angenommen — die visuellen Hinweise für die Orientierung. Er gab an, den Wind nicht so stark zu spüren, die Ventilatoren waren aber kontrolliert worden und gut ausgerichtet. Die VP ging und lief nicht durch die Map, gesprungen ist sie trotz Kenntnis der Sprungtaste nur am Anfang und bewegte sich eher langsamer durch die Map. Die Richtungen konnte die VP gut unterscheiden, nach der Eingewöhnungsphase klappte die Orientierung bis zu einem gewissen Grad. Sah die VP etwas von Interesse, ging sie darauf zu, begutachtete es und wollte die VR näher erkunden. Der Versuchsleiter musste ein paar Mal auf das Experiment hinweisen.

Die VP konnte die verschiedenen Windintensitäten voneinander unterscheiden, orientierte sich anhand der Windrichtungen und teilweise visuell an den drehenden Ventilatoren. Sie suchte ein visuelles Ziel, auf welches sie zugehen konnte, war aber durch die fehlende Südwand irritiert und durch die dargebotenen visuellen Reize auf den anderen Wänden leicht ablenkbar. Die Richtung sei ungewohnt für die Orientierung, so die VP.

Auch die, durch einen etwas leistungsschwächeren PC verursachte, nicht ganz flüssige Darstellung der Ostwand wurde nur von dieser VP bemerkt und als störend empfunden. Das Ruckeln hielt sich aber in Grenzen, allgemein wurde die Grafik den Systemspezifikationen des schwächsten PCs angeglichen, die Grafik hätte noch um einiges durch Optionen im Spiel verbessert werden können. Stünden leistungstärkere PCs als ein 1,1 GHz Rechner mit einer Powercolor Radeon 7000 Grafikkarte zur Verfügung, könnten die Grafikdetails und die Auflösungen verbessert werden.

Die VP empfand das System sowie den Versuch als interessant und konnte sich vorstellen, damit mehr zu forschen. Besonders die Technik im Hintergrund interessierte die VP und berichtete von anderen Grafikengines, die im Vergleich zu der gewählten Engine viel Zeit beanspruchen, um Ergebnisse zu liefern.

4.2.13 13. Versuchsperson

Die einzige VP, die es geschafft hat in den Fluss zu fallen, war eine 25-jährige Frau, die in der Eingewöhnungsphase durch sehr gute Ego-Shooterkenntnisse zunächst

nicht dem Wind folgte, sondern einfach in eine Richtung rannte und dabei zunächst nur den Bewegungswind spüren wollte. VP 13 ist dabei nichtsahnend in den Fluss gesprungen und startete danach wieder am Ausgangspunkt, dem Brunnen im Nordwesten. Nun folgte sie, dem Wunsch des Versuchsleiters entsprechend, den Ortswinden und konnte sich gut daran orientieren.

Die VP hatte lange Haare, die sie offen trug und wie bei den anderen VP mit langen Haaren von einer geringeren Sensibilität für den aus südlichen Richtungen kommenden Windströmen sprach. Ihr gefiel deshalb auch nicht die starre Haltung im Stuhl und hätte eine Steuerung mittels Tanzmatte und vier Wänden natürlicher gefunden. Sie verglich die Situation mit Baggerfahren oder dem fliegenden Teppich aus dem MiCarpet Projekt. Die VP kannte die Tanzmatte schon aus dem Projekt MiCasa und fand die Sitzposition unnatürlich.

Die Geräusche der Ventilatoren wurden als störend empfunden, die Windstufen wurden über die verschiedenen Geschwindigkeitsgeräusche der Motoren wahrgenommen, allerdings primär über den Windeindruck. Die Verzögerung fiel zwar auf, aber wurde nicht als störend eingestuft. Eine flatternde Fahne in der Map wurde auf die Windwirkung beobachtet, die VP hätte eine Interaktion der Wind-Trigger mit Objekten in der Map gut gefunden.

Bei dem zweiten Anlauf gelang die Orientierung problemlos. Die VP erreichte das Ziel in kurzer Zeit. Die VP hätte sich die Projektion der Wände von aussen, vier Seiten und die Tanzmatte gewünscht, sie kannte den ursprünglichen CAVE, und meinte, diese Faktoren würden die Orientierung nochmals verbessern.

4.2.14 14. Versuchsperson

Die letzte Versuchsperson, ein 27-jähriger Mann, war ein Experte in Ego-Shootern und brauchte so gut wie keine Eingewöhnungsphase für die Steuerung und die Orientierung nach dem Wind. Der VP gefiel die Idee eines fühlbaren Feedbacks und erfüllte relativ schnell den richtigen Weg. Die VP war die schnellste VP von allen und beendete die Aufgabe in sehr kurzer Zeit.

Die Verzögerung des Windes wurde bei der Orientierung als hinderlich empfunden, da die VP sich sehr schnell durch die Map bewegte und häufiger sprang, als alle anderen. Das Windgefühl wurde vorne als besser beschrieben, die VP hätte sich gerne dem Wind zudrehen können. So war die rückwärtige Navigation gewöhnungsbedürftig und auch teilweise durch auditives Orten der laufenden Ventilatoren bestimmt. Die fehlende Projektion der Südwand hat die VP als Steigerung für die Navigation nach der gespürten Windrichtung empfunden, da die visuelle Orientierung nicht möglich war.

Die verschiedenen Windstärken bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten wurden deutlich gespürt. Springen — welches die höchste Windstufe auslöst — gefiel der VP besonders.

Der Aufbau als dreiseitigen CAVE mit Innenprojektion wurde von der VP, die ebenfalls die ursprüngliche Version der CAVE kannte, für die örtlichen Gegebenheiten als eine gute Lösung empfunden.

Auch die Steuerung im Sitzen, bedingt durch die Innenprojektion, fand die VP in Ordnung. Die Sitzposition kam sogar dem Spielerempfinden der VP entgegen und wünschte sich eine solche Installation bei sich zu Hause.

5 Auswertung der experimentellen Ergebnisse

Die VP haben Schwächen und Stärken des Systems aufgedeckt, auf die in diesem Kapitel näher eingegangen werden soll. Auch haben sie interessante Anwendungsbereiche für eine mit Wind angereicherte Umgebung gegeben, die hier dargestellt werden sollen.

