

# Simulation und Virtuelle Realität

**Note: not all you see is an artifact**

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades eines  
Magister Artium der Philologie  
am  
Institut für Medienwissenschaften  
der Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Claus Pias (1. Gutachter)  
Prof. Dr. Franz R. Stuke (2. Gutachter)

Bochum, im Oktober 2004

Vorgelegt von:  
Hendrik von Boxberg  
Stühmeyerstraße 12  
44787 Bochum  
Tel.: 0234-7089889  
e-mail: hevobo@gmx.de  
Matrikelnummer: 108 098 20951 1

## Inhaltsverzeichnis

<b>0. Einführung.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Definitionen .....</b>	<b>8</b>
1.1. Modell	8
1.2. Simulation	10
1.2.1. Kurze Einführung in die Geschichte der Simulation	13
1.3. Visualisierung von Simulationen und technischen Daten	15
1.4. Virtuelle Realität	20
<b>2. Kurze Geschichte der Virtuellen Realität .....</b>	<b>25</b>
2.1. Technik-historische Grundlagen Anfang bis Mitte des 20. Jh.	26
2.2. Digitale Quantensprünge	31
2.3. Der erneute Aufschwung in den 80er Jahren	35
2.4. Zustand Anfang des 21. Jahrhundert	38
2.4.1. Überblick über technische Voraussetzungen von VR	38
2.4.2. Stand der Technik heute	44
<b>3. Aspekte der Wahrnehmung in VR .....</b>	<b>48</b>
3.1. Präsenz	48
3.2. Interaktivität	51
3.3. Bewegungssimulation	53
3.4. Simulatorschwindel	55
<b>4. Konstruktionen von Wirklichkeit .....</b>	<b>58</b>
4.1. Der Radikale Konstruktivismus als theoretischer Überbau	59
4.2. Realität, Wirklichkeit und Fiktion	60
4.3. Wirklichkeit und Simulation	63
4.4. Wirklichkeit und Virtualität	66
<b>5. Anwendungen von Virtueller Realität und Simulation.....</b>	<b>69</b>
5.1. Bereich Forschung – RWTH Aachen I	69
5.2. Bereich neurowissenschaftliche Forschung – RWTH Aachen II	74
5.3. Bereich Industrie – Deutsche Steinkohle AG, Herne	77
5.4. Bereich Militär – Rheinmetall Defence Electronics, Bremen	82
5.5. Bereich Kunst– Monika Fleischmann und Wolfgang Strauss, Fraunhofer Institut, St. Augustin	86
5.6. Bereich Unterhaltung und Bildung – Cybernarium, Darmstadt	92
5.7. Zusammenfassung – Der Einsatz von Simulationen	95
<b>6. Schlussbetrachtung .....</b>	<b>98</b>
<b>7. Literatur-, Abbildungs- und Quellenverzeichnis.....</b>	<b>104</b>

„Es gibt eine Legende über einen chinesischen Maler, der sein Leben lang versuchte, die Landschaft vor seinem Fenster zu malen, aber nie mit seinen Werken zufrieden war. Sie erregten allgemeine Bewunderung. Er galt inzwischen als der größte Meister seiner Zunft. Aber er selbst fand, daß seine Bilder den Gegenstand nicht erreichten. Schließlich aber gelang ihm doch ein Bild, das seinen Ansprüchen genügte. Er zeigte es seinen Freunden, die alle übereinstimmten, daß dies ein vollkommenes Werk sei. Darauf soll der Maler sein Malerwerkzeug weggelegt haben und vor den Augen seiner Freunde in sein Bild hineingegangen und darin verschwunden sein.“

(Dieter Wellershoff, 1987)

„Oder man schafft einen anderen Raum, einen anderen wirklichen Raum, der so vollkommen, so sorgfältig, so wohlgeordnet ist wie der unsrige ungeordnet, missraten und wirr ist.“

(Michel Foucault, 1967, 45)

„Unter Computerbedingungen wird es also machbar, maschinell zu affirmieren, was nicht ist: Siegeszug der Simulation.“

(Friedrich Kittler, 1990)

## 0. Einführung

„Nicht wenige derer, die über Cyberspace sprechen und schreiben, springen nach knappen technischen Hinweisen direkt zu Erörterungen von Sein und Nichtsein. Solches Philosophieren gerät naturgemäß zu einer Gedankenbewegung ohne festen Halt [...] und mündet [...] nicht zufällig oft in Wortspielen.“ (Schönhammer, 1997, 259)

In dem 1964 von Daniel F. Galouye publizierten Science-Fiction-Roman „Simulacron-3“, der 1973 von R. W. Fassbinder unter dem Titel „Welt am Draht“ verfilmt wurde, entwickelt ein Unternehmen mit Hilfe eines gigantischen Computers die komplexe Simulation einer Großstadt mit Tausenden von Einwohnern. Ziel ist es, in dieser simulierten Welt Marktforschung zu betreiben. Das Projekt gerät allerdings außer Kontrolle. Die hochentwickelten Bewohner der simulierten Welt erschaffen sich selbst ebenfalls eine simulierte Welt. Jede Ebene dieser Simulation ist eine nur scheinbar wirkliche Welt, was aber nur der externe Beobachter der totalen Illusion zu erkennen vermag. Die Simulation könnte – dies ist die Vermutung, die im Roman und im Film bewiesen werden soll – auf höherer oder tieferer Ebene bis in die Unendlichkeit fortgesetzt werden, ohne dass die jeweiligen Bewohner der Welt dies erkennen könnten. Im Film wird die erkenntnistheoretische Frage in den Mittelpunkt gestellt, inwieweit Simulationen Realität erzeugen können. Es wird außerdem deutlich, dass bereits in den 60er Jahren faszinierende und zugleich unheimliche Vorstellungen von Virtueller Realität existierten: Digitale Spielzeugwelten im realen Universum, die es zulassen, den ewigen Menschheitstraum zu realisieren, die Grenzen des physikalisch Machbaren zu überschreiten und gottgleiche Kontrolle auszuüben.

Computergestützte Simulation und Virtualität manifestierten sich seit dieser Zeit als eher abstrakte, diffuse Begriffe im Sprachgebrauch. In den 80er Jahren, mit den Fortschritten der Technik der Virtuellen Realität (VR) zum tatsächlich „funktionierenden“ Medium, vermischten sich die Begriffe zusehends. Annähernd alles im Zusammenhang mit Computertechnik wurde zur Simulation, was virtuell war, war auch simuliert und in der populären wie auch wissenschaftlichen Literatur war es nur eine Frage der Zeit, bis Virtuelle Welten entstehen sollten, welche die Reale Welt simulieren. Das rücksichtslose Fortschrittsdenken wird heute von vielen Seiten relativiert. Nach heutiger Überzeugung ist man von der Erzeugung perfekter Welten, die als Ersatzwelten taugen würden, noch Äonen entfernt, und es ist mehr als fraglich ob Ähnliches jemals erreicht wird. Eine sinnvolle und trennscharfe Unterscheidung von

Virtualität und Simulation bleibt, wie das folgende Beispiel zeigt, allerdings noch immer aus:

„Simulation [...] is possible, but we cannot reproduce the level of detail (LOD) that occurs in the real world. We will *never* (a very dangerous word to use) be able to experience a virtual beach where virtual bathers are playing in the virtual sea, splashing with virtual waves, while virtual palm trees swing in a virtual breeze. We will *never* be able to simulate this with the same fidelity of the real world. We could not even approach it. However, it could be simulated if we lowered our expectations.” (Vince, 2004, 19)

Virtuelle Realität, die „Mensch-Maschine-Schnittstelle der Zukunft“<sup>1</sup>, wird seit ihrer Erfindung häufig als Simulation der Realität verstanden (vgl. u.a. Brickmann, 1993). Ihr Erscheinungsbild orientiert sich in diesen Überlegungen zumeist an dem gewohnten Wahrnehmungsumfeld und den Wahrnehmungsbedingungen des Menschen, was einerseits das Wesen der Simulation verkennt und andererseits die Idee der Virtuellen Realität in hohem Maße einschränkt. Denn was bedeutet Realität? Vertreter des Radikalen Konstruktivismus, der Wissenschaft, die sich in der jüngeren Vergangenheit wohl am häufigsten mit Realitätsbeschreibungen befasst hat, beschreiben pluralisierte Wirklichkeiten, die sich je nach Wahrnehmungsbedingung zu *einer* Realität konstituieren, *die* Realität an sich bleibt demnach Wunschtraum der Menschheit. Auch die Medientheorie befasst sich schon seit langem mit dem Begriff der Realität bzw. der Wirklichkeit. Durch eine naturwissenschaftliche und medienbedingte „Techno-Transformation“, so wird gemutmaßt, kommt es gar zu einem Verschwinden der Wirklichkeit, zur Auflösung des Subjekts und der Zerstörung tradierten Sinns. Der Simulation, die „wahrer als das Wahre“ ist, haftet seit Baudrillard der Ruf an, zur „Agonie des Realen“ beizutragen. Die referenzlose Endlosschleife der Simulation, als Hyperrealität, wird ununterscheidbar von der bisher bekannten Realität, was zur Auflösung derselben führt<sup>2</sup>. Der Medienphilosoph Vilem Flusser spricht in seinen Beschreibungen des Realen und Virtuellen gar von „komputierten Partikelelementen“<sup>3</sup>, welche die alternative Wirklichkeit formen und erst jetzt, mit Hilfe der Virtualität und der technischen Bilder, erkannt werden können. Die Realität selbst wird dadurch relativiert; alles ist Vilem Flusser zufolge Schweinwirklichkeit. Die Virtuelle Realität wird in den Medienwissenschaften

---

<sup>1</sup> Rheingold bezeichnet die Virtuelle Realität in seinem 1992 erschienen Werk *Virtuelle Welten* mehrfach in dieser Form.

<sup>2</sup> Vgl. dazu beispielhaft die Arbeit Baudrillards (1978).

<sup>3</sup> Vgl. dazu insbesondere Flusser (1991, 147) oder für eine weiterführende Lektüre Flusser, 1992.

oft als Herausforderung gesehen, zugleich ist aber immer auch ein bedrohlicher Unterton zu spüren.

Die Erwartungen an VR-Technologien sind oft unrealistisch hoch. Sie werden zum einen durch Science-Fiction Filme geweckt, die Virtuelle Realität zum Thema haben und diese als perfekt konstruierte, fotorealistic, interaktiv, in Echtzeit erlebbare, grenzenlose Welt darstellen<sup>4</sup>. Zum anderen wird Virtuelle Realität oft mit der ebenfalls in Filmen verwendeten Computeranimation verwechselt, die meist Tage zur Berechnung benötigt und damit dem Echtzeit-Verdikt der Virtuellen Realität nicht gerecht wird.

In heutigen VR-Anwendungen stellt sich schon viel weniger als problematisch dar. Ziel der Anwendungen ist es meist, wenigstens einen Teilbereich von Wirklichkeit akkurat in VR-Systeme zu übertragen. Dabei bestehen erhebliche Unterschiede darin, welches Ziel verfolgt wird, die Herstellung simulierender Systeme oder das Entwerfen virtueller Welten.

### **Ziele der Arbeit**

In dieser Arbeit soll jenseits postmoderner Medientheorien und dem Kunstbegriff der endlosen Simulation der ideen- und technikgeschichtliche Hintergrund, Wahrnehmungsbedingungen sowie aktuelle Einsatzgebiete der Virtuellen Realität aufgezeigt werden. Weniger wird es darum gehen, ob die Virtuelle Realität von der alltäglichen Realität zu unterscheiden ist, vielmehr soll gezeigt werden, wie in verschiedenen Bereichen einzelne Aspekte der Realität Einfluss auf die konstruierten Cyberwelten haben können und wie viel des „Originals“ bei der Konstruktion eines Virtuellen Systems überhaupt erfasst werden kann.

Im Spannungsfeld zwischen Theorie und Praxis wird die Arbeit außerdem zum Ziel haben, die Begriffe Simulation und Virtualität zu differenzieren, ihre miteinander verknüpfte Geschichte darzustellen sowie abschließend Überschneidungen, Gemeinsamkeiten und unterschiedliche Anwendungsformen zu finden. Die Möglichkeit und Unmöglichkeit der Konstruktion von Wirklichkeit, unter den Prämissen der Theorie des Radikalen Konstruktivismus, wird in der Argumentation als zentrales Motiv ständig präsent sein.

### **Vorgehensweise**

---

<sup>4</sup> Vgl. beispielsweise das Holo-Deck der US-Science-Fiction-Serie Star Treck.

Im einführenden Kapitel werden zunächst die zentralen Begriffe der Arbeit definiert und soweit möglich historisch eingeordnet. Dabei bildet die vorgenommene Reihung der Begriffe bereits eine Herleitung zur Virtuellen Realität. Das größte Problem bestand darin, dass die Terminologie in der bestehenden Literatur relativ flexibel gehandhabt wird und kaum klare Abgrenzungen vorgenommen werden.

Im zweiten Kapitel der Arbeit wird auf Grundlage von technikgeschichtlicher Literatur eine historische Einordnung der Virtuellen Realität vorgenommen. Vorformen von Virtueller Realität aus der Frühzeit der optischen Medien, wie beispielsweise Panorama oder Stereoskopie, werden in dieser Arbeit aus Gründen des begrenzten Umfangs nicht beachtet. Sie spielen aber ebenso eine Rolle in der Entwicklung der Virtuellen Realität wie die hier ausführlicher beschriebenen filmtechnischen und militärischen Hintergründe. Die Beschreibung der Entwicklung sollte zudem als exemplarisch betrachtet werden. Statt einer ausführlichen und erschöpfenden historischen Aufarbeitung, werden in dieser Arbeit vornehmlich wichtige Entwicklungsschritte der Virtuellen Realität beschrieben. Zum Abschluss des Kapitels wird kurz der aktuellen Stand der Technik erläutert. Das weitverzweigte, dynamische Umfeld der VR-Forschung und die Tatsache, dass sich die Entwicklung noch immer in einem fortlaufenden Prozess befindet, erlaubt es nicht, bestimmte Systeme – und schon gar nicht Produkte bestimmter Firmen – als technischen Standard in den Vordergrund zu stellen. Es soll vielmehr ein Überblick über bestehende Techniken gegeben und deren Möglichkeiten deutlich gemacht werden.

Kapitel Drei widmet sich den Wahrnehmungsbedingungen, die mit Nutzung der Virtuellen Realität in den Vordergrund rücken. Die Wahrnehmung der Virtuellen Realität unterscheidet sich grundlegend von der Rezeption herkömmlicher Medienformen. In der Arbeit sollen wichtige Aspekte dieser spezifischen Wahrnehmung dargestellt werden.

Im vierten Kapitel wird auf der Grundlage der Theorie des Konstruktivismus das Verhältnis zwischen Realität/Wirklichkeit, Realität/Simulation und Realität/Virtualität betrachtet. Ausgehend von dem Verständnis pluralisierter Wirklichkeiten und der Annahme, dass Wirklichkeit in Virtuellen Realitäten konstruiert werden kann, drängt sich die Perspektive des Konstruktivismus geradezu auf, die einzelnen Bereiche auf dessen theoretischer Basis zu

hinterfragen. In der Analyse werde ich nicht ausschließlich auf Literatur des Konstruktivismus zurückgreifen, sondern auch Autoren einbeziehen, die eine andere Denkrichtung vertreten, aber zu ähnlichen Schlüssen wie der Konstruktivismus kommen.

Das fünfte Kapitel schließlich stellt den praxisbezogenen, empirischen Teil der Arbeit dar. Es werden aktuelle Projekte aus sechs verschiedenen Bereichen vorgestellt, die besondere Relevanz in der Anwendung von Virtuellen Realitäten haben. Dazu wurden im Vorfeld und im Laufe der Arbeit Expertengespräche mit Entwicklungsingenieuren, Künstlern, Geschäftsführern und Marketingfachleuten geführt, die ausgewählte Projekte betreuen. Zusätzlich fließen in die Beschreibungen persönliche Erkenntnisse aus den Besuchen der jeweiligen Einrichtungen sowie Informationen aus zur Verfügung gestelltem Schriftmaterial (siehe Quellen) ein. Die Projekte unterscheiden sich grundsätzlich in ihrer jeweiligen Technik, Entwicklung, Durchführung und Zielsetzung. Dies war in der Auswahl beabsichtigt, da es ein Ziel der Arbeit sein soll, Virtuelle Realität und Simulation in vielfältigen Ausprägungen zu betrachten.

Im letzten Kapitel werden die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert, umfassende Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kapiteln hergestellt sowie Denkansätze gegeben, die eine weitere wissenschaftliche Bearbeitung erlauben.

### **Terminologie**

Aus Gründen der Lesbarkeit wird in dieser Arbeit der männlichen Form der Bezeichnung Vorrang gegeben (man statt man/frau etc.). Außerdem werden viele Begriffe, die ursprünglich aus dem Englischen kommen, in ihrer deutschen Form verwendet. Teilweise werden die jeweiligen englischen Begriffe in Klammern nachgestellt. Einige Begriffe wiederum, für die es keine passende und einfache Übersetzung gibt, werden im Englischen belassen (Virtuelle Realität statt Virtual Reality aber Tracker statt Positionsmessgerät).



# 1. Definitionen

Die Begriffe Modell, Simulation und Visualisierung, in Beziehung zu Virtueller Realität gesetzt, sind die zentralen Begriffe dieser Arbeit. Die folgende Beschreibung dieser Begriffe soll zahlreiche Aspekte der Modellbildung und Simulation verdeutlichen und ihre Bedeutung für die Virtuelle Realität aufzeigen.

## 1.1. Modell

Das Wort Modell<sup>5</sup> geht auf das schon im frühen Mittelalter gebrauchte, lateinische Wort Modul zurück, das als „Bezeichnung für die Maßeinheit einer Fläche [steht], die als Teil eines als Gitter konstruierten Basisrechtecks der Erstellung des Entwurfs und der primären Einmessung der Fundamente eines Gebäudes [oder eines Stadtgrundrisses] zu Grunde gelegt wurde“ (Mahr, 2003, 61f.). In der Architektur diente das Modell in der Folge als bautechnische Grundlage, das mit seinen Proportionen und Symmetrien den späteren Bau abbilden sollte.

Seit Beginn des 18. Jahrhunderts gehören System- und Modelldenken sowie die Mathematisierung der Naturwissenschaften zu den Grundfesten der „neuen Wissenschaften“, in denen Newtons *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, mit der Mathematisierung der Mechanik zum Inhalt, den Kern der Entwicklung bildet. Modelle standen für die Möglichkeit, sich eine Vorstellung von Realität zu erschaffen, auch wenn diese nur den relevanten Eigenschaften nach konstruiert war. Mit der mathematischen Logik<sup>6</sup> der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts erfuhr der Modellbegriff eine weit gehende Abstraktion, die mit der ursprünglichen Abbildtheorie, „nach der Modelle in einer als Abbildung verstandenen relationalen Beziehung zu einem als Original aufgefassten Gegenstand stehen“ (Mahr, 2003, 79), nur noch wenig gemein hatte. Abbildung bedeutet in diesem Falle nicht unbedingt die „äußere“ Ähnlichkeit des Modells mit dem Original sondern auch die Abbildung durch ein symbolisches System. In der von Herbert Stachowiak 1973 vorgelegten *Allgemeinen Modelltheorie*, die sich der Merkmals- bzw. Abbildungsähnlichkeit des Modellbegriffs verpflichtet

---

<sup>5</sup> Vgl. die ausführliche Kulturgeschichte des „Modells“ bei Mahr (2003).