5.1 Ideen und Verbesserungsvorschläge

5.1.1 Aus Gesprächen mit Versuchspersonen

Viele Versuchspersonen haben interessante Verbesserungsvorschläge gemacht und gaben nützliche Tipps für weitere Experimente. Es entstanden Ideen rund um den Aero-Cave, für mögliche Einsatzorte und Spiele.

VP 2 kam die Idee von einer Rakete, die durch den Raum an der VP vorbeifliegt, und heißer Wind die Flugbahn für die VP spürbar macht. Eine ähnliche, auf bewegte WindTrigger basierende Idee stellt ein fahrender Zug dar, dessen Fahrtwind eine in der Nähe der Bahngleise stehende Person spüren kann.

VP 3 wünschte sich Schneeflocken, die mit dem Wind fortgeweht werden. Wettereffekte sind in UT2003 verfügbar, diese müssten jedoch für die Interaktion mit den WindTriggern modifiziert werden. Innerhalb des von der CAVE eingeschlossenen, mit Wind angereicherten Raumes könnten richtige Schneeflocken oder ähnliches durch die von den Ventilatoren verursachten Windströme aufgewirbelt werden.

Für ein Spiel kam der VP die Idee, Pfeil und Bogen zu realisieren, wobei der Pfeil durch die Windgegebenheiten in der Map abgelenkt werden würde. Allgemein sollte für eine zukünftige Anwendung mehr Interaktion mit dem Wind geschehen, um die Immersion zu verstärken.

Dieser Wunsch wurde auch von VP 4 geäußert, sie wünschte sich Blätter und Blätterrauschen, welches durch den Wind ausgelöst wird, Wolken, die am Himmel ihr Bahnen ziehen, Sand, der aufgewirbelt wird und beschrieb sehr detailverliebt ihre Vorstellung von einer mit Wind angereicherten Umgebung.

VP 6 stellte sich vor, die Erweiterung mit Düften anzureichern und das Erleben der VR innerhalb der Aero-Cave noch zu verbessern. So wurde ein Waldgeruch für die Map vorgeschlagen, die am Fluss dann in typische Gerüche eines Flusses wechseln.

„Tierchen“ wünschte sich VP 8, um die Welt etwas mit Leben zu füllen. NPCs sind ein gutes Mittel, um die Umgebung natürlicher wirken zu lassen. Kleine Vögel am Himmel und auf Bäumen, Fische im Wasser, grasende Kühe und Insekten würden die Testmap natürlicher erscheinen lassen.

VP 9 wünschte sich mehr Ventilatoren, die Simulation von Wetterphänomenen, wie Schnee und Nebel, sowie Blätter, präsentiert in einer Kunstinstallation, in der diese von oben herunterfallen, und den Besucher in eine künstlich erschaffene Umwelt einhüllen. Die VP nannte Ideen von verschiedenen Trainingsumgebungen, die mittels der Aero-Cave Umgebung realisiert werden könnten. Für Bogenschießen, Golf und Segeln bietet sich ein solches System an, da dort die Windrichtungen und -stärken ebenfalls eine Rolle spielen.

Die Idee für ein Windsystem mit beweglichen Ventilatoren wurde im Gespräch mit VP 10 entwickelt. Dabei kreisen je nach Windrichtungen Ventilatoren um die VP, ein eher aufwendiges Projekt.

VP 14 konnte sich die Installation zu Hause vorstellen, die Erweiterung der Virtualität gefiel ihr sehr und spekulierte über weitere Möglichkeiten für die Vermischung der Virtualität mit der Realität. Hologrammtechnik oder dreidimensionale Darstellung der Wände wäre eine Möglichkeit, die VE noch immersiver zu gestalten. Mit den richtigen Beamern und Shutterbrillen ist die dreidimensionale Darstellung denkbar, die Erweiterung würde sicherlich die Orientierung positiv beeinflussen, da die Tiefenwahrnehmung so noch natürlicher wird.

Die hier geäußerten Spielideen sind teilweise für eine kommerzielle Nutzung geeignet, für Freizeit- oder Themenparks, große Spielhallen und teilweise auch als Kunstplattform. Die Vielfalt der Einfälle ist beeindruckend und vielleicht wird die eine oder andere Anwendung mit virtuellem Wind realisiert oder angereichert.

5.1.2 Bei der Arbeit

Bei der Arbeit an dem Aero-Cave System wurden Technologien auf mögliche Verwendung für die Verbesserung der Orientierung untersucht. Eines der im Kapitel 2.4.2 vorgestellten Systeme wäre bei der Erforschung der Auswirkungen auf die Orientierung hilfreich und spannend gewesen, da die Erstellung von kognitiven Karten ein ganzheitlicher Prozess ist.

Wie weit die Orientierung über durch simulierten Wind erzeugte kognitive Karten erfolgen kann, könnte durch eine über den Aero-Cave virtuell nachgebildete, reale Situation näher erforscht werden. Die so erlernte kognitive Karte könnte dann in

der realen Umgebung getestet werden, was einen etwas aufwendigeren Versuch erfordern würde.

Der Vergleich zwischen einer Gruppe mit eingeschaltetem und einer Kontrollgruppe mit deaktiviertem Windsystem und der genauen Auswertung von den später gezeichneten Karten und genommenen Wegen könnte aufschlussreich sein. Interessant wäre auch die Orientierung von blinden mit der von sehenden VP für einen Vergleich zu untersuchen, ähnlich wie VP 7 mit geschlossenen Augen nur dem Wind folgte.

Die Testsituation könnte in einigen Punkten noch verbessert werden. Die Tastatur müsste fest verankert, vielleicht Teil eines nicht drehbaren Stuhls sein, um eine adäquate Lösung für die Situation in einer dreiseitigen CAVE mit Innenprojektion darzustellen. Vorzuziehen ist nach der Meinung des Autors aber immer noch eine von außen projizierte, vierseitige CAVE, die per Tanzmatte gesteuert wird.

Natürliche Windgeräusche mittels Sounds, die ebenfalls über den Editor in der Map plaziert werden können, sind als Verbesserung denkbar. Die Einbeziehung von Sound ist sehr leicht möglich, es hätten lediglich genügend Boxen mit den nötigen Verlängerungskabeln an die jeweiligen projizierenden Rechner und an der CAVE angeschlossen werden müssen.

Das Windsystem ist generell noch ausbaufähig. Mehr Ventilatoren in verschiedenen Höhen oder größere Durchmesser der Propeller könnten die Wahrnehmung des Windes positiv beeinflussen. Das Geräusch der Ventilatoren würde somit geringer werden. Die Orientierung würde ebenfalls davon profitieren, besonders bei den VP mit längeren Haaren wäre etwas mehr Luft an mehreren Stellen des Körpers willkommen gewesen.