<sup>6</sup> Vgl. dazu den Beitrag Mahrs (2004), in welchem Modelle als Denkmöglichkeiten dargestellt werden.

fühlt, werden nach einer „intuitiv-umgangssprachlichen Untersuchung“ drei wesentliche Merkmale unterschieden:

„1. das *Abbildungsmerkmal*, d.h. „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können“, 2. das *Verkürzungsmerkmal*, d.h. „Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellnutzern relevant erscheinen“ und 3. das *pragmatische Merkmal*, d.h. „Modelle sind in ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersatzfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellnutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.““ (Mahr, 2003, 80 mit Bezug auf Stachowiak, 1973, 322)

Die Komplexitätsreduzierung, die, abhängig von der jeweiligen Zielsetzung, im wesentlichen auf Abstraktion und Idealisierung von Systemeigenschaften basiert, macht eine Untersuchung von Systemen vielfach somit überhaupt erst möglich. Stachowiak folgert sogar:

„Hiernach ist alle Erkenntnis Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle, und jegliche menschliche Weltbegegnung überhaupt bedarf des Mediums ‚Modell‘.“ (Stachowiak, 1973, 56)

Pragmatischer erscheinen die Definitionen von Mittelstraß und Neunzert: Ein Modell ist demnach

„[...] ein in Alltags- und Wissenschaftssprache vielfältig verwendeter Begriff, dessen Bedeutung sich allgemein als konkrete, wegen idealisierender Reduktion auf relevante Züge, fasslicher oder leicht realisierbare Darstellung unübersichtlicher oder abstrakter Gegenstände und Sachverhalte umschreiben lässt.“ (Mittelstraß, 1984, 911)

Modellieren kann auch als „das Finden passender Beziehungen für betrachtete Objekte“ definiert werden, bei welchem man von für die Vorhersage Unwesentlichem abstrahiert (vgl. Neunzert, 1995, 47). Das Modell, als wissenschaftliche Bezugsgröße betrachtend und bereits in Richtung der Simulation weisend, definiert Mahr (2003, 77) weiter:

„In den Wissenschaften sind Modelle Konzeptualisierungen von Dingen oder Sachverhalten und dienen der Hypothesenbildung, der Erkenntnis oder der Begründung von Vorhersagen. In ihre Entwicklung fließen Vorstellungen und Wissen ein, die durch Beobachtung, durch Messung oder mit mathematischen und analytischen Mitteln gewonnen werden. Wiederum durch Beobachtung, Messung und Theoriebildung müssen Modelle bestätigt werden oder sie müssen sich bewähren.“

Je nach Zielsetzung, ob als Erklärungs-, Prognose-, Gestaltungs- oder Optimierungsmodell eingesetzt, können Modelle in ihrer Erscheinungsform materiell oder immateriell sein, sich mathematischer oder graphisch-mathematischer Formalismen bedienen.

Verweist das Modell allerdings noch weitgehend auf eine statische Abbildung, so verweist die Simulation ihrerseits, sozusagen als „Modell in Aktion“, auf

dynamische, zeitliche Prozesse, mit denen auch Zustandsübergänge dargestellt, erklärt und prognostiziert werden können.

## 1.2. Simulation

Der Begriff der „Simulation“ (lat. Nachahmung, falscher Schein, Vortäuschung) als tradiertes Werkzeug der Wissenschaft ist eng mit der Modellbildung zu verbinden, da sie sich gleichfalls auf die Modellierung von Gegebenheiten beobachtbarer Wirklichkeitsbereiche bezieht. Nach Kiefer (1991, 181) sind Simulationen

„[...] definierbar als dynamische symbolische Modellierungen beliebiger physikalischer Phänomene, [...] die auf einem Computer ausführbar sind. Simulationen werden auch Simulationsmodelle genannt. [...] Als ausführbare symbolische Modelle sind Simulationsmodelle in der Regel homomorphe Abbildungen eines Systems.“

Die Auswertung mathematischer und physikalischer Modelle mit Hilfe von Computersimulationen, auch „scientific computing“ oder einfach Computerexperiment genannt, ermöglicht, auch komplexes Datenmaterial, von Systeme mit mehr als zwei Entitäten und Rückkopplungseffekten<sup>7</sup>, zu erfassen und valide Prognosen in Echtzeit operierend zu erstellen. Nohr (2000, 4), mit Verweis auf Pühr-Westerheide (1995), versteht demzufolge Simulationen, in Anlehnung an den technischen Terminus *dynamic modelling*, als die Dynamisierung von Modelltransformationen:

„Um Prognosen über die Entwicklung eines komplexen Zusammenhangs von Originalattributen und -relationen treffen zu können, wird der Originalzusammenhang zunächst in ein Modell abgebildet, dieses nach den modellierten Parametern dynamisiert und der Endzustand des Modells auf das Original rückübertragen.“

Oder mehr im Sinne Foucaults: „[...] Simulationen [produzieren] formale, dynamische und gleichsam antizipative Kopien, *Modelle*, die der Kontrolle des Originals dienen sollen“ (Schröter, 2004).

Die Abbildung des Originals geschieht bei der numerischen Simulation über die Eingabe von mathematischen Messgrößen und Parametern in den Computer, deren Zustandsfolgen dort über Algorithmen berechnet werden und schließlich die numerischen Zustände inhaltlich interpretiert werden bzw. zuletzt visualisiert, in reale Bilder rückübersetzt und somit anschaulich werden. Im Gegensatz zur Kopie, Reproduktion oder Modellbildung sind Simulationen zu eigendynamischen Prozessen fähig. Die Entwicklung der simulierten

Phänomene verläuft entweder eigenständig, was durch die mögliche Zeitkompression zu schnelleren Erkenntnissen führt, oder es werden zu Beginn der Simulation geeignete Parameter modifiziert, die jeweiligen Auswirkungen analysiert und auf die mögliche, zukünftige Realität übertragen. Die Isolierung einzelner Parameter sowie die prinzipielle Wiederholbarkeit von Experimenten, in Bereichen wo dies nicht oder nur schwer möglich ist, sind die besonderen Stärken der computergestützten Simulation, die sie damit von mechanischen Modellen unterscheidet.

Von den numerischen, dynamischen Simulationen wird heute die interaktive Simulation, oder kybernetische Simulation unterschieden, „[...] die menschliche Beobachter als notwendige Bestandteile des kybernetischen Systems miteinschließt“ (Weibel, 1993, 21). Das Subjekt, in Flugsimulationen der Pilot, wird selber zum „echten“ Parameter der Simulation, in dem er in Echtzeit Inputdaten modifiziert.

„In *dynamischen* Simulationen ist der Raum der Simulation relativ geschlossen, der Prozess läuft ab, um Daten für *Vorraussagen* über das Verhalten realer Phänomene zu treffen [...]. In *interaktiven* Simulationen ist der Beobachter *Teil* der Simulation, sie dienen meist eher dazu, den oder die Beobachter/in, die/der dann kein solcher mehr ist, zu verändern – z.B. indem diese/r lernt, wie er/sie [...] zu reagieren hat.“ (Schröter, 2004)

Virtuelle Realitäten und Umgebungen, in denen Personen agieren, sind demnach immer interaktive Simulationen. Es läuft aber, anders als Schröter festhält, nicht immer darauf hinaus, den Teilnehmer der Simulation zu verändern (ihn zu trainieren), sondern es häufig auch darum geht, mit einer bestimmten Art von Visualisierung, neue Erkenntnisse über die Simulation selbst zu gewinnen oder bestimmte Modifizierungen an der Simulation überhaupt durchzuführen. Im Rahmen dieser Arbeit werde ich mich also vorwiegend mit interaktiven Simulationen beschäftigen, deren Entwicklung sich, wie Halbach feststellt, an der Geschichte der Simulation orientiert:

„Die Entwicklung zu den Konzepten Virtueller Realität im engen Sinne geht einen (techno-)logischen Weg von prognostischen Simulationen, die schon in den späten 40er Jahren zur Berechnung und Überprüfung ballistischer Vektoren und Werte eingeführt wurden und in den späten Sechzigern einen vorläufigen Höhepunkt in der Vorbereitung bemannter Mondflüge fanden, über die Einbindung dieser Prognosen in animierte Abbildungen gegebener Umgebungen bis zu Simulationen, deren Umgebung keine Abbildung im strengen Sinne mehr sind, sondern beliebig, künstlich, eben virtuell.“ (Halbach, 1997, 158)

---

<sup>7</sup> Das Zwei-Körper-System der Newton'schen Mechanik war auch vor den Digitalrechnern vollständig beschreibbar, die Berechnung eines Drei-Körper-Systems, wie es Henri Poincaré versuchte zu beschreiben, war unmöglich.

Im engsten Sinne kann von einem Simulationsmodell dann gesprochen werden, wenn es sich, nach der Umkodierung von Original zum Modell, bei dem entstandenen Modell um ein isomorphes Analogmodell seines Originals handelt, sozusagen aus einer „Implosion der Differenz zwischen Realem und Simulation“ (Schröter, 2004). Dies ist aber nicht nur ein unmöglicher<sup>8</sup>, sondern auch ein unerwünschter Gedanke, ließe er doch den Piloten im Falle eines Absturzes des Flugsimulators sterben. Das Ziel jeder Simulation im Sinne einer prognostischen Relevanz bzw. Brauchbarkeit, kann nur eine Realitätsapproximation sein, da allein durch sie die Komplexität der Wirklichkeit zu umgehen ist. Kiefer bemerkt hierzu: „Allgemein kann eine Simulation nie das Originalsystem in seinen kausalen, funktionalen Beziehungen zu anderen Systemen substituieren“ (Kiefer, 1991, 181). Nohr macht daher deutlich, dass sich der „wissenschaftliche, reduktive“ Simulationsbegriff vom „medienwissenschaftlichen, populären, kontextualisierten“ Begriff der Simulation unterscheidet:

„Wissenschaftliche Simulation ist primär ein Verfahren der Komplexitätsreduktion und Verfügbarmachung im Sinne von Erkenntnisgewinnung, während sich ein populärer Simulationsbegriff vielleicht [...] auf ein „zur-scheinbaren-Existenz-bringen“ verkürzen ließe.“ (Nohr, 2000, 5)

Im wissenschaftlichen Kontext gelten daher, wie Schröter festhält, andere Voraussetzungen für Simulationen.

„Simulationen als Modellierungen sind erstens immer nur *approximativ*, schon weil die theoretischen Beschreibungen diskretisiert, also auf eine überschau- und vor allem berechenbare Menge von Raum- und Zeitstellen reduziert werden müssen. Simulationen sind zweitens *selektiv*, da sie sich, je nach Fragestellung, nur auf bestimmte Aspekte der Strukturen des realen Phänomens beziehen.“ (Schröter, 2004)

Simulation ist zusammenfassend also die Analyse von definierten Approximationsmodellen, mit deren Hilfe Erkenntnisse über das gegenwärtige und zukünftige Verhalten des realen Systems, die Struktur des abgebildeten Systems und Einfluss- und Änderungsmöglichkeiten auf das Verhalten des abgebildeten Systems gewonnen werden können. Der oftmals unhinterfragte Glaube an die Möglichkeit, die Welt adäquat abzubilden, wird somit im wissenschaftlichen Sinne mehrfach widerlegt. Neunzert (1995, 55) bemerkt dazu, dass Simulationen

---

<sup>8</sup> Die Ausnahme stellt die vollständige Simulation eines diskreten Systems, wie das des Computers selbst, dar. In Abgrenzung zu der sich annähernden (approximativen) Simulation werden solche Fälle Emulationen genannt. (Vgl. Kiefers Ausführungen zur Turing Maschine, 1991, 181f.)

„[...] manipulierte, vereinfachte, zweckbestimmte Bilder [sind]: Sie sollen der Vorhersage von festgelegten Aspekten dienen, nicht eine umfassende Wahrheit widerspiegeln. [...] Vergisst man dies, nimmt man diese virtuellen Bilder als Wirklichkeit, ist man sehr leicht täusch- und manipulierbar.“

Dem wissenschaftlichen, reduktiven Simulationsbegriff wird in dieser Arbeit Vorrang gegeben, da nur so eine sinnvolle Abgrenzung des Begriffs der „Virtualität“ vorgenommen werden kann.

### 1.2.1. Kurze Einführung in die Geschichte der Simulation

Die Simulation, wenn auch nicht in ihrer heutigen Bedeutung<sup>9</sup> als rechnergestützter Prozess, kann als „uralter Begleiter der Menschheit“ bezeichnet werden (vgl. Puhr-Westerheide, 1995, 10f.). So können Abbildungen, Spielzeuge, Tänze und Kulte, als frei verfügbare, formbare Stellvertreter von Realität, bereits als Formen von Simulationen prähistorischer Gesellschaften angesehen werden. In höher entwickelten Kulturkreisen verlangte derselben landwirtschaftliche Abhängigkeit die Kenntnis und Vorhersagbarkeit von Jahreszeit und Wetter. Erste Zählsysteme und – mitunter dynamisierte – Modelle von zyklischen Himmelsabläufen waren die Folge. Mit dem Aufkommen der Feinmechanik konnten die vorhandenen Simulatoren noch präziser gestaltet werden. Puhr-Westerheide nennt in diesem Zusammenhang die astronomische Uhr des Straßburger Münsters und führt aus:

„[...] [es wurden] die ersten stationären Himmelssimulatoren gebaut, die den Lauf der Gestirne, einschließlich singulärer Ereignisse wie Sonnen- und Mondfinsternissen, in bisher unbekannter Präzision und für beliebige Zeiträume vorführen konnten, und dies, wie man heute sagen würde, benutzerfreundlich, da die Darstellung auch ein Vergnügen für Augen und Ohren war, in heutiger Diktion multimedial.“ (Puhr-Westerheide, 1995, 12)

Mit dem weiteren Aufschwung der Technik, einhergehend mit der Erfindung von Rechenmaschinen, als Simulatoren der arithmetischen Regeln, konnten weitaus komplexere Sachverhalte simuliert werden.

„Die Technik hat für einen qualitativen Sprung bei den Simulationen gesorgt: Erstmals konnten auch Systeme simuliert werden, über die man bisher auf andere Weise keine Kenntnisse erlangen konnte – sei es, daß sie zu groß sind oder daß Teile von ihnen nicht oder nur mit großem Risiko oder hohem Aufwand beobachtet werden können.“ (Puhr-Westerheide, 1995, 12)

---

<sup>9</sup> Der Begriff der Simulation wird vielfältig und in unterschiedlichsten Bereichen verwendet, wie z.B. in der Kybernetik und Biologie (nach dem Prinzip der funktionalen Analogie zwischen biologischen und technischen Sachverhalten), den Sozial- und Kommunikationswissenschaften (die Simulation sozialer Interaktion als Modell für Sozial- oder Verbalverhalten). Vgl. auch die Bedeutung der Simulation in der Geistestätigkeit bei Longo. „Die Simulation erlaubt es also, etwas nur in Gedanken auszuführen.“ (Longo, 1995, 33)

Die Ära der Simulation im heutigen Sinne, d.h. in Verbindung mit Digital-Computern, begann nach 1945. John von Neumann hatte zu dieser Zeit bereits die Idee eines digitalen Windkanals und schlug zeitgleich in einem Vortrag des First Canadian Mathematical Congress vor, die an ihre Grenzen gestoßene analytische Methode zur Lösung partieller Differentialgleichungen durch eine numerische zu ersetzen und die Entwicklung von Digitalrechnern als Instrumente der numerischen Simulation zu fördern (vgl. Gramelsberger, 2003). Für die Quantenphysik wurden Simulationen unersetzbar, aber auch Natur- und Sozialwissenschaften, insbesondere das Militär<sup>10</sup>, die Ökonomie und Politik stützten sich zunehmend auf Simulationen um mittels der erhaltenen Daten Vorhersagen und Strategien entwerfen zu können. Für Schröter (2004) müssen Simulationen sogar „als *ein entscheidendes* Instrument hegemonialer diskursiver Praktiken nach 1945 verstanden werden.“ Eines der ersten Einsatzgebiete von digitalen Computern war dann auch das der Simulation. So wurde der *ENIAC* Rechner im Dezember 1945, im Rahmen der amerikanischen Forschung an der Wasserstoffbombe, für stochastische Simulationen, den so genannten und auch heute noch verwendeten „*Monte-Carlos*“, eingesetzt. Simulationen setzten sich damals in die Leerstelle zwischen Theorie und Experiment. Auch ein Vorläufer der Computerspiele, der Whirlwind-Ball als Punkt auf dem Display, der annähernd wie ein realer Ball auf dem Bildschirm hüpfte, war nichts anderes als eine Computersimulation. Die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten von Simulationen wird schon an dieser Stelle deutlich.

Ab Mitte der 50er Jahre erfuhr die Simulation einen immer höheren Stellenwert. Die Komplexität globaler ökonomischer, militärischer und politischer Prozesse, vor allem angetrieben von der Systemkonkurrenz im Kalten Krieg, ließ der Prognose und Kontrolle, und damit der Simulationstechnik, eine bedeutende Rolle zukommen. In den 70er Jahren wurden Simulationen zum Standard industrieller Produktionsprozesse, des Operations-Research und der Zukunftsforschung; avanciertere Projekte, wie bspw. die Analyse und Prognose des Weltenergieverbrauchs, kämpfen allerdings teilweise noch heute um ihre Legitimation, und darin zeigt sich die Ambivalenz computerbasierter Forschung. Zwar sind erst durch die Computersimulation Erkenntnisse im Bereich

---

<sup>10</sup> Simulationen wurde schon früher in der Kriegsführung eingesetzt. Das wohl bekannteste Beispiel ist das des preußischen Generalstabs, der in Planspielen ganze Schlachten simulierte, um die Möglichkeiten und Grenzen der eigenen Armee abschätzen zu können.

komplexer Modelle möglich, langfristige exakte Prognoseerwartungen können aber aufgrund der Nicht-Linearität komplexer Gleichungen nicht erfüllt werden. Erstaunlich ist, dass gerade das Prognoseinstrument Computer die Grenzen der Vorhersagbarkeit und die eigene Endlichkeit aufzeigt:

„Die prinzipielle Eindeutigkeit von mathematischen Gleichungen garantiert also keine beliebig lange Prognostizierbarkeit und beliebig lange Berechenbarkeit. Es sind gerade die hohen Rechenkapazitäten heutiger Computer, mit denen diese Grenzen der Vorausberechenbarkeit deutlich wurden.“ (Mainzer, 1999, 45)

In Bereichen der Klimaforschung<sup>11</sup>, Medizin, Ökonomie, Sicherheits- und Ingenieurstechnik sind Simulationen heute als tragende Bestandteile der Forschung allerdings nicht mehr wegzudenken, auch wenn Fehlberechnungen, insbesondere durch falsche Modellbildung, stets möglich sind<sup>12</sup>. Die Validität der Simulationsergebnisse stellt daher eine der wichtigsten Fragen der Forschung dar. Die Vorteile der Simulation zeigen sich gerade dann, wenn die Arbeit an den simulierten Originalen zu entfernt, zu kostenintensiv und zu risikoreich ist. Auch ethische Probleme lassen sich beim Umgang mit binären Zahlen leichter umgehen. Kurz: die Heuristik, die computergestützte Simulationen bieten, erweisen sich in unserer Zeit als unumgängliches Prinzip in vielen Bereichen.

Es bleibt festzustellen, in welchem Verhältnis die angewandte Virtuelle Realität zu Simulationen im engeren Sinne steht. Vorab ist es aber nötig das Thema der Visualisierung detaillierter zu beschreiben.

### **1.3. Visualisierung von Simulationen und technischen Daten**

Die ersten Computer (vor 1950) lieferten keine sichtbaren Bilder, sondern waren höchstens dazu fähig, Schwarzweiß-Grafiken auf Leucht- oder Druckplatten herzustellen. Dennoch betrachtete man sie bereits als Simulationswerkzeuge, die komplexe Wirklichkeiten erstellen konnten. Erst Anfang der 50er Jahre, wurde es mit der Nutzung der Kathodenstrahlröhre möglich, tatsächlich Bilder mit dem Computer zu synthetisieren (vgl. Couchot, 1993). Die simulatorischen Bildwelten sind seitdem, wie Götz Großklaus zum Ausdruck bringt, von

---

<sup>11</sup> Der derzeit schnellste Computer der Welt, der „Earth Simulator“ von NEC mit zehn Teraflop Leistung, d.h. zehn Billionen Rechenoperationen pro Sekunde, im japanischen Yokohama, dient an erster Stelle der Klima- und Erdbebenforschung. Aber auch dieser sei bereits zu klein um das komplexe Verhalten des Weltklimas zu berechnen. (vgl. [www.top500.org](http://www.top500.org), Zugriff Juni 2004)

<sup>12</sup> Vgl. das 750-Millionen-Dollar Disaster, bei welchem in einem Simulationsverfahren für den Bau einer Bohrplattform eine „fälsche Realität“ berechnet wurde und dadurch schließlich ein Teil der Basisstruktur der Plattform sank (vgl. Gramelsberger, 2003).



„verlockendem und beängstigendem Reiz“, da sie „die Grenze der Sichtbarmachung weit in Bereiche vorverlegt, die über unsere Sinne noch nicht zugänglich sind“. Die Sichtbarmachungen von Simulationen sind im Gegensatz zur „präsentisch, televisionalen“ Wahrnehmung futuristisch, da Vorgänge visualisierbar werden, „die (a) ganz und gar abstrakt sind – oder (b) nicht beobachtbar, nicht wahrnehmbar für uns – oder aber (c) überhaupt nicht real sind, nicht existent – oder (d) noch nicht existent, insofern möglich“ (Großklaus, 1997, 137).

Die Grundlage aller Visualisierungen, und das ist das wirklich Neue, sind Berechnungen. Die grafische Umsetzung des Mandelbrot-Sets mit ihrer beinahe surrealen Qualität<sup>13</sup>, Bilder von zusammenbrechenden Sternhaufen zu schwarzen Löchern, Orbitalmodelle eines Atoms und computeranimierte Filme sind die bekanntesten und wohl auch am häufigsten zitierten Beispiele. Sie haben realweltlich keine Vorbild mehr und können damit auch nicht mehr Ab-Bild sein; vielmehr sind die nunmehr synthetischen Bilder berechenbar, d.h. alle Objekt- oder Raumeigenschaften, wie Perspektive, Fluchtpunkt, Schattenwurf, Reflektion und Brechung sowie Ausbreitung der Lichtstrahlen können mittels geeigneter mathematischer Operationen visuell in Anschaulichkeit umgesetzt werden. Wenn Großklaus einen „mental Schock“ oder ein „philosophisches Erstaunen“ über die in Kürze anstehende Berechenbarkeit des Lebens erwartet (Großklaus, 1997, 135), stellt sich in dieser, eher technisch orientierten Arbeit die Frage, welche Bildlichkeit und welche Ziele mit der Visualisierung, insbesondere durch VR-Techniken, von Simulationsprozessen sowie von wissenschaftlichen und technischen Daten erreicht werden sollen. Dabei muss deutlich bleiben, dass die Visualisierung streng genommen nicht zur numerischen Simulation gehört.

Die Visualisierung von Daten gewann im letzten Jahrzehnt immer mehr an Bedeutung. Mitunter hilft der Computer als datenproduzierendes, quantitatives Instrument dem Menschen epistemologisch nur noch dann, wenn eine Form der Visualisierung der Datensätze bzw. des Outputs möglich ist (vgl. Nohr, 2000). Diese funktionale Visualisierung findet vor allem in der Mathematik und Physik,

---

<sup>13</sup> Vgl. die Kommentare Friedrich Kittlers zu diesem Thema: „Die Bildschirmdarstellung [von Mandelbrots Fraktalen] war nur ein Mittel algebraische Fragen zu beantworten.[...] Etwas nie Gesehenes öffnet die Augen. [...] Wenn simulieren besagt, zu bejahen, was nicht ist, und dissimulieren besagt, zu verneinen, was ist, dann hat die Computerdarstellung komplexer, zum

in den Bereichen der fraktalen Geometrie, der Röntgenastronomie oder Teilchenphysik, statt. Das Ziel der Visualisierung von Daten ist, diese durch grafische Darstellung anschaulich und interpretierbar zu machen und auf dieser neuen, für den Menschen sehr effektiven und leicht fassbaren, da visuellen Auswertungsebene, weitere Erkenntnismöglichkeiten zuzulassen, die aufgrund der unüberschaubaren „Informationsflut“ der rein numerischen Daten nicht ohne weiteres möglich sind (vgl. u.a. Neunzert, 1995). Verdrängte früher, seit Descartes und Leibniz, in einem Prozess der Formalisierung, die Formel das Bild, kehrt sich mit der computergestützten Decodierung der Symbole in Bilder, eben der Visualisierung, dieser Prozess um. Formalisierte Theorien, werden vergleichbar dem Experiment und der Messung, wieder sichtbar, was in den vielen Kommentaren zur Visualisierung dokumentiert wird:

„Die Visualisierung technisch-wissenschaftlicher Daten oder *Scientific Visualization*, wie sie im Englischen genannt wird, hat zum Ziel, den Informationsgehalt aus Daten zu extrahieren und somit Einsicht in das Verhalten von Systemen gewinnen zu können, deren Ausprägung durch die Daten repräsentiert wird.“ (Lang, 1997, 213)

Sybille Krämer bemerkt dazu weiter:

„Der Computer verfügt über Visualisierungskapazitäten, mit denen das, was formal beschreibbar ist, ikonisch repräsentiert werden kann. [...] Bilder substituieren Formeln und zwar so, daß dabei die Anschauung Erkenntnisse zu vermitteln vermag, die in der Arbeit mit Formeln gerade nicht zu Tage treten“ (Krämer, 1995, 189)

Norbert Bolz bemerkt an anderer Stelle:

„*Scientific Visualisation* erhöht aber nicht nur die Geschwindigkeit und Kapazität der Datenverarbeitung, sondern sprengt die Fesseln, in die das Beschreibungssystem der verbalen Sprache unser Denken gelegt hat: Schleifen, Rekursionen, Rückkopplungen und Netzwerke lassen sich durch Visualisierungen leichter denken. Durch ihre computergraphische Repräsentation werden mathematische Gleichungen nun gleichsam palpabel und Naturprozesse in ihrer Komplexität intuitiv verständlich. Computergraphiken implementieren die extreme Integrationskraft des Auges in visueller Datenverarbeitung und machen so hohe Komplexitäten wahrnehmbar – Kontrolle der Welt im errechneten Bild“ (Bolz, 1991, 120).

Die Merkmalsähnlichkeit von „künstlicher“ Simulation und „realer“ Naturerscheinung lässt sich über entsprechende Visualisierungen beispielsweise wesentlich einfacher nachprüfen. Es treten aber auch Schwierigkeiten, wie beispielsweise Verfälschungen, auf, d.h. relevante Zusammenhänge können verborgen bzw. unvisualisiert bleiben oder inkorrekte Färbung und unzulängliche Funktionen können Ergebnisse manipulieren. Diese Probleme treten häufig auf und stellen die wesentliche Gefahrenquelle für visualisierte Simulationen dar.

---

Teil also imaginärer Zahlen eine sogenannte Wirklichkeit buchstäblich dissimuliert, nämlich auf Algorithmen gebracht“ (Kittler, 1990, 202f.).

Mittels leistungsfähiger Grafik-Hardware und entsprechenden Softwarepaketen werden Visualisierungen heute nicht mehr nur statisch abgebildet. Die Visualisierungskapazität steigt mit der Leistungsfähigkeit der Rechner gleichermaßen an. Die Visualisierungen können dynamisiert werden um den Auswertungsprozess zu beschleunigen und zusätzliche Informationen zu gewinnen. Dies geschieht allerdings auch heute noch im post-processing Modus, d.h. die Daten werden erst berechnet und dann dargestellt. Der gleichzeitige Ablauf von Berechnung und Darstellung, würde dagegen direkte Eingriffe ermöglichen, was der Nutzung in Virtuellen Realitäten neue Dimensionen eröffnen würde (s.u.).

Die erzeugten Visualisierungen sind, wie die ursprünglichen Modelle, „Ersatzrepräsentationen für numerische Berechnungsergebnisse“ (Lang, 1997, 215); sie unterliegen dabei, genau wie die Modelle, nicht der Prämisse einer realitätsnahen Wiedergabe, sondern sind im Wesentlichen abstrakte Darstellungen, die einzig zur verbesserten Einsicht dienen. Der approximative Charakter der Visualisierung stellt somit auch den wichtigsten Aspekt in der so genannten, von Lang beschriebenen „Visualisierungspipeline“ dar, wobei der Mapper-Schritt, der Abbildung von Daten auf „abstrakten visuellen Objekten“ (AVOs), das heißt auf Geometrie und Farben, der entscheidende ist. „Zunächst werden Vorgänge der realen Welt durch ein Modell angenähert. Anschließend wird das simulierte Modellverhalten durch eine Visualisierungsmethode angenähert“ (Lang, 1997, 215).

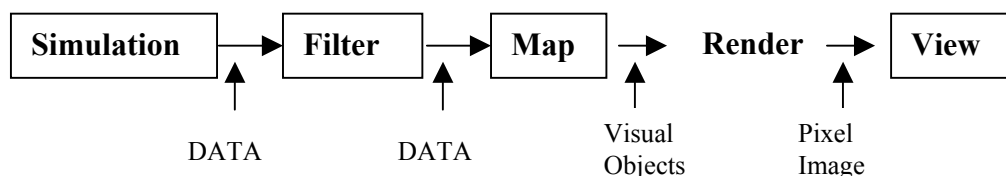


Abb.: Die Visualisierungspipeline (vgl. Lang, 1997, 215)

Die Idealvorstellung, so Lang (1997, 215), sollte für den Wissenschaftler sein, „den Rechner als Hilfsmittel einzusetzen, um unmittelbar mit seiner Modellwelt interagieren zu können.“ Genau hier liegt für Lang auch der Paradigmenwechsel im Umgang mit Simulationen. Konnten bisher nur die Eingabedatensätze der Simulation modifiziert werden, erlaubt die Visualisierung direkte Interaktionen mit den visuellen Repräsentanten. Auch die Reaktion der Modellwelt auf die Interaktionen erfolgt visuell. Als direkte Folge dieses Paradigmenwechsels kann

der vermehrte Einsatz von Virtueller Realität als Visualisierungsmethode verstanden werden. Handelt es sich um eine Simulation, die das Verhalten eines in der realen Welt sichtbaren Systems darstellt, wählen Beobachter oft eine möglichst „naturidentische Repräsentation“ (vgl. Lang, 1997, 218). Die räumliche Repräsentation, die dem Naturerleben des Menschen entspricht, verbunden mit der Möglichkeit der Interaktion innerhalb der Virtuellen Realität, eröffnet daher der Visualisierung – oder dann vielleicht sogar Perzeptualisierung – und der Handhabbarkeit von Simulationen neue Möglichkeiten. Simulierte Modelle und deren Komponenten könnten beispielsweise innerhalb der Virtuellen Realität wie im Realen über Handgriffe (als visualisierte Interaktoren an den Modellen) modifiziert werden. Über eine direkte Anpassung der Gesamt-Simulation würden Ergebnisse der Eingriffe direkt sichtbar<sup>14</sup>. Die Zukunft der Visualisierung liegt daher wohl eindeutig in der stereoskopischen Darstellung, wobei Virtuelle Realität in allen ihren Ausprägungen wohl die am weitest fortgeschrittene Möglichkeit darstellt. Die Vorteile einer dreidimensionalen Visualisierung zeigen sich besonders in folgenden Situationen:

- die direkte dreidimensionale Rekonstruktion zur Anzeige von Messungen von (natürlicherweise) dreidimensionalen Strukturen;
- die Simulation von Umgebungen, die erst noch entwickelt werden müssen, oder nicht mehr existieren;
- die Simulation von Kontingenzen in der Umgebung (Flugtraining, Training von Verhalten im Katastrophenfall).

Dabei kann man zwischen folgenden Visualisierungsmethoden unterscheiden (siehe auch Kapitel 2.4.1.):

- Immersive virtuelle Umgebungen;
- Projektions-Umgebungen;
- Angereicherte Realitäten;
- Monitorbasierte virtuelle Umgebungen;
- Responsive Workbenches.

Im Folgenden werde ich zunächst näher auf den Begriff der Virtuellen Realität eingehen.

## 1.4. Virtuelle Realität

---

<sup>14</sup> Lang (1997) beschreibt bspw. den (noch nicht realisierbaren) Fall eines Strömungsvorgang, bei welchem der Ingenieur die visualisierten Stromlinien so verschiebt, wie er sich den optimalen Strömungsverlauf vorstellt. Die Simulations-Software hätte die Aufgabe, die Berandungsgemietrie der Oberflächen dem gewünschten Strömungsverlauf direkt anzupassen.

Simulationen erzeugen virtuelle Objekte oder auch Räume, die, handelt es sich um interaktive Simulationen, Virtuelle Realitäten genannt werden. Wulf Halbach bemerkt dazu:

„Computersimulationen, die über ihre prognostischen Vorgabe hinaus Wirklichkeiten als handhabbar und damit als ‚Mobilien‘ anbieten, sind in den Konzepten Virtueller Realitäten eine (neue) Wirklichkeit geworden.“ (Halbach, 1997, 157)

An dieser Stelle wird auch das von Peter Weibel beschriebene und von Otto E. Rössler erfundene theoretische Konzept der „Endo-Interpretation“ der Welt deutlich, dem radikalen Paradigmenwechsel von extrinsisch zu intrinsisch konstruierten Computersystemen bzw. vom externen zum internen Beobachter, der in der Kybernetik sein theoretisches Fundament erhält (vgl. Weibel, 1993, 21f.). Virtuelle Realitäten erlauben es, einen Menschen in die computergenerierten Entwicklungsumgebungen zu integrieren und ihn dort, dem Grad der Interaktivität entsprechend, handlungsfähig zu machen. Im Gegensatz zu Computersimulationen, bspw. in Gestalt der Doppelhelix oder atomaren Molekülen, ist das Ziel der VR-Technik, die Realität selbst herzustellen. „Computersimulationen wollen die Wirklichkeit primär erklären, während die Technologie der Virtual Reality mit unterschiedlichen Intentionen diese tendenziell ersetzen will“ (Bühl, 1996, 53). Florian Rötzer führt mit Verweis auf Walter Benjamins Theorie zur Film- und Fototechnik, und in Anlehnung an Theorien, die das Verschwinden der Apparate aus dem Medienwahrnehmungskontext postulieren<sup>15</sup>, entsprechend Virtuelle Realität als „Simulation von Unmittelbarkeit“ ein.

„Tatsächlich ist der Mensch insoweit für die Bildung einer Virtuellen Realität das Maß aller Dinge, als diese Simulationstechnik darauf zielt, eine seinen Sinnesorganen angemessene Umwelt zu erzeugen, in der er sich ‚apparatfrei‘ orientieren kann, allerdings mit dem Preis, daß nicht nur die Umwelt, sondern auch er selber mehr denn je kontrolliert, erfasst ist, weil sonst nichts funktioniert.“ (Rötzer, 1993, 94)

Kaum ein Begriff wird ähnlich kontrovers diskutiert, wie der der Virtuellen Realität. Als ginge es einzig um Begrifflichkeiten, verläuft sich die Debatte im Dickicht von Begriffen, wie Cyberspace<sup>16</sup>, Wirklichkeitssimulatoren, Künstliche Welten, Virtual Environments oder Artificial Reality. Vielleicht liegt es an der

---

<sup>15</sup> Siehe beispielsweise Bolter/Grusin (2001).

<sup>16</sup> Der Begriff Cyberspace wurde im wesentlichen vom Science-Fiction-Autor William Gibson geprägt, der in seinem Roman „Neuromancer“ eine weltumspannende Matrix beschreibt, in welche sich die Menschen mittels einer Schnittstelle ihres Nervensystem direkt anschließen können, um dort in einer virtuellen Datenwelt umherzustreifen. Im Rahmen dieser Arbeit wird dieser literarische Begriff aber keine Rolle spielen. (vgl. Gibson, 1987)

Unfassbarkeit des Dahinterliegenden, eher aber an den unzähligen Varianten in denen Virtuelle Realität wahrgenommen werden kann. Als prägender Wortschöpfer von „Virtual Reality“ gilt weithin der Programmierer Jaron Lanier, der 1989 versuchte alle vorherigen Projekte unter einem Oberbegriff zusammenzufassen. Gleichzeitig suggeriert er mit dem Verweis auf Realität die Möglichkeit einer vollständigen, von der Realität nicht mehr differenzierbaren Simulation.

Der Kommunikationstechnologieexperte und Autor Nicholas Negroponte schreibt, dass „wenn Preise für die besten Oxymora vergeben würden, ‚Virtuelle Realität‘ unter den Gewinnern wäre“ (Negroponte, 1997, 144). Der Begriff setzt sich aus offensichtlich widersprüchlichen Worten zusammen.