5.2 Orientierung

Für die Orientierung spielten die Grundkenntnisse im Bereich 3D-Spiele eine wichtige Rolle. Ist eine VP in dieser Art von Spielen, besonders in Ego-Shootern wie QUAKE, HALF-LIFE oder dergleichen geübt, fällt ihr die Orientierung innerhalb der VR oftmals leichter. Zum einen sind die Bewegungen nicht so zaghaft, zum anderen werden die verschiedenen Stufen der Windgeschwindigkeiten beim Gehen, Laufen und Springen intensiver erfahren. Das Training in diesem Feld lässt mehr Spielraum für die Orientierung anhand der Windrichtungen, da die Umsetzung der Steuerung meist schon nicht mehr bewusst geschieht. Für andere Sinnesindrücke steht dadurch mehr Aufmerksamkeit zur Verfügung. Muss die VP sich aber erst auf die Steuerung konzentrieren, ist die Aufmerksamkeit der VP eher auf die Grafik, die Tastatur und die Bewegung innerhalb der Map gerichtet.

Aber auch ein übermäßiges Training mit normalen Desktop-Systemen führt zu

einer Gewöhnung an die Verhältnisse in Spielen und deren Steuerungsmethoden. So waren die Blicke eines Großteils der VP und Besucher¹ auf die Nordwand fixiert und schauten nur selten nach links und rechts auf die West- beziehungsweise Ostwand. Dieses Verhalten war sehr auffällig, erst nach dem Hinweis, der Kopf könne auch gedreht werden, wurden die anderen Wände der CAVE-Installation wahrgenommen und in die Orientierung mit einbezogen. Forderungen nach einer drehbaren Weltansicht stammen anscheinend aus der Gewöhnung an die Steuerung mittels der Kombination aus Tastatur & Maus, die eine 360° Rundumsicht mit nur einem Monitor erlaubt. Die Sitzposition hat sicherlich dazu beigetragen sich in die Situation von normalen Ego-Shootern versetzt zu fühlen. Die Einschränkung auf drei Wände verstärkte noch zusehens den Wunsch nach Drehung, sei sie virtueller Natur, real ausgeführt auf einer Tanzmatte oder unter Zuhilfenahme des Drehstuhls der VP. Viele VP schilderten, dass es ungewöhnlich sei rückwärts zu laufen, was durch die Situation im Experiment zwingend erforderlich war, da die WindTrigger die VP zunächst in Richtung Süden führten. Diese Einschränkung führte jedoch zu einer erhöhten Aufmerksamkeit und Sensibilisierung für die Windrichtungen, die aus südlicher Richtung kamen. Als dann kurz vor der Flussfalle die Windrichtung von Süden auf Osten wechselte, sind alle VP dem Wind folgend und ohne visuelle Hilfe² bis zur Brücke gelaufen. Das Experiment war danach beendet und die VP beantworteten in den Interviews die Fragen des Versuchsleiters.

Diese starke Orientierung anhand der Windrichtungen nach so kurzer Zeit ist ein interessantes Ergebnis und sollte in weiteren Versuchen genauer erforscht werden. Besonders die Verbesserungsvorschläge für das durchgeführte Experiment und Ideen für weiterführende Experimente bieten hierfür eine gute Grundlage für die Erforschung neuer Technologien für die Vermischung der VR mit der Realität.

Die Orientierung wurde nach der Eingewöhnungsphase besonders durch die in der Map platzierten WindTrigger beeinflusst. Die Immersion wurde durch die verschiedenen Intensitäten des Windes erhöht, was ebenfalls positiv auf das Raumgefühl wirkte. Die Simulation einer virtuellen Umgebung innerhalb der Aero-Cave erleichtert allem Anschein nach die Erstellung von kognitiven Karten. Auf Anfrage zeichneten ein paar VP, etwa einen Monat nach dem Experiment, eine kleine Karte des Weges, wie sie ihn in Erinnerung hatten. Diese Skizzen weisen Ähnlichkeiten mit Abbildung 3.25 auf und zeigen in etwa den Weg, den diese VP wählten. Abbildung 5.1 zeigt die Karten dreier VP.

Die VP haben nach dem Experiment nicht die Anweisung bekommen, sich den Weg zu merken. Als sie danach gefragt wurden, waren sie überrascht, konnten sich aber von grob (I) bis sehr gut (III) an den Weg erinnern. Für genauere Un-

¹Neben den interviewten VP gab es noch etwa 10 weitere ‚Besucher‘, allesamt mittleren Alters und eher ungeübte Spieler

²Der Fluss wurde meist erst wahrgenommen, als die VP auf der Brücke angelangt war und dieser sichtbarer auf den West- und Ostwänden ins Blickfeld der Person rückte

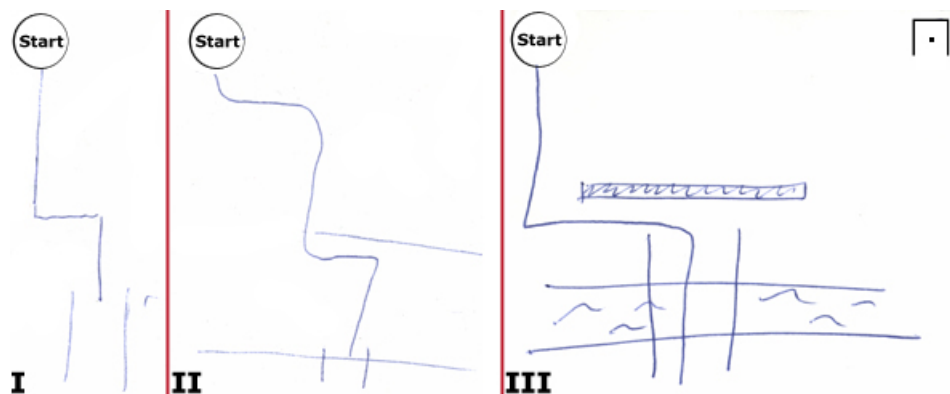


Abbildung 5.1: **Karten von 3 VP**
Einen Monat nach dem Experiment gezeichnet

tersuchungen hätten die eingeschlagenen Wege der VP während des Experiments aufgezeichnet und mit den Karten nach bestimmten Zeitintervallen verglichen werden müssen.