Der Duden erklärt „virtuell“ [über fr. virtuel von mlat. virtualis, von lat. virtus = Tugend, Kraft, Tüchtigkeit] mit der Definition:

„a) entsprechend seiner Anlage als Möglichkeit vorhanden, die Möglichkeit zu etwas in sich begreifend; b) nicht echt, nicht in Wirklichkeit vorhanden, aber echt erscheinend, dem Auge, den Sinnen vortäuschend.“ (Der Duden, 1997, 848)

Entsprechend schreibt Stefan Münker, der sich intensiv mit der Bedeutung von Virtueller Realität auseinandergesetzt hat, von einer „Wirklichkeit, die wirklich eine werden kann, auch wenn sie noch nicht ist; eine *mögliche Wirklichkeit*“ (Münker, 1997, 109). Bormann (1994, 23) beschreibt den Begriff mit Rückgriff auf die klassische Physik als „etwas Gedachtes“, das nicht unbedingt vorhanden oder ausgeführt werden muss, das vielfach technisch nicht ausgeführt werden kann sondern nur dem Vermögen nach, potenziell existiert. Ähnlich definieren Bishop und Fuchs virtual als „being in effect but not in actual fact“ (Bishop/Fuchs, 1992, 4). Buddemeier bemerkt, dass „mit ‚virtualiter‘ eine Möglichkeit oder Kraft bezeichnet wird, die noch nicht ‚realiter‘ geworden ist“ und verweist auf die Optik mit virtuellen Bildern, die Mechanik mit virtuellen Bewegungen und die Atomphysik mit virtuellen Teilchen (Buddemeier, 2001, 196). Erich Kiefer (1991, 180) stellt zusätzlich den heutigen Gebrauch der Bezeichnung „virtuell“ dagegen; zwischen Virtualität und Simulation differenziert aber auch er nicht:

„Eine Analyse der Gebrauchsweisen der Bezeichnung nach dem Schema ‚Virtuelles X‘ ergibt, daß damit simulierte und emulierte Systeme unterschiedlichster Art gemeint sind, etwas anderes also, als eine zeitlich und kausal stark limitierte Existenzform von Quantenobjekten.“

Im Diskurs der Informatik wird der Begriff seit den 60er Jahren im Zusammenhang mit virtuellen Speichern gebraucht (vgl. Schröter 2004a). Virtuelle Speicher (*virtual memories*) erzeugten erstmals 1961 im Atlas-Computer die Illusion eines großen, unabhängig verfügbaren Speichers, eines logischen Adressraumes als Ersatz eines begrenzten, materiellen Speicherraums. Halbach weist in diesem Zusammenhang auf den kontextabhängigen Gebrauch von Virtualität hin:

„Das Oxymoron löst sich [...] auf, wenn sich die Virtualität auf Hardwarekomponenten bezieht, die durch Adressverschiebung [...] für neue Nutzungszusammenhänge zu realisieren sind. In diesem Sinne existiert, was adressierbar ist, auch wenn die behandelten Hardwarekomponenten de facto nicht vorhanden sind. Bei Virtuellen Realitäten verhält es sich anders, denn in den analogen Repräsentationsverhältnissen führt die ‚Multiplikation‘ von Realitäten für den Beobachter notwendig zu Paradoxien und der Zweifel exakter Wissenschaften an der Kompossibilität dieser Wirklichkeiten zur oxymoralen Struktur dieses Begriffes.“ (Halbach, 1997, 157)

Realität steht im engen Zusammenhang mit Wirklichkeit<sup>17</sup>, was ich im folgenden in sehr verkürzten Statements zu verschiedenen Denkrichtungen deutlich machen werde: In der naiv realistischen Wahrnehmungstheorie wird Wirklichkeit mit Realität gleichgesetzt. Es kommt bei der Wahrnehmung demnach zu keinerlei Verzerrungen. Bereits optische Täuschungen lassen sich mit dieser radikalen Ansicht jedoch nicht erklären. Im Realismus wird allgemein die Position vertreten, absolute Realität existiere unabhängig vom Bewusstsein des einzelnen; Anhänger des Idealismus beschreiben dagegen eine relative Realität, die allein vom Bewusstsein begründet ist. Der mentalistisch-solipsistische Standpunkt verneint eine objektive Realität vollständig und besagt, dass sich Realität nur in den Vorstellungen der Beobachter abspielt. Einen ähnlichen Standpunkt verfolgen die Vertreter des Konstruktivismus, wobei Wirklichkeit als konstruierte, subjektive Wahrnehmung eines Individuums begriffen wird.

„Unter Wirklichkeit verstehen wir [...] alle Formen der subjektiven Erscheinung der Realität, seien sie unmittelbar als Abbild, mittelbar als logische Ableitung, als kausal determiniert oder als unabhängig von der Realität angesehen.“ (Sandkühler, 1990, 893)

Wiederum bezeichnet die materielle oder objektive Realität im Sinne des Konstruktivismus, folgt man der Definition von Sandkühler (1990, 884), „dasjenige, was nicht nur vorgestellt oder gedacht wird, sondern unabhängig von unserem Vorstellen oder Denken an sich besteht.“ Und an anderer Stelle:

---

<sup>17</sup> Vgl. Kapitel Vier dieser Arbeit zum Verhältnis von Wirklichkeit zu Realität, Simulation und Virtualität.

„Unter Realität soll die unabhängig von der Existenz des Leben, des Psychischen und des Menschen existierende physikalische Welt verstanden werden, sei sie nun der menschlichen Erkenntnis zugänglich oder nicht.“ (Sandkühler, 1990, 893)

Diese Realität kann der Mensch aber nicht erkennen, sondern entsteht aus einem Konsens mit Anderen über Erfahrungen und Wahrnehmungen.

Die Verbindung der beiden Begriffe, „virtuell“ und „Realität“, bedarf daher einiger Abstraktionsfähigkeit, die ermöglicht, „etwas Gedachtes“ mit „etwas Wirklichem“ zu verschmelzen. Als Virtuelle Realität benennt der Duden eine „vom Computer simulierte Wirklichkeit, künstliche Welt, in die man sich mithilfe der entsprechenden technischen Ausrüstung scheinbar hineinversetzen kann“ (Der Duden, 1997, 848). Der Zukunftsforscher Karlheinz Steinmüller (1993, 8f.) bezeichnet Virtualität als eine „nichtmaterielle, doch wirkmächtige Existenz“ und unterscheidet Virtuelle Realitäten im engeren und weiteren Sinne:

„Als *Virtuelle Realitäten im engeren Sinne* [...] sollen im Computer erzeugte Modellwelten bezeichnet werden, die in Analogie zu der physischen Welt visuell dreidimensional repräsentiert werden und durch geeignete Hilfsmittel „begebar“ sind. [...] Als *Virtuelle Realitäten im weiteren Sinne* [...] sollen die Welten der im Computer bzw. in Datennetzen gespeicherten, manipulierbaren und abrufbaren Daten bezeichnet werden, also die zwischen die unterschiedlichen Nutzer, Netzteilnehmer geschaltete „Interzone“ der Zeichen und dessen worauf sie verweisen.“

Virtuelle Realitäten im weiteren Sinne stellen für ihn darüber hinaus auch fiktive Romanwelten dar, also Welten, die nur im Kopf eines Menschen existieren. Bishop und Fuchs beschreiben in eher nüchterner Betrachtungsweise Virtuelle Realität als „real-time graphics with threedimensional models, combined with a display technology that gives the user immersion in the model world and direct manipulation“ (Bishop/Fuchs, 1992, 4). Thürmel wiederum, die Virtuelle Realität als Leitbild innerhalb der Technikgenese untersucht, macht auf die Vielseitigkeit von VR-Anwendungen aufmerksam.

„Durch die Thematisierung des Visuellen erscheint die VR auf den ersten Blick ein Leitbild par excellence zu sein. Gerade durch den Facettenreichtum ihrer Bildhaftigkeit wird die VR zum Faszinosum. Ingenieure wollen technische Artefakte modellieren. Physiker sind an der Simulation physikalischer Vorgänge interessiert. Die Spiele-Industrie wünscht möglichst anregende fiktive Welten. Das Bild kann u.a. Modell, Abbild oder rein fiktiv sein.“ (Thürmel, 1993, 44)

Ebenfalls auf den variablen, da simulierenden Charakter der VR-Systeme eingehend, definiert Scott Tate (2004):

„In terms of function, Virtual Reality is a simulation of some aspect of the real world, whether it be a walk through an environment, or a military combat simulation. [...] Some of the major areas pertaining to VR include simulation and modeling, and of course, entertaining, as well as education.“



Ob allerdings wirklich immer ein Aspekt der realen Welt simuliert wird („simulation of some aspect of the real world“), bleibt an dieser Stelle noch offen.

Zusammenfassend kann Virtuelle Realität als eine in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen vom Computer generierte, meist dreidimensionale Umgebung bezeichnet werden, in welcher einem Anwender über eine entsprechende Benutzerschnittstelle und einer Grafikausgabetechnik des Systems in Echtzeit ermöglicht wird, in eine Modell- bzw. simulierte Welt hineinzutauchen, in ihr zu agieren, manipulieren bzw. interagieren und sie zu erkunden. Die künstlich generierte Welt erscheint dem Nutzer während der Anwendung als reale Umgebung bzw. als Erweiterung einer existierenden Umgebung, die ihm erlaubt, sinnliche Erfahrungen außerhalb der physikalisch existierenden Wirklichkeit zu machen<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Zum Vergleich lohnen sich die verschiedenen Definitionen von Virtueller Realität, die Sven Bormann ausschnittsweise darstellt (Bormann, 1994, 25ff).

## 2. Kurze Geschichte der Virtuellen Realität

Die Gefahr, die beim Schreiben einer Mediengeschichte auftritt, ist die einer teleologischen Konstruktion, im Sinne des Fortschrittsdenkens der europäischen Aufklärung. Die Betrachtung einer Medienentwicklung erfolgt häufig – bewusst und unbewusst – aus eben der Perspektive, die das betrachtete Medium zum Zeitpunkt der Beschreibung zulässt. Es kommt schnell der Eindruck zustande, als seien die, dem aktuellen Medium vorhergehenden Techniken, allein für das medientechnische Endergebnis entwickelt worden. Nur selten sind aber medientechnische Entwicklungen Teil eines linearen, zielgerichteten Prozesses, der in dieser Weise auch zu interpretieren wäre. Vielmehr kann man von sprunghaften, diskontinuierlichen Prozessen, Rückgriffen auf „vergessene“ technische Konstruktionen und der Abhängigkeit von unabhängigen Faktoren sprechen. Folgenreiche, revolutionierende Umbrüche sind mitunter historisch weit gestreut und können in einer chronologischen Aufbereitung schwer dargestellt werden.

Ich kann mich in dieser Arbeit nicht grundsätzlich von dem Problem der teleologischen Geschichtsschreibung freisprechen, besonders deshalb, da der Beschreibungsumfang der Geschichte recht begrenzt sein soll und die vorhandene technikpublizistische Information oft nur den Maßstäben einer linearen, gerichteten Geschichtsschreibung dient. Ich versuche allerdings die Geschichte der Virtuellen Realität möglichst reflektiert darzustellen, auch wenn die chronologische, exemplarische Aufbereitung andere Schlüsse zulässt. Die Heterogenität der Entwicklung von Virtueller Realität, die Anwendung in vielfältigen Bereichen, die Teilhabe vieler verschiedener Forscher und Institutionen, der Rückgriff auf filmtechnische wie militärtechnische Entwicklungen sowie insbesondere die Mehrteiligkeit (Ein-/Ausgabegeräte, Hardware/Software) eines VR-Systems zeigen deutlich, dass Virtuelle Realität nicht plötzlich entstand, und die Beschreibung einer linearen Entwicklung von vorneherein nicht zulässig sein kann.

Ich verzichte in dieser Arbeit außerdem auf die Beschreibung der medientechnischen Grundlagen, die bereits im 18. und 19. Jahrhundert gelegt

wurden. Dazu gehören u.a. die Erfindung des Panoramas und der Stereoskopie<sup>19</sup> sowie die frühen Erfindungen, die zur heutigen Computertechnik<sup>20</sup> führten.

## 2.1. Technik-historische Grundlagen Anfang bis Mitte des 20. Jh.

Für die Entwicklung in die Richtung heutiger Formen von Virtueller Realität werden technisch-historisch meist zwei Ursprünge genannt. Einerseits Entwicklungen, die auf militär-technischen Erfindungen Ende der 20er Jahre basieren, andererseits Interessen der Filmtechnik in den 30er Jahren, welche die große Idee eines „Kinos der Zukunft“ verfolgten (vgl. Halbach, 1994, 231).

<sup>21</sup>Sehr früh bereits war in militärischen Bereichen bekannt, dass Flugsimulatoren, die eine möglichst genaue Darstellung von Wirklichkeit garantieren sollten, den sensorischen Apparat des Nutzers ansprechen mussten. Die Ermöglichung von Körpererfahrung war den frühen Flugsimulatoren als technische Notwendigkeit daher von Beginn an eingeschrieben. In dem wohl bekanntesten, von Edward L. Link, ursprünglich Erbauer von Orgeln und luftbetriebenen mechanischen Klavieren, 1927-1929 entwickelten *Efficient Aeronautical Training Aid – A Novel Profitable Amusement Device* dominierte die sensorische Erfahrung die visuelle. Bis dahin waren Übungen zum Fliegenlernen an Trainingsapparaturen aufgrund der ausschließlichen Bedienung von Instrumenten, somit der „Aussetzung des Realen“, nur als „Blindflüge“ bekannt (vgl. Pias, 2002, 68)<sup>22</sup>. Der erste *Link Trainer*, somit wohl auch der erste Flugsimulator im heutigen Sinne, war ein einfaches Cockpit auf einer beweglichen Plattform, die auf Zündung und Bedienung des Steuerknüppels mit Vibrationen reagierte. Erst später, im Laufe des Zweiten Weltkrieges, wurde der *Link Trainer* den Ausbildungsbedürfnissen der Royal und United States Air Force angepasst und es wurde versucht zu einer neuen Bildlichkeit bzw. Sichtbarkeit zu kommen. Er erhielt neben dem Erscheinungsbild eines Kampfflugzeuges, Lautsprecher mit Motorengeräuschen sowie als

---

<sup>19</sup> Vgl. dazu beispielsweise Crary (1996), Hick (1999) oder auch Grau (2002).

<sup>20</sup> Als Vorläufer der Computertechnik werden für das 17. Jahrhundert meist die Rechenmaschinen von Blaise Pascal und Gottfried Wilhelm Leibniz genannt, für das 19. Jahrhundert gilt Charles Babbage als wichtigster Vordenker (vgl. Bense, 1999).

<sup>21</sup> Einen erbaulichen Überblick über die VR-Geschichte gibt Rheingold (1992).

<sup>22</sup> Frühe Flugtrainingsgeräte, wie der Sanders Teacher oder der Billing Trainer, wurden gebaut, da die ersten schweren Flugunfälle bereits um 1910 zeigten, dass die Notwendigkeit bestand, die Ausbildung der Piloten sicherer, effektiver und kostengünstiger zu gestalten. Im ersten Weltkrieg intensivierte sich die Bemühungen um Trainingsgeräte, da eine weitaus größere Zahl von Piloten innerhalb kurzer Zeit benötigt wurden. (vgl. Rolfe/Staples, 1986)

Rückkopplungselement mit visuellem Ausgang eine einfache Horizontlinie, die mit dem Steuerknüppel des Simulators synchronisiert war. Mit dem gleichen Ziel koppelte A. E. Travis in seinem 1939/40 entwickelten *Aerostructor* die Instrumenteneingaben der Piloten mit Filmbildern. Im ebenfalls von Edward Link 1941 für die Royal Air Force konstruierten *Celestial Navigation Trainer*, der für damalige Verhältnisse gigantische Ausmaße annahm und einer gesamten Bomber-Crew Platz bot, lag der Fokus auf der naturgetreuen Nachahmung des Sternenhimmels. Anhand der installierten, für den Piloten sichtbaren, beweglichen Sternenkuppel konnten Nachtflugeinsätze und der gezielte Abwurf von Bomben bei Nacht trainiert werden.

Der Anspruch, aufgrund von komplexen Entwicklungen im Flugzeugbau und zur Kostenersparnis, einen universellen Flugsimulator zum Test von Pilot und Flugzeug zu entwickeln, nötigte die Hersteller bald, sich wie im Falle von *Whirlwind* mit programmierbaren Computern zu beschäftigen. In diesem 1951 realisierten Projekt wurden erstmals Kathodenstrahlröhren als grafisches Display eingesetzt (vgl. Pias, 2002, 68ff.). Die Verbindung von Flugsimulatoren mit Analogrechnern in den Bell Labs und bei Western Electric erlaubte bis 1943 die Entwicklung von 30 Flugsimulatoren verschiedener Flugzeugtypen. 1948 wurde der erste Flugsimulator mit entsprechendem realen Vorbild, einer Boeing 377 Stratocruiser der Pan American, gebaut. In den 60er Jahren galten die *Synthetic Flight Training Systems*, die Nachfolgemodelle des Link Trainers, bereits als Äquivalente, zumindest im Sinne des Trainingseffekts, der realen Welt (vgl. Halbach, 1994, 241). Verantwortlich für die stetige Verbesserung der Simulatoren waren der rasante Wachstum der privaten Luftfahrtindustrie und noch viel mehr die technischen Ansprüche sowie die mit der nuklearen Gefahr steigenden Bedürfnisse der US Air Force (vgl. Rheingold, 1992, 309). Einen Schub nach vorn für die visuellen Elemente der Simulation brachte in den 50er Jahren der Einsatz von Videobildern an Stelle von Filmbildern als Projektion der Sicht aus dem Cockpit. Die Videokameras konnten aufgrund der nun möglichen Gleichzeitigkeit von Aufnahme und Abspielung mit den Steuerinstrumenten der Simulatoren gekoppelt werden. Miniaturmodelle von Landschaften, Landebahnen und Flugzeugträgern, die synchron zu Steuermanövern der Piloten aufgenommen wurden, trugen wesentlich zu einem verstärkten Wirklichkeits- und Immersionsgefühl der Flugschüler bei. Das Videobild wurde schließlich

Ende der 60er Jahre großflächig von flexibleren Computer-animationen ersetzt, obwohl es in einigen Bereichen sogar noch heute Anwendung findet.

Im Bereich des Films gab es bereits in den 20er Jahren Versuche mit großflächigen, stereoskopischen Projektionen, wie zum Beispiel Lorenzo de Riccio's *Magnascope*. Erst der erzwungene Wettkampf um die Zuschauergunst mit dem aufkommenden Fernsehen konnte aber den technischen Fortschritt entscheidend anstoßen. In den Jahren 1952-54, in denen Hollywood über 65 stereoskopische Filme erstellte, wurde das dreidimensionale, großformatige als das ‚next big thing‘ des Kinos gefeiert. Erstmals verließen die Bilder scheinbar die Leinwand. Fred Waller setzte dagegen bereits in den 30er und 40er Jahren erste technische Maßstäbe. Das Projektionssystem *Vitarama*, ein Vorläufer des ebenfalls von ihm entwickelten *Cinerama*, entstand Ende der 30er Jahre und wurde im zweiten Weltkrieg, den Anforderungen einer Gefechtssimulation entsprechend, angepasst. Der *Waller Flexible Gunnery Trainer* projizierte den Film eines angreifenden Flugzeugs. Ein elektro-mechanisches System erlaubte das Abschießen der Flugzeuge und gab bei erfolgreichen Treffern eine positive Rückkopplung in Echtzeit (vgl. Davide/Ijsselsteijn/Riva, 2003).

Die Idee, den Zuschauer selbst scheinbar in den Mittelpunkt des visuellen Geschehens zu setzen, und damit das visuelle Feld der kinematographischen Erfahrung dem natürlichen Sichtfeld des Menschen anzupassen, war im Grunde eine bloße Fortentwicklung der Panorama-Bauten des 19. Jahrhunderts. Die Umsetzung für das Kino bedurfte zusätzlich einiger technischer Feinheiten, wie im Falle des *Cineramas*, der Gebrauch von mehreren synchronisierten, im Aufnahmewinkel versetzten Kameras, Projektoren und halbkreisförmigen Leinwänden. Der erste Cineramafilm „This is Cinerama“ entstand daher auch erst 1952. Bald darauf startete am Broadway für kurze Zeit erfolgreich das erste Cinerama-Theater (vgl. Halbach, 1994, 233), bevor die kostenintensive Show überraschend vom günstigeren *CinemaScope* von Twentieth Century-Fox's abgelöst wurde. Als Produkt der militärischen und filmischen Erkenntnisse wurden später allerdings noch Link Trainer mit Cinerama-Prinzip betrieben, in denen Projektionen des Flugbilds das Cockpitfenster ersetzen. Omnimax-Projektorensysteme funktionieren noch heute nach den Cinerama-Prinzipien, einzig die Leinwand wurde von einer gigantischen halbrunden Kuppel, unter der sich die Zuschauer versammeln, abgelöst.