Unterschiede zwischen der Orientierung von Männern und Frauen konnten keine festgestellt werden. Lediglich in Abhängigkeit von der Frisur läßt Unterschiede in den Orientierung aufzeigen. Längere, den Nacken schützende Haare stellten sich in der Sitzposition als kleiner Nachteil heraus. Durch Drehen des Kopfes wird dieses aber ausgeglichen.

Je älter die Personen waren, desto stärker wurde versucht, durch visuelle Informationen den Weg zu finden. Die Konzentration auf den Wind war nicht so stark, wie bei den jüngeren VP. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte die Gewöhnung an die visuelle Orientierung im Laufe des Lebens sein.

Die Möglichkeiten für die Wahrnehmungsforschung sind gerade durch VEs gewachsen, da die Kontrolle über einen Versuchsaufbau gestiegen ist. Ein Versuch kann den Wünschen des Versuchsleiters entsprechend angepasst und Situationen nachgestellt werden, die einen bestimmten Aspekt besonders gut herausstellen. Die durch diese Diplomarbeit entstandenen Ideen für Experimente und Verbesserungen zeigen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Aero-Cave Umgebung.

6 Zusammenfassung

Die Versuche zeigten, welche möglichen Verbesserungen an dem System zur Steigerung der Orientierung noch möglich sind. Zum einen wäre ein CAVE-System, welches eine Rundumprojektion und die uneingeschränkte Bewegung in alle Richtungen¹ gewährleistet, für die Orientierung über den visuellen und vestibulären² Sinn besser geeignet, als das präsenste. Zum anderen sind Verbesserungen der Winderzeugung und Positionierung der Ventilatoren für die Wahrnehmung des Windes denkbar, um die VE soweit zu verbessern, dass virtuelle Erkundungen intuitiver erlebt werden und die Orientierung innerhalb einer solchen VE größere Ähnlichkeit mit der Orientierung der realen Welt bekommt.

Das gesamte System hat deutliche Auswirkungen auf die Orientierung der VP gezeigt und diese erweitert. Einsatzszenarien für den Aero-Cave konzentrieren sich aber nicht nur auf die Verbesserung der Orientierung. Generell wurde der Einfluss von Wind auf die Vermischung von virtueller und realer Welt erforscht. Als Ergebnis dieser Diplomarbeit ist ein modulares Interfacesystem entstanden, welches über UDP-Steuerung aus einer Spielengine angesprochen wird. Um virtuellen Wind wurde die Spielengine von UT2003 erweitert und die Bewegung innerhalb einer VR spürbar gemacht.

Die Wahl der Engine stellte sich als gute Entscheidung für die Umsetzung der Idee heraus. Die relativ unkomplizierte Erstellung von Maps, der mächtige Editor und die objektorientierte und leicht erweiterbare Skriptsprache überzeugten bei der Realisierung der Idee und halfen bei der Vermischung der realen mit der virtuellen Realität.

Die Programmierung von AERON stellte sich durch die DLL und die gute Programmierumgebung von `wx-Devcpp` als problemlos heraus. Nach Einübung in die Software wurde das GUI schnell programmiert. Die Kommunikation über die UDP-Schnittstelle zu UT2003 stellte sich als angemessene Lösung heraus, vorzugsweise wäre die Anbindung und die Programmierung aber über eine einzubindende DLL geschehen, was jedoch nur lizenzierten UT2003 Entwicklern vorbehalten ist.

Die Interfaces wurde kostengünstig, aber mit viel Arbeitsaufwand angefertigt. Bei der Umsetzung eines größeren Projekts sollten USB-Interfacekarten oder ähnliche, zukunftsichere Interfaces benutzt werden.

¹Realisiert beispielsweise über eine Tanzmatte oder die in Kapitel 2.4.2 vorgestellten Laufbänder

²Gleichgewichtssinn, Wahrnehmung der Lage relativ zur Schwerkraft, vgl. (14, S. 499 ff.)

Die vielen Verbesserungsvorschläge und Ideen waren inspirierend und zeigen, wie viele Ideen für eine simulierte Umgebung entstehen können, wenn man sich näher mit VE, VR und Mixed Reality beschäftigt.

6.1 Zukunft & Chancen

„However, the most challenging and important aspects of VR lie in the ability of the medium to create realities that are different than the ‚true‘ realities experienced or known by the users. VR is based on technologies that will ultimately be able to re-create any environment down to the smallest detail by rendering that environment into computer-controlled images and machine-induced sensations.“

(Palmer,1995) (48, S. 293)

Die von Palmer angedachten Fähigkeiten von VR werden vorraussichtlich noch lange Zeit benötigen, um den hohen Ansprüchen an eine VE zu genügen. Vielleicht sind wir erst mit der Entwicklung eines Holodecks oder einer Matrix zufrieden gestellt. Hoffnungen bezüglich der VEs sind allerdings begründet, sie wird sich in den nächsten Jahrzehnten den Weg dank Techniken, wie OLED und Bilderkennungsprogrammen vielleicht sogar bis in unsere Wohnungen bahnen, so die Hoffnung des Autors. OLED-Wandbildschirme, die einen kompletten Raum in eine zimmergroße CAVE verwandeln können, ohne aufwendige Projektionssysteme im Hintergrund sind eine Möglichkeit, um die Bildwiedergabe umzusetzen. Bilderkennungssysteme könnten in Zukunft reale Objekte in diesem Raum erkennen und mit ihnen interagieren (Spiegelung von Objekten der Realität in Gegenständen in der VR, Bewegung des Menschen als Eingabe für das System, Feedback durch Windbewegungen, Vibrationen, Klimageneratoren, ...).

Lischka hat mit seinem Buch über den „Spielplatz Computer“ die Entwicklung des Computerspiels vom Text-Adventure bis hin zu den Spielen im Jahre 2001 behandelt. Dabei wird die Rolle des Spiels in unserer Gesellschaft beleuchtet, sowie ein kleiner Ausblick auf die Zukunft des Spiels geworfen. Aus diesem von Peter Molineux³ stammenden Ausblick stammt folgendes Zitat:

„Wir müssen eine Schnittstelle finden, die zum Beispiel zu einem Rollenspiel so gut passt wie ein Lenkrad zu einer Rennsimulation.[...]Wir werden alle in die hyperrealen Spiele der Zukunft eintauchen wollen, und es wird sehr interessant sein zu beobachten, wie wir das tun. Eines weiß ich auf jeden Fall: Wenn wir es jetzt träumen können, werden wir es in der Zukunft Wirklichkeit werden lassen.“

(Peter Molineux, 2001) (30, S. 148)

³Spieledesigner, bekannt durch Titel wie „Black&White“ und „Fable“

Die hier vorgestellte Anwendung eines Aero-CAVE Systems dient als Vorschmack auf die zukünftigen Einsatzmöglichkeiten der VR. Das immersive System ist für das Erleben der neuen sensorischen Erfahrung geeignet, und hat — richtig eingesetzt — Auswirkungen auf das Verhalten von VP innerhalb einer solchen Umgebung. Die Auswirkung auf die Orientierung, hier mittels virtueller und schließlich real gefühlter Wegmarken, ist im Experiment als vorhanden nachgewiesen worden. Das gesamte System ist von den VP mit Vorkenntnissen über die Basisversion der Aero-Cave Umgebung realistischer wahrgenommen worden und trägt auf diese Weise vielleicht ein kleines Stück zur allmählichen Verbesserung von immersiven virtuellen Umgebungen bei.

Anhang

Kostenauflistung

Anzahl und Posten		Einzel	Gesamt
1	Widerstand, 0,25W, 330 Ω	1,00 Eur	1,00 Eur
1	Widerstand, 0,25W, 10k Ω	1,00 Eur	1,00 Eur
1	Widerstand, 0,25W, 22k Ω	1,00 Eur	1,00 Eur
1	Widerstand, 0,25W, 470 Ω	1,00 Eur	1,00 Eur
1	1N4002, 10 Stück	0,15 Eur	0,15 Eur
4	BC547, 10 Stück	0,45 Eur	1,80 Eur
8	Gleichstrommotor Mabuchi FS-390PH	1,20 Eur	9,60 Eur
5	Computer-Taster „Reset“, Länge 300mm	0,15 Eur	0,75 Eur
2	Sub-D-Verbindungskabel, 25-polig,	0,95 Eur	1,90 Eur
2	Punktrasterplatine 160 x 100 mm	1,65 Eur	3,30 Eur
10	IC-Fassung, 18-polig	0,10 Eur	1,00 Eur
4	Stiftleiste, 36-polig, gerade,	0,25 Eur	1,00 Eur
5	Kunststoffgehäuse hellgrau	0,45 Eur	2,25 Eur
5	PC-Stromversorgungsadapter	0,45 Eur	2,25 Eur
8	Hochlast-Widerstand, 6,8 Ω , 7W	0,25 Eur	2,00 Eur
8	Hochlast-Widerstand, 2,2 Ω , 10W	0,25 Eur	2,00 Eur
8	Hochlast-Widerstand 4,7 Ω , 7W radial	0,20 Eur	1,60 Eur
32	Relais Matsushita JSM1A-9-5, 9V,	0,20 Eur	6,40 Eur
12	Propeller	1,00 Eur	12,00 Eur
2	Versandkosten	4,00 Eur	8,00 Eur
			60 Eur

In der Tabelle sind die beim Bau der Interfaces verwendeten Materialien aufgelistet, von denen Rechnungen existieren. Kabel, Lötzinn, sonstiges Material und (ganz wichtig) Arbeitsstunden⁴ sind nicht inbegriffen.

⁴etliche, das Design, sowie der Windmaschinenbau waren sehr zeitintensiv

Systemvoraussetzungen

Die Systemvoraussetzungen für die projizierenden PC Systeme richten sich nach den Anforderungen von UT2003⁵ an die PC - Hardware, für höhere Grafikdetails und -effekte sollte mindestens ein Windows XP - System mit einem 2 GHz - Prozessor, einer Grafikkarte ähnlich leistungsstark wie eine Geforce 4400 und genügend Arbeitsspeicher (768 MB - 1 GB) zur Verfügung stehen. Die projizierenden Rechner müssen nicht unbedingt auch die Ventilatoren steuernden PCs sein, da die AERON Software über das Netzwerk mit dem Server kommuniziert. In der Theorie können acht PCs für vier Wände verwendet werden, einfacher ist es aber, die Steuerung von den die Seiten projizierenden Rechnern zu realisieren. Zur Steuerung wird unbedingt die parallele Schnittstelle benötigt, daher sind Laptops, die neuerdings auch schon ohne diesen Anschluss ausgeliefert werden, nicht geeignet. Da es sich um selber angefertigte Interfaces handelt, ist die Verwendung von parallelen Schnittstellenkarten zu empfehlen, wie bei allen Experimenten mit Schnittstellen am PC. Eine solche Karte ist einfacher zu ersetzen als ein Mainboard. Der Autor distanziert sich hiermit sicherheitshalber von jeglichen Schadensansprüchen, die bei der Verwendung der Interfaces an Hardware oder Mensch entstehen, so unwahrscheinlich dieser Fall auch erscheint.

Alle Rechner müssen über eine Netzwerkkarte verfügen, für den Aufbau des Netzwerkes wird ein Hub oder ein Switch benötigt, der für die UDP- und Spielekommunikation zwischen Server und Clients zwingend erforderlich ist.

Für die Steuerung des Spiels ist eine Tastatur respektive Tanzmatte am Server erforderlich. Die Stromzufuhr kann über die internen Netzteile von normalen Desktop-PCs oder mittels externer Netzteile mit 5 und 12 V Ausgang geschehen. Für eine Beschreibung der Anforderungen an die parallele Schnittstelle zum Betrieb der AERON Software wird hier auf Kapitel 3.2.3 verwiesen.

⁵Systemvoraussetzungen (minimum): Win98/ME/2000/XP, Pentium III oder AMD Athlon 733MHz (1.0 GHz bei Pentium 4 oder AMD), 128 MB RAM, 3GB Festplattenspeicher, 8x-CD ROM, Windows-kompatible Soundkarte, Windows-kompatible 3D Grafikkarte mit 16 MB VRAM (ab GeForce 2 / ATI Radeon) (DirectX-Version 8.1)

Installation

Die Installation der AERON Software ist einfach durchzuführen. Sie besteht aus einer ausführbaren Datei, die gestartet werden muss. Allerdings ist die `inpout32.dll` (siehe Kapitel 3.2.3) für die Ausführung nötig. Sie muss in das **System32** Verzeichnis von **Windows** kopiert werden, danach steht der Nutzung der parallelen Schnittstelle nichts mehr im Weg.