Multimediale Inszenierungen mit mehreren Projektions-Wänden, Rundum- und Würfel-Leinwänden, mit interaktiven Ton-, Licht- und Bildinstallationen sowie vibrierenden Sitzen und Geruchssimulatoren, die versuchten ein Live-Erlebnis zu simulieren, waren in den 60er Jahren zahlreich (vgl. Weibel, 1993). Der entscheidende Schritt in Richtung Virtueller Realität gelang aber, auf Grundlage und mit dem Wissen um die beschriebenen analogen Techniken, dem Filmmacher und Kameraentwickler Morton L. Heilig. Nach der Entwicklung eines Vorläufermodells, dem *Experience Theatre* (1955), patentierte er erst den *Stereoscopic Television Apparatus for Individual Use* (1960), einem Vorläufer des Head-Mounted Displays (HMD – siehe Kapitel 2.4.1.), und kurze Zeit später bereits den *Sensorama Simulator* (1962).

„Beide Patente sind so grundlegend für Virtuelle Realität wie Integrierte Schaltkreise für den Personal Computer, und dennoch haben sie in ihrer Laufzeit wenig zu schützen gehabt, denn sie waren – technikgeschichtlich gesehen – so verfrüht wie Charles Babbages *Difference Engine*.“ (Halbach, 1994, 232)

Andererseits bestehen bei genauerer Betrachtung der Technik (s.u.) des Sensoramas erhebliche Differenzen zur heutigen Form der virtuellen Realitäten (vgl. Thürmel, 1993, 41). Pias bemerkt dazu:

„Wenn aber das Entscheidende des Medienverbundes *virtual reality* gerade in der Integration aller Sinnesreize auf *einer* technischen Basis liegt, dann ist Heilig alles weniger als der „Vater der VR“. Seine Versuche gehören eher in die Krise des Kinos und seiner Erweiterung in Richtung eines *expanded cinema* [...]“ (Pias, 2002, 87)

Solange die Apparate auf analoger statt auf digitaler Grundlage operierten, ist ein technischer Vergleich allerdings auch kaum möglich, vielmehr geht es darum, die im Hintergrund stehenden Ideen, Wünsche und Utopien der entstehenden Techniken zu vergleichen.

Die scheinbare Möglichkeit, mit Film- und Fernsehetechniken eine künstliche Umgebung zu schaffen, die der realen Welt entspricht, erlaubte Gedanken, die zu dem damaligen Stand der Technik in die Nähe von Science-Fiction rückten. Der Anreiz der baldigen Umsetzung ließ allerdings keinen Zweifel zu, ob die Komplexität des menschlichen Sinnesapparates in seiner Gänze überhaupt zu simulieren sei. Das „Kino der Zukunft“, Heilig war neben der militärischen Anwendungen seiner Erfindungen auch immer darauf bedacht den Amusement-Faktor einzubeziehen, bestand daher natürlich auch aus mehr als nur visuellen Eindrücken.

„Ein Band des Kinos der Zukunft ist eine Rolle von magnetischen Bändern mit einer separaten Spur für jede Art von Sinnesmaterial. Wenn diese Probleme gelöst sind, ist es einfach, sich das Kino der Zukunft vorzustellen. Öffne deine Augen, höre, rieche und fühle

die Welt in all ihren phantastischen Farben, Tönen, Gerüchen und Texturen – das ist das Kino der Zukunft.“ (Heilig zit. nach Halbach, 1994, S. 234f.)

Die Umsetzung dieser Ideen von 1955 gelang Heilig mit dem Sensorama Simulator und der Fixierung der Auslöser für die vielfältigen Sinnesreize auf entsprechenden Filmspuren. So konnten auf einer Motorrad- bzw. Autofahrt durch Brooklyn neben den bekannten Bewegungen auch Geruchseindrücke aus einer „Aroma-Bank“, gesteuert von „geruchsleitenden Einheiten“ und Abluftdüsen, wie „billigem“ Parfüm in der 27th Avenue und Pizzageruch in Little Italy wahrgenommen werden (vgl. Halbach, 1994, 235). Die Möglichkeit von Interaktion zwischen Medium und Anwender bestand allerdings, im Gegensatz zum Link Trainer mit integriertem und rückgekoppelten Steuerknüppel, nicht. Dennoch ließ es sich Heilig nicht nehmen, in der Patentschrift des eigentlich als Spielhallenautomaten konzipierten Sensoramas, auf die so nützliche Anwendung für Militär und Wirtschaft hinzuweisen, die der „Simulator“ ermöglichte:

„Es besteht heutzutage zunehmend Bedarf an *Unterrichts-* und *Trainingsmethoden*, bei denen die Unterrichteten den möglichen Gefahren bestimmter Situationen nicht ausgesetzt werden. So muss das *Militär* Männer in der Benutzung und Wartung von außerordentlichen komplizierten und potenziell gefährliche Geräten *unterweisen*, wobei es wünschenswert ist, diese Männer unter kleinstmöglicher Gefahr für ihr Leben und unter kleinstmöglicher Beschädigung der wertvollen Ausrüstung auszubilden. Auf der anderen Seite ist die *Industrie* angesichts der heutigen schnellen Entwicklung automatischer Maschinen mit einem ähnlichen Problem konfrontiert. Auch hier geht es darum, die *Arbeiter* ohne Begleitrisiken auszubilden.“ (United States Patent Office, No. 3,050,870 vom 28.8.1962 zit. nach Pias, 2002, 88)

Die Fortentwicklung der komplizierten Technik scheiterte dann allerdings dennoch an den nicht vorhandenen Geldgebern.

Zu diesem Zeitpunkt war das „Eintauchen“ in mediale Realitäten somit schon weitgehend möglich. Die an die alltägliche Raumerfahrungen angepassten Techniken, wie stereoskope Displays, Stereosound, Fahrtwindsimulatoren und Bewegungssimulatoren, ließen erstmals, bei entsprechender Nutzung des Geräts, Immersionserfahrung zu, die mit der Erfahrung in heutigen Virtuellen Realitäten vergleichbar ist. Das mediale Ereignis rückte im Sensorama Simulator zugunsten einer ganzheitlich stimulierenden, körperlich-visuellen Raumerfahrung in den Hintergrund, in der das Interface bereits aus dem Wahrnehmungsbereich des Anwenders verschwand. Ein aktives Bewegen im Raum, einer im Husserlschen Sinne „erkundenden Leibbewegung“<sup>23</sup>, die zur Konstitution des Raumes und der

---

<sup>23</sup> Edmund Husserl beschreibt in „Ding und Raum“ die Konstitution des Raumes als Resultat von Bewegungen. Er unterscheidet zwischen sich bewegen, aktiver und bewusster

Akzeptanz medialer Wirklichkeiten entscheidend beiträgt, konnte aufgrund einer noch beschränkten Technik nicht erreicht werden. Im Vergleich zum Film ergaben sich aber in Bezug auf die Raumerfahrung, insbesondere durch die Dreidimensionalität, vollständig neue Perspektiven. Heute gilt der nie in Serie produzierte Sensorama Simulator als Vorläufer von Simulationstechnologien, die dem Erlebniskino in Multimedia-Freizeitparks nahe stehen.

## 2.2. Digitale Quantensprünge

Die Entwicklung des ersten elektronischen Digital-Rechners *ENIAC* (Electronic Numerical Integrator and Computer) (vgl. Mainzer, 1994) an der Universität von Pennsylvania in den frühen vierziger Jahren durch John von Neumann sowie die Idee des „Personal Computers“, eines Computers der für die Nutzung einer einzigen Person vorgesehen war, bildeten die technische Grundlage für die Entwicklung von Virtuellen Realitäten in der heutigen Form<sup>24</sup>. Einen wesentlichen Einfluss hatten ideengeschichtlich aber auch insbesondere die neurologischen, mathematischen und kybernetischen Arbeiten der 40er und 50er Jahre<sup>25</sup>. Norbert Wiener und Julian Bigelow führten beispielsweise 1942 den Begriff des Feedbackmechanismus ein, der das Modell einer interaktiv erfahrbaren künstlichen Welt bereits implizierte. „Die Veränderung der Position und der Perspektive eines Betrachters und das (perspektivisch und maßstäbliche) Erscheinen eines Bildes bzw. Objektes werden zu rekursiven Wechselwirkungen“ (Weibel, 1993, 18). Das Nervensystem (durch Heinz von Foerster und Warren McCulloch) und schließlich die Wirklichkeit selbst, wurden als geschlossene Errechnungssysteme betrachtet.

„Die Errechenbarkeit der Ereignisse im Nervensystem, wie auch der durch sie repräsentierten Klasse von Ereignissen in der Welt, auf der Grundlage von (multisensoriellen) Daten [...] transformierte allmählich die Idee der Wirklichkeit als Natur, als natürliche Gegebenheit, in die Idee der Wirklichkeit als eine künstliche Konstruktion und schließlich berechenbare Simulation“ (Weibel, 1993, 19f.)

---

Leibbewegung, und bewegt werden, wobei das Sich-Bewegen Raum konstituiert. Diese kinästhetischen Empfindungen können durch vikariierende, stellvertretende, surrogate Empfindungen, die bspw. über Simulatoren erzeugt werden, ersetzt werden, so dass sie als normale Umwelt-Erfahrungen wahrgenommen werden (vgl. Husserl, 1991). Vgl. außerdem Kapitel Drei dieser Arbeit.

<sup>24</sup> 1936, bereits einige Jahre vor der gerätetechnischen Realisierung, legte Alan Turing die Idee eines universellen Automaten vor, der Turing-Maschine, die noch heute die Funktionsstruktur der meisten Computer bestimmt (vgl. u.a. Mainzer, 1994).

<sup>25</sup> Vgl. allgemein zum Thema Kybernetik: Cube, Felix von (1972).



Mitte der 50er Jahre arbeitete bereits die Mehrzahl der amerikanischen Forschungseinrichtungen mit Digitalcomputern und es wurden die Grundlagen für den interaktiven Umgang mit elektronischen Bildern geschaffen. Als erstes ermöglichte der zwischen 1945 und 1952 am MIT entwickelte *Whirlwind*-Computer die Interaktion in Echtzeit. Zunächst für den Betrieb als Flugsimulator gedacht, wurde Whirlwind nach 1950 auch für die Flugabwehr eingesetzt und bekam 1951 statt der Lochkartenausgabe einen Monitor als „erstes visuelles dynamisches interaktives Display“ sowie als Interaktionsgerät den so genannten „Lichtstift“ (vgl. Dinkla, 1997, 50f.). Die Rüstungsindustrie spielte bei der Finanzierung der Entwicklung die zentrale Rolle. Die Digitalisierung und die daraus resultierenden technologischen Fortschritte, insbesondere Erfindungen zur Miniatisierung der Computer, wie Transistoren und integrierte Schaltkreise, ließen die Kosten weiter sinken und eine Leistungsfähigkeit der Rechner erreichen, die mit bloß analoger Technik bis dahin nicht vorstellbar war. Die zweite Generation digitaler Computer, mit größerer Geschwindigkeit und Verlässlichkeit, löste im Rahmen der Entwicklung von Flugsimulatoren den analogen Computer vollständig ab. Nur so war die gewünschte Echtzeit-Flug-Simulation zu realisieren. Der *UDOFT* (Universal Digital Operational Flight Trainer) der University of Pennsylvania und der wiederum von Edward Link entwickelte *Link Mark I* waren die ersten Echtzeit-Simulatoren auf digitaler Basis. Auch die ersten digital gesteuerten Bewegungssysteme für Flugsimulatoren, wie der *Comet IV* Simulator, wurden zu dieser Zeit auf den Markt gebracht.

Neben der Entwicklung von Flugsimulatoren nutzten auch andere Bereiche die Vorteile des Digital-Computers. Am Stanforder Augmentation Research Center (ARC) entwickelte Douglas Engelbart, einer der am häufigsten genannten VR-Pioniere, erste Computer-Werkzeuge zur Herstellung „außerordentlich raffinierter Bilder“, die aus heutiger Sicht am Anfang der Entwicklungslinie von Virtuellen Realitäten stehen<sup>26</sup>. Die wichtigste seiner Überlegungen, die Computern als Synonym für „Denkverstärker“ betrachtete, fasst Howard Rheingold (1992, 105) wie folgt zusammen:

„Wir müssen audiovisuelle Medien entwickeln, die eine enge Verbindung zwischen den Wahrnehmungs- und Erkenntnisfähigkeiten des Menschen einerseits und den Wiedergabe- und Rechenfähigkeiten des Computers andererseits herstellen. Dadurch steigern wir die

---

<sup>26</sup> Vgl. Engelbart, 1999.

Leistung der wichtigsten Werkzeuge, die wir für die Auseinandersetzung mit der Welt mitbekommen haben – unsere Fähigkeit zum Wahrnehmen, Denken, Analysieren, Schlussfolgern und zur Kommunikation.“

Ein weiterer Computerpionier, J. C. R. Licklider, nutzte in der Advanced Research Projects Agency (ARPA) den Computer statt zur Daten- oder Stapelverarbeitung zur Darstellung von wissenschaftlichen Modellen. Licklider selbst, am MIT als Professor für Psychoakustik tätig, konnte mit Hilfe dieser Computertechnik am PDP-1 mathematische Modelle zum Verständnis des menschlichen Hörens darstellen. Er benötigte dafür ein interaktives Echtzeit-Instrument mit einer geeigneten Schnittstelle, die er später in seinem berühmten Artikel „Man-Computer Symbiosis“<sup>27</sup>, eine „cooperative interaction between men and electronic computers“, nannte, und die Grundlage für die Hardware der VR-Technologie darstellen sollte. Das Information Processing Techniques Office (IPTO), dessen Direktor Licklider im Oktober 1962 wurde, finanzierte bewusst fortschrittliche Technologien, aus denen dann später die Computer, Displays und Eingabegeräte für Virtuelle Realitäten entstanden.

Sein Nachfolger als IPTO-Direktor, Ivan Sutherland, konstruierte endlich 1965 das erste HMD<sup>28</sup> und setzte damit einen Meilenstein zur visuellen Präsentation computergenerierter Welten, dem eigentlichen Anfang aller Virtueller Welten (vgl. Rheingold, 1992, 117). In seinem bekanntesten Werk, „The Ultimate Display“, forderte er, den Bildschirm des Computers von da an als ein Fenster in eine virtuelle Welt zu betrachten (vgl. Sutherland 1965, 506 zit. nach Bormann, 1994, 25). Sutherlands Idee des mit einem Digital-Rechner verbundenen HMDs, des „Zauberspiegels, der in ein mathematisches Wunderland führte“ (Sutherland, 1965, zit. nach Rheingold, 1992, 14), war nicht neu. Die Erfinder der Stereoskopie und später auch Morton Heilig experimentierten schon früher mit verschiedenen Brillentypen zur Erzeugung räumlicher Illusion. Der entscheidende Unterschied war, dass Sutherland, mit den nötigen finanziellen Mitteln von militärischen Institutionen, die Heilig nicht zur Verfügung standen, kleine Computerbildschirme in eine binokulare Brille montieren konnte, so dass für den Nutzer Eingriffe in der nun virtuellen Umgebung in Echtzeit möglich waren.

---

<sup>27</sup> Vgl. Licklider, 1999.

<sup>28</sup> In der Literatur finden sich Hinweise auf ähnliche Systeme, die bereits früher entstanden, wie z.B. das „Philco Corporations’s Headsight Television Surveillance System“ aus dem Jahre 1961 (vgl. Kalawsky, 1994; Dinkla, 1997). Ivan Sutherlands HMD gilt allerdings weithin als wichtigster Meilenstein der Entwicklung.

„Dem dreidimensionalen Display liegt die Idee zugrunde, dem Benutzer ein perspektivisches Bild zu präsentieren, das sich mit seinen Bewegungen verändert. [...] Zwar ist die Stereodarbietung wichtig für die dreidimensionale Illusion, doch weniger wichtig als die Veränderung, die mit dem Bild vor sich geht, wenn der Beobachter seinen Kopf bewegt. Das Bild, das sich im dreidimensionalen Display darbietet, muß sich auf genau die Weise verändern, wie sich das Bild eines realen Objektes verändern würde, wenn der Benutzer ähnliche Kopfbewegungen machte.“ (Sutherland, 1968 zit. nach Rheingold, 1992, 154)

Sutherland setzte die Forderung Lickliders nach einem „engen Kontakt zwischen menschlichen Geist und Computer“ konsequent um, und beharrte, wie Heilig schon vor ihm, auf einer multisensorischen Erfahrungsdimension.

Der erste erfolgreiche Einsatz eines HMD-Systems in Verbindung mit einer VR-Software wurde schließlich von Sutherland, inzwischen an der Universität von Utah tätig, und seinen Mitarbeitern am 1. Januar 1970 in Salt Lake City erreicht. Das Drahtgerüst eines Würfels mit der Kantenlänge von 5 Zentimetern wurde zum ersten virtuellen Bild, das mittels eines HMD-Systems betrachtet werden konnte. Das System wurde bald als „Damoklesschwert“ bekannt, da die Hardware über dem Kopf des Benutzers an beweglichen Kodierstangen hing. Die komplizierte Verknüpfung der sechs Teilgeräte konnten nur am Neujahrmorgen geschehen, da die jeweiligen Entwickler, die normalerweise ununterbrochen an den Geräten arbeiteten, in der Nacht zuvor feierten und somit die Geräte frei standen um schließlich Howard Rheingolds spätere Idee der „Cyberdozer“ in Bewegung zu bringen.

„Ein *Clipping Divider* ein *Matrixmultiplikator*, ein *Vektorgenerator*, eine *Kopfarmatur*, ein *Kopfpositionsmesser* und ein *Universalrechner* bildeten die erste Wirklichkeitsmaschine. Diese spezifischen Geräte erzeugten die erste virtuelle Realität. Sie waren die „Cyberdozer“, die den Baugrund für die virtuelle Welt planierten.“ (Rheingold, 1992, 157)

Die Kernelemente des Systems waren die Erzeugung einer dreidimensionalen Perspektive mittels binokularer Displays, eine dreidimensional wahrnehmbare Computergrafik und ein Gerät zur Verfolgung der Blickrichtung, das sogenannte Tracking. Zur Echtzeit-Bestimmung der Kopfposition nutzte Sutherland allerdings, wohlwissend um die Übergangslösung, noch ein umständliches, die Bewegungsfreiheit einschränkendes, mechanisches und damit analoges System, das aber der digitalen Technik zur damaligen Zeit noch überlegen war.

„Der Clipping Divider und der Matrixmultiplikator empfangen Informationen vom Kopfpositionssensor, wandelten sie um und gaben diese Resultate an den Vektorgenerator weiter, der die Aufgabe hatte, die richtigen Vektoren auf den Bildschirm zu „zeichnen“. Die Bildschirme gehörten zur Kopfarmatur, die der Benutzer trug. Die Monitore waren 15 Zentimeter lang und hatten einen Durchmesser von 2,1 Millimetern. Sie waren an den Schläfen befestigt und projizierten von den Ohren aus wie kleine Taschenlampen. Das von ihnen emittierte Licht wurde durch eine Reihe von Linsen gebrochen und von halbdurchlässigen Glasplatten dergestalt reflektiert, daß ungefähr 35 Zentimeter vor dem

Benutzer ein virtuelles Bild entstand. Es schien die physische Welt zu überlagern.“ (Rheingold, 1992, 160)

Neben dem Würfel entstanden in der Folgezeit noch ein Molekularmodell und mit der größeren Leistungskapazität des DEC PDP-10 Rechners sogar ein virtuelles Zimmer. Viele weitere Entwicklungen galten später hauptsächlich experimentellen Anwendungen im medizinischen Bereich. Beispielhafte Projekte, wie die Entwicklung von haptisch/kinästhetischen Display-Systemen im Rahmen der GROPE Forschungsreihe durch Frederick Brooks im Jahr 1967 (vgl. Bormann, 1994; Kalawsky, 1994), wurden an der University of North Carolina und am MIT durchgeführt, stießen aber aufgrund fehlender Rechenleistung schnell auf ihre Grenzen.