Etwas komplizierter ist die Konfiguration der UT2003 Installation. Die frische Installation sollte zunächst mittels Patch auf die neueste Version gebracht werden, Version 2225 war die aktuelle bei der Entwicklung des Systems. Nun wird zunächst der Inhalt des „Clients&Server“ Ordners von der beigelegten DVD über den Installationsordner kopiert, alle doppelten Dateien müssen überschrieben werden. Danach wird beim Server zusätzlich der Inhalt des Ordners „Server“ von der DVD in das UT2003 Verzeichnis des Servers kopiert, auch hier müssen die Dateien überschrieben werden.

Der Server muss zuerst gestartet werden. Er ist die Anlaufstelle für die Clients. Dazu wird unter „Host Multiplayer Game“ der „SahneGameType:Deathmatch“ eingestellt. Danach wird die Map SG-Canyon ausgewählt, unter dem Reiter „Mutators“ der Mutator „Cubecams“ aktiviert und das Spiel gestartet. Die übrigen Clients müssen danach unter „Play On-line/LAN“ und dem Reiter „LAN“ dem Server mittels „Spectate“ beitreten. „Join“ ist hier die falsche Option, da die Mitspieler nur als Kamera dienen und nicht eigenständig im Spiel agieren sollen. Nach Beitritt muss per linker Maustaste (Feuer) die Sicht auf den Spieler arretiert werden. Um für die Clients oder den Server die richtige Seite zu bestimmen, muss einmalig über das Konfigurationsmenü des Mutators Cubecams, welches über die Taste ‚F7‘ erreichbar ist, die entsprechende Seite ausgewählt werden. Sind alle Clients auf die richtige Seite und den richtigen Spieler eingestellt, ist für die Spielengine seitens UT2003 alles bereit. Nun muss noch das Steuerungsprogramm AERON auf allen Rechnern gestartet und die Verbindung mit dem Spiel aufgebaut werden. Dazu muss die IP des Servers, sowie der UDP-Port 8777 des Spiels angegeben und hier ebenfalls die Seite eingestellt werden. Treten hierbei keine Komplikationen auf, sind als letzter Schritt die Interfaces einzuschalten, und das System ist bereit. Der Spieler wird mittels Ziffernblock der Tastatur des Servers gesteuert.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Fliegender Teppich	2
1.2	Cybersphere	2
1.3	GT Legends	3
1.4	MotoGP URT 3	3
1.5	Hotel Kazakhstan	5
1.6	Comis	5
2.1	Half-Life-Charaktere	8
2.2	Doom3-Antagonist	8
2.3	3D-Visualisierung	10
2.4	virtuelle Augen-OP	10
2.5	Flugsimulator	12
2.6	3D-Shutterbrille	12
2.7	Telepräsenz	15
2.8	Immersion	15
2.9	Far Cry	16
2.10	Super Mario	16
2.11	Einordnung von Medien	17
2.12	Optimus - Tastaturstudie	19
2.13	Augenmuskelmessung	19
2.14	OLED-Displays	19
2.15	Panorama der Innenstadt von Edinburgh	20
2.16	MiCasas CAVE	21
2.17	Bespannung	21
2.18	Beameraufhängung	22
2.19	Spiegelkonstruktion	22
2.20	Augmented Reality	27
2.21	CirculaFloor	27
2.22	Omnidirektionales Laufband	28
2.23	Mixed Reality	29
2.24	Ventilator	29
2.25	Tanzmatte	30
2.26	Sitzposition	30

3.1	Florifant	31
3.2	Netzwerkarchitektur	31
3.3	CAVE-Aufsicht	35
3.4	CAVE-Schnitt	35
3.5	2. CAVE-Aufsicht	36
3.6	Ventilatoren	36
3.7	USB-Interface	37
3.8	Relaiskarte	38
3.9	Aero-Cave Interface	38
3.10	Parallelport	39
3.11	Interfacekonzept	39
3.12	Innenleben	40
3.13	Stromanschluss	40
3.14	RWE	41
3.15	Brücke	41
3.16	Widerstandskombinationen	42
3.17	Aeron	44
3.18	Zustände	45
3.19	Motor	45
3.20	Bewegungen	47
3.21	WindTrigger	47
3.22	Editor	49
3.23	Radien	49
3.24	3D-Ansicht, ohne und mit Radien	50
3.25	Mapausschnitt	50
5.1	Karten von 3 VP	69

Tabellenverzeichnis

2.1	Mapping	30
3.1	Spezifikationen	38
3.2	Anschlussbelegung	39
3.3	Widerstandswerte der Stufen 1-8	43
3.4	Technische Daten	43
3.5	Repräsentierung der Datenbits und Pins	44
3.6	Schwellenwerte und Einordnung der Stufen	47

Literaturverzeichnis

- [1] BIOCCA, Frank ; DELANEY, Ben: Immersive Virtual Reality Technology. In: BIOCCA, Frank (Hrsg.) ; LEVY, Mark R. (Hrsg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995, S. 57–124
- [2] BIOCCA, Frank ; KIM, Taeyong ; LEVY, Mark R.: The Vision of Virtual Reality. In: BIOCCA, Frank (Hrsg.) ; LEVY, Mark R. (Hrsg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995, S. 3–14
- [3] BIOCCA, Frank (Hrsg.) ; LEVY, Mark R. (Hrsg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995
- [4] BRAVE, Scott ; ISHII, Hiroshi ; DAHLEY, Andrew: Tangible interfaces for remote collaboration and communication. In: *CSCW '98: Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work*. New York, NY, USA : ACM Press, 1998, S. 169–178
- [5] BRUNS, F. Wilhelm: Lernen in Mixed Reality. In: ARBEITSGEMEINSCHAFT QUEM (Hrsg.): *Kompetenzentwicklung 2003*. Berlin : Waxmann Verlag GmbH, 2003, S. 71–112
- [6] BUDDEMEIER, Heinz ; IMDAHL, Max (Hrsg.) ; ISER, Wolfgang (Hrsg.) ; JAUSS, Hans R. (Hrsg.) ; PREISENDANZ, Wolfgan (Hrsg.) ; STRIEDTER, Juri (Hrsg.): *Panorama, Diorama, Photographie*. München : Wilhelm Fink Verlag, 1970
- [7] BURDEA, Grigore C.: *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*. New York, NY, USA : John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [8] CLARKE-WILLSON, Stephen: Applying Game Design to Virtual Environments. In: DODSWORTH, Clark (Hrsg.): *Digital Illusion: entertaining the future with high technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 1998, Kapitel 13, S. 229–239

- [9] CRUZ-NEIRA, Carolina ; SANDIN, Daniel J. ; DEFANTI, Thomas A. ; KENYON, Robert V. ; HART, John C.: The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. In: *Commun. ACM* 35 (1992), Nr. 6, S. 64–72
- [10] DARKEN, Rudolph P. ; COCKAYNE, William R. ; CARMEIN, David: The omni-directional treadmill: a locomotion device for virtual worlds. In: *UIST '97: Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 1997, S. 213–221
- [11] DOWNS, Roger M. ; STEA, David ; GEIPEL, Robert (Hrsg.): *Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen*. New York, USA : Harper & Row, 1982. – Aus dem Amerikan. übers. von Daniela und Erika Geipel
- [12] FERNANDES, Kiran J. ; RAJA, Vinesh ; EYRE, Julian: Cybersphere: the fully immersive spherical projection system. In: *Commun. ACM* 46 (2003), Nr. 9, S. 141–146
- [13] GÖBEL, Martin: Virtuelle Umgebungen in der industriellen Erprobung. In: WEDDE, Horst F. (Hrsg.): *Cyberspace, Virtual Reality: Fortschritt und Gefahr einer innovativen Technologie*. Stuttgart : Verlag Urachhaus GmbH, 1996, S. 53–103
- [14] GOLDSTEIN, E. Bruce ; RITTER, Manfred (Hrsg.): *Wahrnehmungspsychologie*. 2. dt. Aufl. Heidelberg, Berlin : Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 2002. – Aus dem Amerikan. übers. von Gabriele Herbst und Manfred Ritter
- [15] GRAU, Oliver: *Virtual Art: From Illusion to Immersion*. Cambridge, MA, USA : MIT Press, 2002. – Übersetzt von Gloria Custance
- [16] GRAU, Oliver: *Immersion und Interaktion: Vom Rundfresko zum interaktiven Bildraum*. 2004. – Online im Internet: URL: http://www.medienkunstnetz.de/themen/medienkunst_im_ueberblick/immersion/1/ [Stand 2005-09-14]
- [17] IOSONO GMBH: *IOSONO sound technology*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.iosono-sound.de> [Stand 2005-09-14]
- [18] ISHII, Hiroshi ; ULLMER, Brygg: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: *CHI '97: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1997, S. 234–241
- [19] IWATA, Hiroo: *Torus Treadmill*. 1999. – Video, Online im Internet: URL: http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/vrlab_web/torustreadmill/capture.mpg [Stand 2005-09-14]

- [20] IWATA, Hiroo: Walking About Virtual Environments on an Infinite Floor. In: *VR '99: Proceedings of the IEEE Virtual Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1999, S. 286–293
- [21] IWATA, Hiroo: *CirculaFloor*. 2004. – Video, Online im Internet: URL: http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/vrlab_web/CirculaFloor/circulafloor.mpg [Stand 2005-09-14]
- [22] IWATA, Hiroo ; YANO, Hiroaki ; FUKUSHIMA, Hiroyuki ; NOMA, Haruo: CirculaFloor. In: *IEEE Comput. Graph. Appl.* 25 (2005), Nr. 1, S. 64–67
- [23] KATHIRESAN, Guru: *wx-Devcpp*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://wxdsgn.sourceforge.net> [Stand 2005-09-14]
- [24] KRUEGER, Myron W.: *Artificial Reality (2nd ed.)*. Reading, MA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1991
- [25] KUAN, Wong Lai ; SAN, Chee Yam: Constructivist physics learning in an immersive, multi-user hot air balloon simulation program (iHABS). In: *GRAPH '03: Educators program from the 30th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 2003, S. 1–4
- [26] LANIER, Jaron ; BIOCCA, Frank: An Insider's View of the Future of Virtual Reality. In: *Journal of Communication* 42(4) (1992), S. 150–172
- [27] LAPLACE, Colin ; LAI, Hongli ; MANDRAVELLOS, Yiannis ; ET AL.: *Dev-C++*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://bloodshed.net/dev/index.html> [Stand 2005-09-14]
- [28] LAUREL, Chris: *3D Space Simulator Celestia*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.shatters.net/celestia/> [Stand 2005-09-14]
- [29] LEBEDEV, Artemis: *Art. Lebedev Studio: Optimus Keyboard*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.artlebedev.com/> [Stand 2005-09-14]
- [30] LISCHKA, Konrad: *Spielplatz Computer: Kultur, Geschichte und Ästhetik des Computerspiels*. Hannover : Heise, 2002
- [31] LOGIX4U: *Inpout32.dll*. Freeware, 2003. – Online im Internet: URL: <http://www.logix4u.net/inpout32.htm> [Stand 2005-09-14]
- [32] LORENZETTI, David: *COMIS: COMIS Multizone Air Flow Model*. 2003. – COMIS = Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists, Online im Internet: URL: <http://www-epb.lbl.gov/comis/> [Stand 2005-09-14]

- [33] MiCADO: *MiCaDo: mixed reality cave, Projektbericht*. Bremen : Bernd Robben, 2004. – Online im Internet: URL: <http://www.arteclab.uni-bremen.de/alp/Micado.pdf>
- [34] MiCARPET: *MiCarpet: Projektbericht*. Bremen : Dieter Müller, 2004. – Online im Internet: URL: <http://www.arteclab.uni-bremen.de/alp/Micarpet.pdf>
- [35] MICASA: *MiCasa: Entwicklung eines Mixed Reality Cave*. Bremen : F. Wilhelm Bruns, 2004. – Online im Internet: URL: <http://www.arteclab.uni-bremen.de/alp/Micasa.pdf>
- [36] MICROSOFT CORPORATION: *Microsoft Windows XP*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.microsoft.com> [Stand 2005-09-14]
- [37] MILGRAM, Paul ; KISHINO, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In: *IEICE Trans. Information Systems* E77-D (1994), Dezember, Nr. 12, S. 1321–1329. – Online im Internet: URL: http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html
- [38] MOORE, Gordon E.: Cramming more components onto integrated circuits. In: *Electronics* 38 (1965), 19 April, Nr. 8, S. 114–117
- [39] NINTENDO OF AMERICA: *Super Mario Bros. 3*. NES - Spielaufdruck, 1990
- [40] N.N.: *Bedienungsanleitung Quancam USBRel8*. 2004. – PDF Online im Internet: URL: http://www.quancam.de/qprod01/deu/files/manual_deutsch_usbrel8_usbopto8.pdf [Stand 2005-09-14]
- [41] N.N.: *Zentrum für Flugsimulation Berlin*. 2004. – Online im Internet: URL: <http://www.zfb-berlin.de> [Stand 2005-09-14]
- [42] N.N.: *artecLab*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.arteclab.uni-bremen.de> [Stand 2005-09-14]
- [43] N.N.: *GT Legends: World's finest classic car racing game*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.gt-legends.com> [Stand 2005-09-14]
- [44] N.N.: *Kunsthalle Bremen*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.kunsthalle-bremen.de> [Stand 2005-09-14]
- [45] N.N.: *Pollin Electronic Sonderliste*. Pförring : Pollin Electronic GmbH, 2005
- [46] N.N.: *Rauchgasexplosion*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rauchgasexplosion&oldid=8816489> [Stand 2005-09-14]