Sutherland selbst betrieb ab 1968 ein Unternehmen (Evans & Sutherland), das militärische Flugsimulatoren herstellte und befand sich damit zugleich in der Branche, welche in Zukunft die treibende Kraft in der VR-Grundlagenforschung darstellen sollte. Der Bedarf an hochentwickelten Sichtgeräten für die US Air Force sorgte für die stetige technische Weiterentwicklung, die allerdings erst in den 80er Jahren mit einer erhöhten Leistungsfähigkeit der Computer in befriedigende Resultate umgesetzt werden konnte. In den 70er Jahren wurde es folglich erstmals wieder still um die Virtuelle Realität. Die Forschung war an ihre technischen Grenzen gestoßen.

### **2.3. Der erneute Aufschwung in den 80er Jahre**

Die gesteigerte Rechenleistung der Computer in den 80er Jahren und der anhaltende Ost/West-Konflikt, der die finanziellen Mittel garantierte, die das Militär in VR-Technik investierte, ermöglichte die Fortsetzung der in den Jahren zuvor ausgesetzten Projekte. Gleichzeitig wurde die Virtuelle Realität auch für die Unterhaltungsindustrie interessant; einhergehend mit der weiteren Institutionalisierung von VR-Forschung und dem Aufbau vieler kleinerer Firmen wurde dies ein weiterer entscheidender Antrieb für die „Renaissance der VR“ (vgl. Bormann, 1994, 41). Thürmel weist mit Hinweis auf Rheingold, der von einer „Konvergenz von Technologien“ spricht, auf einen „technology push“ in zwei Schritten hin. Erst wurden die Möglichkeiten, d.h. die Rechenkapazitäten geschaffen, dann wurde auf dem Gebiet der Virtuellen Realität selbst wieder die Arbeit aufgenommen (vgl. Thürmel, 1993, 42). Im Folgenden gebe ich eine

kurze exemplarische Darstellung über beispielhafte, entscheidende Entwicklungen.

Der Gründer von Silicon Graphics und gleichzeitige Schüler von Sutherland, James Clark, konnte beispielsweise Ende der 70er Jahre die HMD-Idee weiterentwickeln. M.A. Callahan von der Architecture Machine Group am MIT, die zuvor bereits die berühmte „*Aspen Movie Map*“-Simulation<sup>29</sup> hergestellt hatte, adaptierte die HMD-Technik schließlich 1983 für den Personalcomputer (vgl. Weibel, 1993). Weitergehend entwickelte Thomas Furness 1982 auf Grundlage der Forschung Sutherlands das erste funktionsfähige Flugsimulationssystem *VCASS-System* (Visually Coupled Airborne Systems Simulator), das später unter dem Projektnamen „Super-Cockpit-Programm“ mit Techniken wie Augentracking, Spracheingabesystem, Glasfasertechnik und taktile Rückkopplung Furore machte (vgl. Bormann, 1994, 41 sowie Rheingold, 1992, 316).

1985 wurden bei der NASA erstmals LC (liquid crystal)-Displays in die Bildschirmbrillen eingebaut. Die in Japan von der Citizen Watch Company entwickelte Bildschirmtechnik war ursprünglich für einen Mini-Fernseher vorgesehen. Die Größe der Bildmonitore ließ die Technik aber auch für die VR-Entwicklung nutzbar machen und löste eine Revolution in der HMD-Herstellung aus.

Die dreidimensionale Betrachtung von Molekülen, mit der wie beschrieben bereits in den 60er Jahren experimentiert wurde, konnte 1986 erfolgreich an der UNC im Rahmen der Versuchsreihe *GROPE I/II/III* weiterentwickelt und perfektioniert werden. Entscheidende Arbeiten wurden auch von Scott S. Fisher zwischen 1986 und 1988 am Ames Research Center der NASA durchgeführt. Das *VIEW-System* (Interactive Virtual Interface Environment Workstation) integrierte alle bis dahin bekannten VR-Systeme:

„Es bot eine virtuelle audio- und stereoskopische Bildumgebung, welche auf Position, Stimme und Gesten des Benützers reagierte. Eine neue Art von Darstellungs- und Kontrollumgebung, nämlich eine künstliche und interaktive, war gebaut worden. Das Audio- und Videobild- bzw. Computerbild-Material scheint den Benützer im dreidimensionalen Raum vollständig zu umgeben. Der Benützer kann eine künstliche, synthetisch erzeugte, computergenerierte oder eine fernwahrgenommene Umwelt über einem 360-gradigen Winkel erforschen. Handschuhähnliche Vorrichtungen bieten die Möglichkeit der interaktiven Manipulation virtueller, 3-dimensionaler, computererzeugter Objekte in virtuellen Welten in Echtzeit.“ (Weibel, 1993, 26)

---

<sup>29</sup> Die Simulation, Ende der 70er Jahre entwickelt, beruht auf Bildmaterial der Straßen der Stadt Aspen. Auf einer interaktiven Fahrt konnte der Benutzer mit selbstgewählter Geschwindigkeit individuelle Routen fahren und sogar in einige Gebäude eintreten.

Die 1984 von Jaron Lanier, dem selbsternannten Cyberspace-Guru, und Thomas Zimmermann gegründete Firma Virtual Programming Languages (VPL) in Kalifornien entwickelte zusammen mit der NASA verbesserte Eingabegeräte wie den *DataGlove* (1985) und später den *DataSuit*, durch die die Haltung der Hand und die Position des Körpers ermittelt wurde. Mit der *Reality Built for Two* gelang schließlich 1989 die erste Entwicklung eines VR-Systems, in welchem sich zwei Benutzer gleichzeitig in einer virtuellen Umgebung aufhalten und interagieren konnten. Für Lanier, dem „VR-Enthusiasten“ (vgl. Rheingold, 1992, 255), bedeuteten diese Entwicklungen den besonderen Wert der virtuellen Wirklichkeit, wie Herbert W. Franke und Oliver Riedel festhalten:

„Kommunikation mit anderen über große Entfernungen hinweg, gemeinsame Erlebnisse in unwirklichen Umgebungen, Erfahrungen mit virtuellen Körper, beispielsweise solchen mit für Menschen ungewohnten Gliedmaßen, die man dabei bedienen lernt.“ (Franke/Riedel, 1993, 16)

Zusammen mit anderen Software Firmen, wie z.B. Auto Desk, brachte VPL eine erste „VR-Lawine“ ins Rollen. Die vorsichtigen Forschungsarbeiten entwickelten sich immer mehr zu realistischen Technologien auf industrieller Basis.

Schon Anfang der 90er Jahre war allerdings eine Regulierung des Marktes zu beobachten<sup>30</sup>. Zwar stiegen weiterhin immer mehr Elektro-, Unterhaltungs-, und Telekommunikationskonzerne in das VR-Geschäft ein, eher aber aus der Notwendigkeit am Markt präsent und für die Zukunft bereit zu sein, als Gewinne zu erwarten, die der zivile und private Markt nicht hergab. Wenigstens aber die Literatur, von Medienutopisten und Cyberspace-Apologeten bestimmt, profitierte von den Verheißungen der Virtuellen Realität. Die VR-Technik konnte, schenkt man den Texten Glauben, ungebremst in nahezu alle Bereiche des zukünftigen Lebens eindringen. Tatsächlich arbeiteten aber in den sechs führenden VR-Hersteller Unternehmen nur 92 Mitarbeiter (vgl. Thürmel, 1993, 44) – eine vergleichsweise geringe Zahl, angesichts der Präsenz des Themas in den Medien. Dennoch war die Weiterentwicklung von VR-Systemen noch lange nicht zu Ende, wie die folgende Technikbeschreibung deutlich machen soll.

#### **2.4. Zustand Anfang des 21. Jahrhundert**

An dieser Stelle der Arbeit werden kurz die Grundlagen der Techniken der Virtuellen Realität dargestellt, wie sie sich Anfang des 21. Jahrhunderts

präsentieren. Dies soll einerseits den Fortschritt der Technik verdeutlichen und andererseits für den nicht in die Thematik involvierten Leser dieser Arbeit die Möglichkeit bieten, erwähnte Techniken und daraus resultierende Wahrnehmungsbedingungen einordnen zu können. Bormann bemerkt noch 1994:

„Demnach befindet sich die VR zur Zeit im gleichen Stadium, wie seinerzeit der Film Anfang des 20. Jahrhunderts: In den Jahrmärkten der Moderne, den Spielhallen und den Freizeitparks, hat die VR bereits Einzug erhalten und dient dort als Publikumsattraktion. Eine VR-Industrie oder -Infrastruktur ist noch nicht vorhanden, aber entwickelt sich gerade. Auch die Pioniere der VR-Technik beschäftigen sich heute überwiegend mit den technologischen Fragen und lassen die künstlerische und soziale Herausforderung durch die neue Technik noch weitgehend unberücksichtigt.“ (1994, 36)

Ähnliches könnte man interessanterweise auch heute, zehn Jahre später, noch sagen. Für die frühen Propheten und Verfechter der Virtuellen Realität Anfang der 90er Jahre kommt dies einer vorläufigen Niederlage gleich. In manchen Bereichen, z.B. in der Automobilindustrie und Architektur, hat sich die Virtuelle Realität allerdings mittlerweile zu einem häufig eingesetzten Medium gewandelt. Auch die später (siehe Kapitel Fünf) vorgestellten Projekte zeigen, dass VR-Techniken vermehrt Einsatz finden. Im Anschluss an die Beschreibung der Techniken werde ich daher die 1999 publizierten Einschätzungen von Frederick Brooks darstellen, mit denen ein positiveres Bild der VR-Entwicklung gezeichnet wird.

#### **2.4.1. Überblick über technische Voraussetzungen von VR**

Herkömmliche VR-Systeme lassen sich in drei wesentliche Gerätegruppen einteilen: Eingabegeräte, Ausgabegeräte sowie den Steuer-/Grafikcomputer inklusive Softwaresysteme für den Entwurf der VR-Welt<sup>31</sup>. Im folgenden stelle ich die einzelnen Techniken kurz vor:

##### 1) Eingabegeräte

Die Eingabegeräte haben die Aufgabe, Informationen über Position, Bewegung und Befehle des Benutzers der Virtuellen Realität in dreidimensionaler Auflösung an den Computer zu übermitteln.

Die Berechnung der natürlichen Handbewegung durch Datenhandschuhe (*data*

---

<sup>30</sup> Im Zuge dieser Regulierung ging auch Laniers Firma VPL Bankrott.

<sup>31</sup> Eine ausführliche Darstellung der technischen Voraussetzungen für Virtuelle Realitäten findet sich in Bormann (1994), Regenbrecht (1999) oder Vince (2004). Das ältere Datum der ersteren

*glove*), dient heute als erfolgreichste, da praktikabelste Eingabemöglichkeit innerhalb Virtueller Realitäten. Mittels der Datenhandschuhe können grafische Abbilder der natürlichen Hände des Benutzers erzeugt werden. Diese folgen simultan den körpereigenen Bewegungen der Hände des Benutzers und können über definierte Gesten das VR-Programm steuern. Sie erlauben es dem Benutzer virtuelle Gegenstände innerhalb der Simulation zu greifen, zu bewegen oder auf andere Weise zu manipulieren und können mit einem integrierten taktilen Feedbackmechanismen, bspw. über Vibrationen, die Berührung mit virtuellen Objekten vermitteln. Positionssensoren erkennen die Absolute Lage, Ausrichtung und Konfiguration der Finger und ermöglichen die Digitalisierung der Hand. Dementsprechend ermöglicht es der Datenanzug (*data suit*), Bewegungen und Positionen des gesamten Körpers an den Computer zu übertragen. Dieser Ganz-Körper-Anzug ist aber in der Handhabung wesentlich unbequemer. Desweiteren existiert eine Vielzahl einfacherer Interaktionsgeräte, die z.B. über Tastendruck eine Interaktion auslösen können. Dazu gehören u.a. diverse stiftförmige Zeigergeräte, die 3D-Mouse (s.u.) oder der „flying joystick“. Für alle Techniken von besonderer Bedeutung sind die Trackingsysteme, die je nach Einsatzzweck auf elektromagnetischer, mechanischer, akustischer oder optischer Grundlage operieren. Entsprechende Positionssensoren (*Tracker*) sind dafür an den jeweiligen Eingabegeräten befestigt und liefern die Daten für die aktuelle Berechnung der Lage des Benutzers oder auch beliebiger, mit Trackern ausgestatteter Interaktionsgeräten, innerhalb der VR-Umgebung.

Applewhite (1991, 3 zit. nach Bormann, 1994, 57) bewertet Positionssensoren anhand folgender spezifischer Eigenschaften, die je nach technischem Stand zu Problemen bzw. der Perfektionierung des virtuellen Systems beitragen können:

- Auflösung (kleinste wahrgenommene Positionswechsel)
- Genauigkeit (räumliche Abweichung zwischen gemessener und tatsächlicher Position),
- Aktualisierungs- oder Updaterate (Zeit zwischen den einzelnen Positionsmeldungen)
- Verzögerung bzw. Latenzzeit (Zeit zwischen Positionswechsel und der Meldung der neuen Position) und
- Wiederholbarkeit (Abweichung zwischen Start- und Endpunkt nach Vollführen einer Schleifenbewegung).

---

Texte beeinflusst die Qualität der gegebenen Informationen nur wenig, da die grundlegenden Komponenten gleich geblieben sind.



Neben den genannten Tracking-Systemen sind in der Reihe der Eingabegeräte noch die SpaceMouse oder 3D-Mouse und die so genannte „Tretmühle“ (*treadmill*) zu nennen. Die SpaceMouse, das Pendant zur herkömmlichen 2D-Computer-Mouse wird vor allem bei tischgebundenen VR-Systemen eingesetzt und ermöglicht die Steuerung in allen Freiheitsgraden. Die „Tretmühle“ ermöglicht die Simulation des Laufens in einer VR-Umgebung. Auf einem gesteuerten Laufband mit einer Art Lenker können Laufgeschwindigkeit und -richtung des Nutzers gemessen werden. Gleichzeitig wird dem Benutzer der Eindruck gegeben, er bewege sich von der Stelle.

## 2) Ausgabegeräte

Bormann (1994, 71) definiert als VR-Ausgabegeräte „alle Apparate, die in der Lage sind, menschliche Sinne zu reizen und so die Modellwelt des Computers für den Menschen wahrnehmbar machen.“ Dazu gehören visuelle, auditive, haptische, kinästhetische und auch, wie in Heiligs Sensorama, olfaktorische/gustatorische Systeme.

Als visuelle Systeme haben sich vor allem preiswerte Bildschirmbrillen bzw. Datenhelme (*EyePhones* oder *HMDs*) durchgesetzt, die entweder über moderne *LCOS*- (Liquid Crystal on Silicon) bzw. *LC-Displays* oder über herkömmliche Kathodenstrahlröhren, dem Benutzer stereoskopische Halbbilder über zwei Miniaturbildschirme vermitteln, die sich unmittelbar vor dessen Augen befinden. Dabei wird über die Optik der Eindruck simuliert, der Benutzer betrachte eine Projektionsfläche, die in gewisser Entfernung positioniert ist. Das gesamte System wird am Kopf getragen, dessen Bewegungen über gleichfalls integrierte Tracker erfasst werden. Als einziges Sichtsystem neben der später beschriebenen *CAVE* erlaubt die Bildschirmbrille die vollständige Immersion in die Virtuelle Umgebung. In der Pilotenausbildung werden meist halbimmersive Bildschirmbrillen (*see-through-HMDs*) verwendet, die mit Hilfe von halbdurchlässigen Spiegeln eine Überlagerung von computergenerierten Bildern und realer Umwelt ermöglichen, die als ‚Unterstützte Realität‘ oder ‚Augmented Reality‘ bezeichnet wird. Auch im industriellen Bereich werden mittlerweile häufiger Augmented Reality Projekte gefördert.<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Das seit 1999 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Zusammenarbeit mit Vertretern der Industrie unterstützte Projekt Arvika (Augmented Reality for

Alternativen zu den mitunter unhandlichen Bildschirmbrillen stellen insbesondere Großprojektionen und Desktop-Systeme dar. Bei ersteren projizieren Beamer die Bilder auf große Leinwände, die bei entsprechender Aneinanderreihung einen großen Teil des Blickfeldes einnehmen und zu einer „Quasi-Immersion“ (vgl. Bormann, 1994, 81) führen können. Um einen stereoskopische Effekt zu erzeugen, werden die Projektionen mit verschlussgesteuerten Brillen (LCD Shutter) oder Polarisationsbrillen kombiniert. Einer ähnlichen Idee, aber in avancierterer Weise, folgten Forscher am Electronic Visualization Lab an der University of Illinois, Chicago. Sie entwickelten den Prototyp eines ‚Medienzimmers‘, den so genannten *Visual Experience CAVE* (Cave Automatic Virtual Environment), in namentlicher Anlehnung an Platons Höhlengleichnis. Anfangs diente die Anwendung, ein würfelförmiger Raum, dessen sechs Seiten jeweils mit einem Silicon Graphics Computer verbunden waren, der wissenschaftlichen Visualisierung, beispielsweise der Simulation von Sternensystemen oder Taifunen. Die CAVE garantierte u.a. eine hohe Auflösung von Farbbildern, geringe Fehleranfälligkeit bei Kopfdrehung und die Möglichkeit virtuelle mit realen Bildern zu kombinieren (vgl. Sandin, 1996) Der Nutzer wird in der CAVE im Idealfall vollständig innerhalb des räumlichen Display eingeschlossen. Abhängig von seiner Position und Blickrichtung werden dann die stereoskopischen Bilder vom VR-Programm über Rückprojektion auf die Leinwände projiziert. Die CAVE lässt die Nutzung durch mehrere Anwender zu, die sich allerdings, um den gleichen Eindruck wie der „getrackte“ Hauptnutzer zu erhalten, in dessen Nähe aufhalten müssen.

Die weniger Raum beanspruchenden Desktop-Systeme entsprechen hauptsächlich herkömmlichen Personal Computern und funktionieren auf gleicher Basis wie die oben beschriebenen Leinwände, allerdings kann eine vollständige Immersion kaum erreicht werden, da die Monitore meist zu klein sind. Neben diesen existieren noch weitere Systeme, die eine Zwischengröße darstellen. Dazu gehören beispielsweise verschiedene autostereoskopische Monitore, die sogar ohne Hilfsmittel wie VR-Brillen auskommen, Laser-Holographie oder die *Responsive Workbench*. Bei der Responsive Workbench werden die vom Computer erzeugten stereoskopischen Bilder mittels eines

---

Development, Production and Service) ist ein eindrucksvolles Beispiel, auch wenn sich

Systems aus Spiegeln und Projektoren auf einer großflächigen horizontalen Ebene abgebildet.

Weitere Systeme, wie das der direkten Projektion der virtuellen Wirklichkeiten per Laser-Microscanner auf die Netzhaut (Virtual Retinal Displays) oder holografischer Projektionen, stehen noch am Beginn der Forschung oder bereiten Probleme, die in absehbarer Zeit nicht zu lösen sind (Bormann, 1994, 83 oder Vince, 2004, 85). Die Erzeugung neuronaler Schnittstellen, der Direktkopplung von Gehirn und Rechner, die u.a. Bühl (1996, 70ff.) in Aussicht stellt, dürfte in noch entfernterer Zukunft liegen.