- [47] N.N.: *Statischer Auftrieb*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Auftrieb&oldid=9230251> [Stand 2005-09-14]
- [48] PALMER, Mark T.: Interpersonal Communication and Virtual Reality. In: BIOCCA, Frank (Hrsg.) ; LEVY, Mark R. (Hrsg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995, S. 277–299
- [49] PAPE, Dave: *Building Immersive Environments :: Applications*. 2001. – Online im Internet: URL: <http://resumbrae.com/info/mcn01/session2/> [Stand 2005-09-14]
- [50] PATZLAFF, Rainer: Cyberspace und die Ich- und Sinnesorganisation des Menschen. In: WEDDE, Horst F. (Hrsg.): *Cyberspace, Virtual Reality: Fortschritt und Gefahr einer innovativen Technologie*. Stuttgart : Verlag Urachhaus GmbH, 1996, S. 104–120
- [51] POSTEL, J.: User Datagram Protocol / The Internet Engineering Task Force (IETF). 1980 (768). – RFC. Online im Internet: URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt> [Stand 2005-09-14]
- [52] SCHMAUKS, Dagmar: *Orientierung im Raum. Zeichen für die Fortbewegung*. Tübingen : Stauffenburg Verlag, 2002
- [53] SHAPIRO, Michael A. ; McDONALD, Daniel G.: Judgements About Reality. In: BIOCCA, Frank (Hrsg.) ; LEVY, Mark R. (Hrsg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995, S. 323–345
- [54] SMART, Julian: *wxWidgets: Cross-Platform GUI Library*. 2005. – Online im Internet: URL: <http://www.wxwidgets.org> [Stand 2005-09-14]
- [55] STERNBACH, Rick ; OKUDA, Michael: *Die Technik der U.S.S. Enterprise*. Königswinter : Heel-Verlag GmbH, 1994
- [56] STEUER, Jonathan: Dimensions Determining Telepresence. In: BIOCCA, Frank (Hrsg.) ; LEVY, Mark R. (Hrsg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995, S. 33–56
- [57] VINCE, John: *Introduction to Virtual Reality*. Reading, Massachusetts, USA : Springer, 2004
- [58] VOGT, Felicitas: Wirklichkeit und virtuelle Welt - Suchtprävention und Cyberspace. In: WEDDE, Horst F. (Hrsg.): *Cyberspace, Virtual Reality:*

Fortschritt und Gefahr einer innovativen Technologie. Stuttgart : Verlag Urachhaus GmbH, 1996, S. 121–134

- [59] WOUTERS, Helge: *Schnittstellen.* Poing : Franzis-Verlag GmbH, 1998

DAS ARTECLAB:

bildet eine experimentelle Gruppe von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Künstlern. Wir analysieren und erproben formale und nicht-formale Methoden der Modellierung, Produktion und Simulation.

Wir konstruieren sensorisierte Computer-Umgebungen und erforschen neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion.

Wir experimentieren mit der Vermischung von realen und virtuellen Welten an der Grenze zwischen maschineller Funktion und menschlicher Phantasie.

Wir sind Grenzgänger auf den Gebieten Kunst, Arbeit und Technik: Art, Work and Technology.

Der Mixed Reality Ansatz eröffnet neue Sichtweisen.

Wir modellieren mit realen Gegenständen, die eine reiche sinnliche Erfahrung mit der Widerspenstigkeit realer Phänomene vermitteln.

Wir formen virtuelle Gegenstände, die vielfältige Übersetzungen zwischen konkreten und abstrakten Sichtweisen realisieren.

Wir bauen Schnittstellen und Interfaces, die komplexe Verhältnisse zwischen der realen Welt der physischen Gegenstände und der virtuellen Informationswelt erfahrbar machen.

Die Computer-Wissenschaften und ihre mathematischen Grundlagen haben eine eigene Ästhetik.

Wir verstehen Ästhetik als Balance zwischen sinnlicher Erfahrung und verstandesmäßiger Durchdringung der uns umgebenden Phänomene.

Wir haben das Ziel, eine spielerische Erfahrung der Mensch-Maschine-Beziehung zu ermöglichen - auch jenseits der Grenzen von Rationalität, Nützlichkeit oder Effizienz.

Wir verfolgen gleichzeitig einen partizipatorischen und sozial verpflichteten Ansatz.

ARTECLAB PAPER

1. Jörg Richard, F. Wilhelm Bruns, Mensch und Maschine im Spielraum - Technische Praxis und Ästhetische Erfahrung
2. F. Wilhelm Bruns, Hyperbonds - Applications and Challenges
3. Yong-Ho Yoo, Energy Interface for Mixed Reality Design
4. Micado, Projektbericht des studentischen Projekts micado zu Mixed Reality Caves
5. Micarpet, Projektbericht des studentischen Projekts micarpet zu Mixed Reality Caves
6. Micasa, Projektbericht des studentischen Projekts micasa zu Mixed Reality Caves
7. Bernd Robben, Ralf Streibl, Alfred Tews, Mixed Reality Adventures, Bericht vom Symposium im Kino 46
8. Sandra Budde, Carsten Fischer, Entwicklung des Autoradios: Vom Volksempfänger zum Bordcomputer
9. Daniel Pratsch, Der Aero-Cave – Wind zur Orientierung in virtuellen Welten
10. Theater in gemischten Welten, Projektbericht des studentischen Projekts themir
11. Jörg Richard, Grenzüberschreitungen – Kultur im Kontext//