Als ebenso wichtig für den Grad des Wirklichkeitseindrucks wie visuelle Systeme, werden akustische Systeme gesehen, die zudem die „visuelle Last“ (vgl. Bormann, 1994, 84) und damit visuelle Irritationen vermindern können. Über die akustische Informationsvermittlung kann als Ergänzung der visuellen oder der haptischen z.B. die Berührung von Objekten, der Fortschritt eines Prozesses oder auch räumliche Orientierung simuliert werden.

Weit entfernt von befriedigenden Systemen ist die Forschung im Bereich der haptischen, kinästhetischen und olfaktorisch/gustatorischen Systeme. Ein optimales haptisches System<sup>33</sup> müsste idealerweise den ganzen Körper bedecken oder fähig sein, um bspw. Gewicht zu spüren, Erdanziehungskräfte zu simulieren. Die jeweiligen Anwendungsgebiete erfordern zudem einzeln angepasste Systeme, was einer Standardisierung entgegenläuft.

Kinästhetische Rückkopplung (im Flugsimulator über hydraulische Bewegungssysteme simuliert) bedürfen hoher mechanischer Anforderungen um beispielsweise die Simulation von Kraftreflexionen herzustellen. Olfaktorisch/gustatorische Systeme stoßen immer wieder auf die niedrige Gefahrenschwelle der Belästigung. Von echter Multisensorik kann man also auch heute noch kaum sprechen, obwohl mit möglichst vielseitiger Ansprache des menschlichen Wahrnehmungsvermögen, der Immersions- und Illusionseffekt der virtuellen Welt am höchsten ist.

### 3) Steuer-/Grafikcomputer inklusive Softwaresysteme

---

zahlreiche technische Hürden herausstellten.

<sup>33</sup> Im haptischen Bereich gibt es mittlerweile sehr viele begrenzt einsatzfähige Systeme (vgl. Vince, 2004, 80), zudem wird in Forschungslaboren intensiv nach alternativen Möglichkeiten geforscht.

Der Steuercomputer ist das wichtigste Verbindungsglied innerhalb des VR-Systems. Er „[verarbeitet] nicht nur alle Daten der angeschlossenen Eingabegeräte [...] und [steuert] dementsprechend die Ausgabegeräte [...], sondern [hat] auch das Modell der virtuellen Umgebung gespeichert [...]“ (Bormann, 1994, 93). Der Steuer-/Grafikcomputer unterliegt am deutlichsten aller VR-Bausteine dem Prozess der Forschung und Entwicklung von ständig günstigeren und leistungsfähigeren Rechnersystemen. Der Gewinn an Leistungsfähigkeit wird allerdings gleichzeitig von immer anspruchsvolleren Systemen in einer endlosen Realitäts-Spirale aufgesogen. Die wichtigsten Fähigkeiten der Systeme sind insbesondere die schnelle Grafikgenerierung, d.h. eine hohe Auflösung, eine hohe Bildfrequenz, so dass keine Verzögerungen entstehen, die den Eindruck der Immersion stören können, ein hoher Gesamtdurchsatz in der Berechnung (*number crunching performance*), schnelle und zuverlässige Schnittstellen zu externen Geräten, ein großer Arbeitsspeicher sowie die grundlegende Eigenschaft der Unterscheidungsmöglichkeit bei der detaillierten Erfassung von Daten, die für den Nutzer der Simulation im jeweiligen Augenblick wichtig sind, von Daten, die vernachlässigungswürdig sind und damit keine Rechenkapazitäten blockieren.

Während der Nutzer sich in der virtuellen Umgebung aufhält sind die Aufgaben der Software, teilweise in Echtzeit und in Endlosschleife (*loop*): der Entwurf und die Umsetzung des Modells der VR-Welt; die Steuerung, Kontrolle und Koordination sämtlicher Ein- und Ausgabegeräte; die Auswertung aller von den Eingabegeräten produzierten Daten (bspw. die Position und Orientierung des Kopfes, die in sechs Freiheitsgraden (6DOF – *six degrees of freedom*) berechnet werden muss); die Berechnung des aktuellen Zustandes des VR-Systems anhand der Modelldaten in Abhängigkeit von den Eingabedaten sowie die Berechnung der notwendigen Daten und deren Weitergabe an die Ausgabegeräte (vgl. Bormann, 1994, 96). Spezielle Grafikeinheiten steuern den ‚Rendering‘-Prozess, wobei unter Berücksichtigung der aktuellen Position des Benutzers, nur die für ihn sichtbaren Oberflächen und Objekte errechnet und gezeichnet werden. Über sogenannte Beleuchtungsmodell-Algorithmen werden bei diesem Verfahren, z.B. dem Ray-Tracing-Verfahren, zudem Objekt- und Lichteigenschaften errechnet, die zur Realistik der Umgebung entscheidend beitragen. Ebenfalls zur Erhöhung der Realistik werden Texturabbildungen oder Textursimulationen

angewandt, über die Oberflächen, z. B. Landschaften in Flugsimulatoren oder Materialoberflächen, generiert werden.

Sämtliche Softwarelösungen zusammen erhöhen bei ungezielter Anwendung die Komplexität des VR-Systems, und blockieren damit dessen Leistungsfähigkeit. Alle Prozesse sollten daher gleichzeitig auf Datenreduktion ausgerichtet sein, ein Paradox, welches zum Kernproblem der VR-Technik geworden ist. Im Unterschied zu nichtlinearen Visualisierungstechniken, wie Animationen im Film, steht der interaktiven Echtzeitvisualisierung viel weniger Zeit zur Verfügung, was eine Reduktion der Darstellungsqualität unumgänglich macht. Animationen, in denen mitunter mehrere Tage an einem Einzelbild gearbeitet wird, erreichen daher immer eine viel höherer Modellkomplexität und Detailliertheit als dies Echtzeitsysteme je schaffen können.

#### **2.4.2. Stand der Technik heute**

In dem Ende 1999 erschienenen Artikel "What's Real About Virtual Reality?" (vgl. Brooks, 1999) gibt Frederick Brooks, selbst ein wichtiger Wegbereiter für 3D-Computergrafik and der University of North Carolina at Chapel Hill, einen umfassenden Überblick über die Fortschritte und den Stand der Technik von Virtuellen Realitäten seit 1994. Er kommt nach persönlichen Besuchen der wichtigsten Zentren und Einrichtungen für Virtuelle Realitäten zu dem Schluss, „that whereas VR almost worked in 1994, it now really works. Real users routinely use product applications“. Auch wenn seit der Erstellung des Textes von Brooks weitere, erhebliche technische Fortschritte gemacht wurden, kann man die grundsätzlichen Beschreibungen des Textes sicher als aktuell bezeichnen.

Brooks nennt vier entscheidende Techniken für Virtuelle Realitäten und beschreibt nachfolgend detailliert ihren Entwicklungsstand (Brooks, 1999, 16f.):

- the visual (and aural and haptic) displays that immerse the user in the virtual world and that block out contradictory sensory impressions from the real world;
- the graphics rendering system that generates, at 20 to 30 frames per second, the ever changing images;
- the tracking system that continually reports the position and orientation of the users's head and limbs; and
- the database construction and maintenance system for building and maintaining detailed and realistic models of the virtual world.

Die Display Technik ist nach Meinung von Brooks weit und sehr schnell fortgeschritten. Ausschlaggebend dafür sei aber nicht der eher kleine VR-Markt, sondern Produktentwicklungen im Bereich von Fernsehen, Projektionstechnik und LCD-Geräten. Er unterscheidet zwischen folgenden Formaten, die sich am Markt durchgesetzt haben: HMDs, CAVE-ähnlichen Umgebungsprojektoren, Panoramaprojektoren, Workbench-Projektoren und Desktop-Displays. Im Bereich der HMDs hat es seit 1994 erhebliche Kostensenkungen gegeben, die mit einer Verbesserung der Auflösung, Farbsättigung, Helligkeit und auch ergonomischen Standards einhergingen. Mittlerweile sind HMDs mit SVGA-Auflösung bereits im Konsumerbereich zu finden. Ein Problem stellt aus heutiger Sicht häufig aber insbesondere das immer noch zu kleine Sichtfeld dar. Auch die CAVE-Installationen haben aufgrund ihrer Eigenschaft, dass sie mehreren Nutzern eine gemeinsame Erfahrung in einer nahtlosen Umgebung ermöglichen, und ebenfalls verbesserter Auflösung, häufiger Anwendung gefunden. Sie ermöglichte aufgrund ihrer 360-Grad-Rundumprojektion einen nahezu perfekten Immersionseindruck. Allerdings stehen dem relativ hohe Kosten für die Bildgeneratoren und ein erheblicher Raumbedarf für die Rückprojektionen entgegen. Die eher herkömmliche Methode der Panoramaprojektion, die ebenfalls größeren Gruppen erlaubt annähernd Immersions-Erfahrungen zu machen, hat sich in vielen Disziplinen als alternatives Darstellungsmittel durchgesetzt.

Rendering-Systeme haben sich laut Brooks aufgrund der explosionsartigen Steigerung der Leistungsfähigkeit von Rechnern (zum Zeitpunkt seines Artikels durchliefen die Grafikrechner bereits die vierte Periode des Moor'schen 18-Monats-Gesetz der Verdoppelung der Leistung seit Beginn seiner Untersuchungen) wesentlich verbessert. Mit dem Einstieg der Computerspieleindustrie, als treibende Kraft im Hintergrund zur Verbesserung der Grafik-Prozessoren, scheint die Rechenleistung nicht mehr die begrenzende Komponente des Systems zu sein. Vielmehr sei „world-model complexity [...] more dollar limited than technology-limited today“ (Brooks, 1999, 18f.).

Wesentliche Probleme erkennt Brooks vor allem in Technologien, die nicht von VR-fremden Produkten am Markt mitgerissen wurden.

„Unlike display technology and image-generation technology, tracking technology has not had a substantial non-VR market to pull it along. The most important collateral market has been motion capture for entertainment applications, and that market has not pressed the

technology on accuracy. So progress in tracking has not matched that of displays and image generation.” (Brooks, 1999, 18)

Dasselbe gilt für die Technik von kabellosen HMDs, die Übertragung des hohen Datenaufkommens für zwei Kanäle erweist sich als Haupthindernis, sowie das für Brooks schwerwiegendste Problem der Latenzzeit der Systeme zwischen Bewegung des Nutzers und seiner visuellen Repräsentation innerhalb von HMDs. In Flugsimulatoren wurde nachgewiesen, dass schon kleinste Latenzzeiten, größer als 50ms, wahrnehmbar sind und zu einem „Schwimmeffekt“ führen, der letztendlich die Störung des Immersionseffektes bedeutet.

„Many advances in image rendering speed came through graphics processor pipelining, which has hurt system latency. The designers of tracking systems have given insufficient attention to system latency. Moreover, many VR systems have been pieced together using standard networking between the tracker’s computer and the image generator, and this contributes noticeably to latency” (Brooks, 1999, 19).

Noch schwerwiegender ist das Problem der Latenzzeit in Augmented Reality Systemen in der Medizin. Hier haben kleinste Verschiebung in der Überlagerung von Realität und virtuellen Bildern eventuell große Folgen für den operierten Patienten.

Im Bereich des „Modell engineerings“ gibt Brooks keine Einschätzungen bezüglich des Entwicklungsstandes, vielmehr benennt er die Möglichkeiten zeitsparend und arbeitskostensparend Modelle zu erstellen. Die Erstellung eines Küchenmodells mit einer 1/4 Inch-Auflösung schätzt er beispielsweise auf mehrere Arbeitsjahre eines einzelnen Programmierers. Als Ausweg aus dem Zeitdilemma sieht er einen Markt für Firmen<sup>34</sup>, die per Katalog häufig genutzte Modelle in verschiedenen Auflösungen zum Kauf anbieten, die Nutzung von vorhandenen *CAD* (Computer Aided Design)-Modellen oder die Konvertierung von Modellen über Imaging, d.h. dass Bild-Daten von existierenden Objekten direkt per Laser-, Scan-, oder Ultraschalltechnik gewonnen werden.

---

<sup>34</sup> Der Markt hat sich mittlerweile bereits geformt. Die größte Datenbank mit über 10.000 3D-Modellen aus verschiedensten Bereichen besitzt aktuell wohl die Firma Viewpoint DataLabs International (vgl. Vince, 2004, 24).

### 3. Aspekte der Wahrnehmung

Die VR-Technologie hat, wie vielerorts festgestellt wird, besonderen Einfluss auf die Wahrnehmung. Die drei bedeutendsten sind die Presence-Erfahrung, die Interaktivität in Echtzeit sowie die direkte oder indirekte Bewegungserfahrung. Die jeweiligen Wahrnehmungsaspekte überschneiden sich zudem; so ist ein hoher Grad an Interaktivität vorteilhaft für eine starke Presence-Erfahrung, eine direkte Bewegungserfahrung ist hingegen ohne Interaktivität undenkbar. Im Folgenden werde ich diese drei Wahrnehmungsbedingungen kurz exemplarisch skizzieren sowie als Besonderheit von Virtuellen Umgebungen kurz das Problem des Simulatorschwindels erörtern.

#### 3.1. Präsenz

Das gute Funktionieren, d.h. die Arbeitseffektivität, die Wahrnehmung von Raum und Orientierung im selben, die Gedächtnis-, Lern- und Trainingsleistung sowie die Freude und der Spaß im Umgang mit Virtuellen Realitäten werden häufig an Aussagen der jeweiligen Nutzer zu dem Phänomen der Präsenz (*sense of presence*) geknüpft, dem Gefühl der Gegenwart oder Anwesenheit innerhalb der virtuellen Umgebung (vgl. Regenbrecht, 1999). Dieses Gefühl wird vornehmlich in vollständig immersiven VR-Systemen wie CAVE oder über HMD-Systeme hervorgerufen. Entgegen vieler Beiträge zu Virtuellen Realitäten, die Präsenz und den Faktor Immersion synonym verwenden, verstehen die am Army Research Institut in Orlando tätigen Singer und Witmer (1998) Präsenz als ein Bewusstseinsphänomen, das aus einer Interaktion von sensorischer Stimulation, Umgebungsfaktoren und internen Voraussetzungen des Nutzers heraus entsteht. Immersion ist dabei einer der voraussetzenden Faktoren für Präsenz und nicht mit dieser gleichzusetzen. In ähnlicher Weise entwirft Holger Regenbrecht (vgl. 1999, 54ff.) ein sehr praxisnahes Modell der Faktoren für Präsenz. Er nimmt dabei eine Vierteilung der Faktoren vor: 1) Realwelt-Faktoren, d.h. präsenzerhöhende/präsenzstörende Faktoren, wie einfallendes Licht, Umgebungsgeräusche etc. 2) Immersionstechnische Faktoren, d.h. die technische Qualität von Ein- und Ausgabegeräten 3) Individuelle Faktoren, z.B. persönliche Merkmale wie Alter etc., Relevanz und Haltung zu Virtueller Realität sowie Erfahrungen mit VR-Systemen und 4) Inhaltliche Faktoren, die an die gegebenen Techniken angepasst sind. Im



Folgenden werde ich mich hauptsächlich an der Definition von Singer/Witmer halten:

„*Presence* is defined as the subjective experience of being in one place or environment, even when one is physically situated in another. As described by teleoperators, presence is the sensation of being at the remote worksite rather than at the operator's control station. As applied to a virtual environment (VE), presence refers to experiencing the computer-generated environment rather than the actual physical locale.” (Singer/Witmer, 1998, 225)

Präsenz bedarf und kann, nach Singer/Witmer, bemessen werden an einer bestimmten Qualität von Aufmerksamkeit (*attention*), die nicht nur in Virtuellen Realitäten geweckt wird, sondern auch bei alltäglicheren mentalen Tätigkeiten, wie Erinnern, Tagträumen, Bücher lesen oder fern sehen. Dabei ist für einen hohen Grad an Präsenz-Erfahrung insbesondere eine selektive Aufmerksamkeitsbindung (*selective attention*) entscheidend, d.h. dass der Fokus der Aufmerksamkeit auf Informationen gerichtet ist, die für den Nutzer von besonderem Interesse und Bedeutung sind, also Informationen, die zur Gewöhnung an die Virtuelle Realität unerlässlich sind.

„Our argument is that experiencing presence in a remote operations task or in a VE requires the ability to focus on one meaningfully coherent set of stimuli (in the VE) to the exclusion of unrelated stimuli (in the physical location). To the extent that the stimuli in the physical location fit in with the VE stimuli, they may be integrated to form a meaningful whole.” (Singer/Witmer, 1998, 226)

Andere Konzepte, beispielsweise von McGreevy (1992) betonen in ähnlicher Weise die Relevanz einer insgesamt „zusammenhängenden“ Erfahrung. „[...] The experience of presence is based in attention to continuities, connectedness, and coherence of the stimulus flow.” (Singer/Witmer 1998, 226).

Die zwei wichtigsten Bedingungen für eine gelungene Präsenz-Erfahrung sind bei Singer/Witmer die Zustände Involviertheit (*Involvement*) und Immersion. Andere Untersuchungen beziehen zusätzlich noch den Faktor der sozialen Präsenz (*co-presence*) ein, den ich an dieser Stelle allerdings nur kurz erwähnen möchte. „Sie [die soziale Präsenz] definiert die Beziehungen zu anderen Subjekten der virtuellen Umgebung und untersucht die kommunizierbaren Möglichkeiten der Umgebung“ (Regenbrecht, 1999, 17).

„*Involvement* is a psychological state experienced as a consequence of focusing one's energy and attention on a coherent set of stimuli or meaningfully related activities and events. Involvement depends on the degree of significance or meaning that the individual attaches to the stimuli, activities, or events.” (Singer/Witmer, 1998, 227)

Involviertheit kann in Virtuellen Realitäten beispielsweise durch unkomfortable HMDs oder aber auch durch persönliche Geisteszustände des Nutzers, der sich nicht auf die Virtuelle Umgebung einlassen kann, weil ihn anderes geistig mehr

beschäftigt, negativ beeinflusst werden. Andererseits ist eine inhaltlich konsistente und realistische Darstellung förderlich für einen höheren Involvement.

Der Immersionseindruck gilt gemeinhin als eine der Grundlagen der VR-Technik und hat im Zusammenspiel mit der Interaktion (s. Kapitel 3.2.) entscheidenden Einfluss auf das erlebte Präsenz-Gefühl des VR-Nutzers:

„Die *Immersion* – mit Hilfe von Stereoskopie, Blick-Tracking und anderen Techniken, die die Illusion hervorbringen, der Operator befinde sich innerhalb einer computergenerierten Welt – ist eine der beiden Grundlagen der VR-Technologie. Die andere ist die *Navigation* – die Möglichkeit, sich im Computermodell eines Moleküls oder einer Stadt umherzubewegen.“ (Rheingold, 1992, 166)

Immersion als Bedingung für Präsenz, so Regenbrecht (1999, 31), „definiert sich als die Gesamtheit der auf den Nutzer bezogenen internen und externen Stimuli [...]“ in einer virtuellen Umgebung. Ziel der Immersionstechniken soll das „Verschwinden des Mediums sein“. Pimentel/Teixeira fassen folgende Faktoren für den Eindruck der Immersion zusammen (vgl. Pimentel/Teixeira, 1993, 106 zit. nach Bormann, 1994, 84):

#### hemmt Immersionseindruck

nicht interaktiv  
geringe Bildwiederholrate  
geringe Bildkomplexität  
keine Aktionen möglich  
kein Ton  
Bildschirm  
geringe Bildauflösung  
monoskopisches Sehen  
deckt nur geringen Teil des Gesichtsfeldes ab  
Keine Positionsbestimmung/-verfolgung

#### fördert Immersionseindruck

Interaktivität  
hohe Bildwiederholrate  
hohe Bildkomplexität  
eigene Aktionen möglich  
3D-Ton  
Bildschirmbrille  
hohe Bildauflösung  
stereoskopisches Sehen  
deckt großen Teil des Gesichtsfeldes ab  
Positionssensoren

Singer/Witmer definieren Immersion mehr als persönliche Erfahrung des Nutzers nicht als objektive Beschreibung einer VR-Technologie.

„*Immersion* is a psychological state characterized by perceiving oneself to be enveloped by, included in, and interacting with an environment that provides a continuous stream of stimuli and experiences. [...] Factors that affect immersion include isolation from the physical environment, perception of self-inclusion in the VE, natural modes of interaction and control, and perception of self-movement.” (Singer/Witmer, 1998, 227)

In ihrer Arbeit zur objektiven Messung von Präsenz kategorisieren Singer/Witmer folgende Faktoren: Control Factors (hinsichtlich Immersion), Realism Factors (hinsichtlich Involvement) sowie Sensory und Distraction Factors (hinsichtlich Involvement und Immersion). Im einzelnen umfassen diese Basiskategorien folgende Faktoren, die in den Ergebnissen der Befragung

folglich auch signifikant mit Presence-Erfahrungen korrelieren (vgl. Singer/Witmer, 1998, 229ff.):

*“Control Factors:* Degree of control; Immediacy of control; Anticipation of events; Mode of control; Physical environment modifiability

*Realism Factors:* Scene realism; Information consistent with objective world; Meaningfulness of experience; Separation anxiety/disorientation

*Sensory Factors:* Sensory modality; Environmental richness; Multimodal presentation; Consistency of multimodal information; Degree of movement perception; Active Search

*Distraction Factors:* Isolation; Selective attention; Interface awareness”

Die Erhöhung von Presence-Erfahrung, in dargestellter Form, ist folglich eins der wichtigsten Ziele der VR-Forschung und stellt aufgrund der dargestellten Komplexität hohe Anforderung an sämtliche VR-Systeme.

### **3.2. Interaktivität**

Die hilfreichste Technik auf dem Weg zur realistischen Wahrnehmung und einem Gefühl der Präsenz in Virtuellen Umgebungen ist die Interaktivität. Durch Interaktion gewinnt der Anwender die Kontrolle über die Virtuelle Welt, die er bei bloß passiver Anwesenheit nicht erreichen könnte. „Sie [die Interaktion] führt vom Sein zum Dasein in der virtuellen Umgebung, sie ermöglicht das „Begreifen“ der virtuellen Welt [...]“ (Regenbrecht, 1999, 130) Sie grenzt zudem den Computer als Massenmedium am offensichtlichsten von herkömmlichen Massenmedien ab.

„Die Telematik erlaubt es, *interaktive* Kommunikation zu realisieren – d.h. eine Form von Fernkommunikation, die vom Adressaten ‚personalisiert‘ werden kann. Der Benutzer von Internet oder anderen computervermittelten Kommunikationsformen kann – heißt es –, die Kommunikation nach seinen Bedürfnissen und seinen Interessen gestalten, kann über Tempo, Sequenz, Schnitt entscheiden und weitere Informationen oder Ergänzungen verlangen. Er kann in einigen Fällen auf den Lauf der Ereignisse Einfluss nehmen, [...]. Man spricht allgemein von ‚immersiver‘ Einbeziehung der Benutzer, die ihren Höhepunkt in den Projekten der ‚virtuellen Realität‘ erreicht.“ (Esposito, 2001, 125)

Im Unterschied zu Film und Fernsehen werden Virtuelle Realitäten also eben durch die Interaktion real und wahrnehmbar. Esposito (ebd.) weiter:

„Die so genannte virtuelle Realität existiert nur in der Interaktion mit dem Beobachter und durch sie, hat keine autonome Existenz (wie die Einzelbilder eines Films oder die Tafel einer Malerei)“

Durch Interaktion wird auch die Fiktion der Virtuellen Welt aufgehoben. Die kommunikative Absicht des Designers gerät in den Hintergrund, da sie im

Kontext mit den Handlungen des jeweiligen Nutzers steht. Die generierte Welt kann vom Entwerfenden nicht vorausgesehen werden (vgl. Esposito, 2001, 126). Gleichzeitig wird das Medium attraktiver; die Aufmerksamkeit des Nutzers kann im Gegensatz zu den flüchtigen, passiven Medien wie Fernsehen und Film, durch Interaktion gebunden werden, die Partizipation ermöglicht erst das Hineinziehen in das Medium und fordert ein spielerischen Umgang mit dem Medium – im Sinne Flussers auch gegen die Programme – erst heraus (Rötzer, 1998, 59f.). Daher liegt die Zukunft der Virtuellen Realität im Ausbau der Interaktionsmöglichkeiten, d.h. die Möglichkeiten den Akteur „sensomotorisch in Szene zu setzen“.

„Die Zielrichtung interaktiver Medien ist einerseits, dem Benutzer eine immer umfangreichere Palette an Informationen jeder Art durch Schnittstellen zur Verfügung zu stellen, die stets an Bedienerfreundlichkeit zunehmen [...]. Andererseits wird der Benutzer immer weiter durch diese Rückkopplung dem System integriert, das auf ihn möglichst individuell reagieren soll.“ (Rötzer, 1998, 72)

Im Allgemeinen werden zwei Formen der Nutzer-System-Interaktion unterschieden: Navigation und Manipulation. Die Navigation erlaubt dem Nutzer, sich in der virtuellen Umgebung umzuschauen oder zu bewegen. Die virtuelle Umgebung selbst bleibt unangetastet. Die Manipulation erlaubt es dagegen, etwas in der virtuellen Umgebung zu ändern, beispielsweise das Entfernen oder die Nutzung eines gewählten Objektes. Regenbrecht (1999, 67f.) unterscheidet sogar drei Formen der Interaktion: a) die Möglichkeit der *Selbstbewegung* durch die virtuelle Umgebung, b) *Objektinteraktion*, die Möglichkeit mit Objekten der virtuellen Welt zu interagieren und c) *Subjektinteraktion*, die Möglichkeit mit Subjekten innerhalb der virtuellen Umgebung zu interagieren, im Sinne von computervermittelter Kommunikation.

Die Interaktionen sollen im Idealfall, wie Lang beschreibt, „unmittelbare Auswirkungen“ auf die Szenenwelt haben (vgl. Lang, 1997, 220). Die bloße Drehung oder Verschiebung einzelner Komponenten der Virtuellen Realität bereitet heute wenig Probleme.

Das Ziel aller Optimierungen und die Schwierigkeit stellt eine Rückkopplung des simulierten Gesamtsystems auf die Interaktion dar. Erst dann, mit der Anpassung virtueller Prozesse, kann die Reaktion auf die Interaktion bestimmt werden.

Unter einem anderen Aspekt können mehr Interaktionsmöglichkeiten allerdings auch negative Auswirkungen auf das Gesamtsystem haben. Einen entscheidenden Einfluss hat die Interaktion, wie Jürgen Brickmann feststellt, auch auf die Darstellungsqualität innerhalb der Virtuellen Umgebung.

„Die Qualität computergenerierter Darstellungen nimmt mit Erhöhung der Interaktionsrate naturgemäß ab, oder umgekehrt formuliert: je stärker die Interaktion mit computergenerierten Szenarien wird, desto schlechter („realitätsfremder“) wird das Erscheinungsbild der Scheinwelt. Um hohe Interaktionsraten zu erzielen, muß das Szenarium modellmäßig so einfach wie möglich gehalten werden oder die Darstellung erfolgt nur noch symbolhaft“ (Brickmann, 1993, 334)

Dieses Problem ändert jedoch nichts an der grundlegenden Notwendigkeit von Interaktionsmöglichkeiten innerhalb Virtueller Realitäten.

### 3.3. Bewegungssimulation

„Weil die Computersimulation ein Objekt zeigt, das die eigene Willkür verkörpert, findet [...] [man] sich im Bild wieder. Was unmittelbar den eigenen Impulsen folgt, ist der eigene Leib.“ (Schönhammer, 1997, 263)

Einer der wichtigsten Faktoren, um das Gefühl von Präsenz herzustellen, ist die Wahrnehmung von Bewegung. Schon lange vor den ersten funktionsfähigen Virtuellen Realitäten, wurde in anderen Zusammenhängen festgestellt, dass Bewegung und Wahrnehmung für sich unvollständig seien und erst zusammen ein sinnvolles Ganzes ergeben<sup>35</sup>. Rainer Schönhammer, der aus phänomenologischer Perspektive den Zusammenhang von Bewegung und Wahrnehmung in virtuellen Bewegungen untersucht, schreibt zu den Eigenschaften von HMDs:

„Das 3D-Bild verändert sich in Abhängigkeit von tatsächlichen Kopfdrehungen oder signalisierter Fortbewegungsabsicht. Diese Verknüpfung entspricht dem in der Realität gewohnten Zusammenhang von Eigenbewegung und visuellem Fluß. [...] Direkte und indirekte Sichtbarkeit der eigenen Bewegung im vor die Augen projizierten 3D-Bild führen also zum Eintauchen, drängen das Gefühl der Gegenwart auf“ (Schönhammer, 1997, 263f.)

Die einfachste Form der Bewegungssimulation wird daher über die „getrackte“ Kopfbewegung des Nutzers realisiert, ein Umherblicken in Eigenbewegung ist damit ohne weiteres möglich. Probleme resultieren für Schönhammer daraus, dass andere Bewegungserfahrungen Widerstände erfordern, die VR-Systeme bisher nicht leisten können. Die Fortbewegung durch Fingerzeig, wie in VR-System üblich, „überholt sozusagen in ihrer Gedankenschnelle das Subjekt

---

<sup>35</sup> Vgl. Von Weizsäcker, Victor (1997).

selbst“. Das Fehlen der, in der Realität die tatsächliche Bewegung vorwegnehmenden, „inneren Bewegung“ führt seiner Meinung nach sogar als entscheidender Faktor zum Simulatorschwindel (siehe nachfolgendes Kapitel). Zur Problemlösung könnten daher Widerstand simulierende, mechanische Laufbänder oder Tretmühlen dienen. „Die Bewegung wird [durch diese] verlangsamt, erschwert, und lässt zugleich und dadurch den Aufbau eines Spannungsbogens zu“ (vgl. Schönhammer, 1997, 267). Ein anderes Problem stellt die Bewegung in Echtzeit dar. Das perspektivische Bild des Users muss sich ohne wahrnehmbare Zeitverzögerung mit dessen Bewegungen verändern. Erst daraus ergibt sich der erwünschte ‚Walk-Through-Effekt‘.

Die indirekte Bewegungserfahrung stellt einen technisch gesehen anderen Fall dar. Bewegungssysteme von Fahr- und Flugsimulatoren bedürfen spezieller Anforderungen, die zusammen mit den Sicht- und Audiosystemen einen realitätsnahen Fahr- bzw. Flugeindruck vermitteln sollen. Gegenüber der individuell körperlichen Nutzung von HMDs ist der Fahrer eines Fahrzeuges an die Bewegungen desselben gekoppelt. Daher müssen Bewegungseindrücke, die in diesem Fall von außen an ihn herangetragen werden, entsprechend simultan simuliert werden. Während bei der Visualisierung aufgrund der erheblichen Zunahme der Rechenleistung deutliche Fortschritte gemacht wurden, wird der Aufwand zur Verbesserung von Bewegungssystemen hingegen sehr kontrovers diskutiert. Am Beispiel von Simulatoren von bodengebundenen Fahrzeugen möchte ich im Folgenden kurz die Anforderungen und Konstruktionen von Bewegungssystemen aufzeigen.

„Durch das Bewegungssystem sollen Kräfte auf den Fahrer nachgebildet werden, die bei der Fahrt mit einem Fahrzeug auftreten können aufgrund von Längs- und Querbeschleunigungen, Vertikalbewegungen, Nick-, Wank- und Gierbewegungen der Fahrzeugkabine sowie Vibrationen und der Fahrzeuglage im Gelände“ (Wilkens, 2003, 345)

Nüchtern betrachtet sind es allein diese von Wilkens genannten, im begrenzten Raum des Simulators, nachbildbaren Kräfte, die für sämtliche Bewegungseindrücke des Fahrers verantwortlich sind. Je nach Fahrzeugart (Panzer, PKW oder Bahn) differiert nur die jeweilige Intensität und Kombination der Kräfte. Ein Bremsvorgang, der in der Realität eine langanhaltende Längsbeschleunigung hervorruft, kann im feststehenden Simulator beispielsweise unter Ausnutzung der Schwerkraft auf den Fahrer,

durch eine Nickbewegung der Fahrerkabine bewirkt werden.<sup>36</sup> Das projizierte Bild dürfte dabei seine Lage gegenüber dem Fahrer nicht ändern. Bei der Fahrt auf einem Kantstein hingegen – in der Realität würde die Kabine gegenüber dem waagerechten Horizont der Umgebung geneigt – müsste hingegen neben der Querneigung der Kabine auch die Projektion des Bildes durch entsprechende Drehung angepasst werden (vgl. Wilkens, 2003, 347f.). Demnach ergeben sich je nach Anforderung Bewegungssysteme mit festen Projektionen sowie Systeme, die sowohl die Kabine als auch die Projektionen auf einer gemeinsamen Plattform tragen. Eine weitere Komponente stellen mögliche Freiheitsgrade dar, d.h. die möglichen Achsverschiebungen des Simulators, um simultan verschiedene Bewegungseindrücke zu bewirken. Bei modernen Simulatoren ist der Einsatz von Hexapod-Bewegungssystemen mit sechs Freiheitsgraden und mitunter mit zusätzlichen, horizontalen Bewegungsachsen üblich, die über sechs elektronisch oder hydraulisch betriebene Aktuatoren verfügen, welche die Realität nahezu perfekt simulieren können (vgl. Geschwilm/Jaschinski/Vaculin, 2003, 371).

Direkte und indirekte Bewegungserfahrungen sind, wie dargestellt, abhängig von den Eigenschaften der jeweiligen VR-Systeme. Es ist aber fraglich, ob tatsächlich alle dieser Systeme Bewegungssimulation leisten müssen. In vielen Fällen, insbesondere wenn es nicht die Fahrsimulatoren betrifft, würde die Nutzung weit über das eigentliche Ziel hinausführen, gerade auch daher, da nicht immer Realität abgebildet werden soll.

### **3.4. Simulatorschwindel**

Für die Arbeit in Simulatoren und virtuellen Umgebungen stellt sich ein Problem dar, das unter dem Namen Simulatorschwindel bzw. Simulator Sickness in die Literatur eingegangen ist. Dabei handelt es sich um ein Schwindel- bzw. Übelkeitsgefühl, das häufig während des Nutzungsvorgangs auftritt. Verschiedene Ansätze, wie die sensorische Konflikttheorie, die von Übelkeit hervorrufenden, nicht übereinstimmenden Signalen aus dem visuellen und vestibulären Systemen sowie den Muskelrezeptoren ausgeht, die Gifttheorie, bei der evolutionäre Adaptionsmechanismen zur Vermeidung der Aufnahme von

---

<sup>36</sup> Zur ausführlichen Darstellung von Bewegungssystemen und z.B. Wahrnehmungsschwellen im Hinblick auf den Beschleunigungseindruck im Verhältnis zum Neigungswinkel (Stichwort: Aubert-Effekt) empfiehlt sich der Artikel von Fortmüller (2003, 313).

Giftstoffen angeführt werden, sowie die Theorie zur Haltungsinstabilität, welche die Neigung des Menschen zum Zustand der Haltungsstabilität, der unkontrollierte Bewegungen darstellt, versuchen die Gründe für Simulatorschwindel zu erklären. Problematisch für die Erklärung der Symptome ist, dass a) nicht alle Personen, die gleicher Simulation ausgesetzt sind, unter Simulatorschwindel leiden, b) Personen mit Beschwerden eine Vielfalt unterschiedlicher Symptome zeigen und c) viele Symptome nur subjektiv sind (vgl. Buld/Hoffmann/Krüger, 2003, 389). Bormann (1994, 72f.) stellt fest, dass es sich bei den auftretenden Beschwerden um ein „ernstzunehmendes Problem [...] [handelt], ohne dessen Beseitigung der Absatz von VR-Systemen sicherlich erheblich erschwert werden würde.“ Häufig genannte Einflussfaktoren für das Auftreten und die Schwere der Syndrome sind Simulatordesign (bspw. das Sichtfenster), die Art der Simulatorexposition (z.B. plötzliche Manöver) und die individuelle Anfälligkeit der Nutzer. Empfehlungen zur Vermeidung dieses Syndroms reichen von verlangsamter Kopfbewegung, der Hervorhebung der Interaktivität gegenüber hohen visuellen Realismus, dem Setzen eines Horizontes in der virtuellen Welt, längerer Expositionsdauer der Anwender, die zu einem Gewöhnungseffekt führt, bis hin zur Beseitigung jeglicher Verzögerung innerhalb der visuellen Wiedergabesysteme, da der Mensch Latenzzeiten von nur 50ms als störend empfindet.

Mit Verweis auf die oben kurz angedeutete historische Verwandtschaft von Virtuellen Realitäten und Medienformen im 19. Jahrhundert, drängt sich ein weiterer Vergleich auf. Die beschriebene Art von Schwindel wird – berücksichtigt man die Tradition der Virtuellen Realität, nicht überraschend – auch schon im Zusammenhang mit den Panoramen im 19. Jahrhundert erwähnt.

Johann August Eberhard bemerkt 1807 im Handbuch der Ästhetik:

„Die Genauigkeit der Perspective, die Richtigkeit der Zeichnung, die Wahrheit des Helldunkels und der Haltung versetzen mich durch ihre vereinten Zauber in die wirkliche Natur, aber die öde Todesstille und die erstorbene Bewegungslosigkeit stoßen mich daraus zurück. Ich schwanke zwischen Wirklichkeit und Nichtwirklichkeit, zwischen Natur und Unnatur, zwischen Wahrheit und Schein. Meine Gedanken, meine Lebensgeister erhalten eine schwingende hin und her gestoßene, schaukelnde Bewegung, die eben so wirkt, wie das Herumdrehen im Kreise und das Schwanken des Schiffs. Und so erkläre ich mir den Schwindel und die Uebelkeit, die den unverwandten Anschauer des Panorama überfällt.“ (Eberhard, 1807 zit. nach Buddemeier, 1970, 175)

Auch wenn es damals darum ging, die Panoramen als Täuschung zu entlarven und somit aus dem Kreis der Schönen Künste zu schließen, wird deutlich, dass Panoramen damals neben der Beliebtheit auch ein Problembewusstsein



hervorriefen, das Übereinstimmungen mit heutigen Problemen in VR-Systemen zeigt.

## 4. Konstruktionen von Wirklichkeit

„Man stelle sich also einen Piloten vor, der in seiner Flugkabine sitzt und in völliger Dunkelheit die Maschine steuert; er hat keinen unmittelbaren Zugang zur Außenwelt und braucht ihn auch nicht, sondern er handelt auf der Basis von Messwerten und Indikatoren und bedient, wenn sich die Werte verändern und sich bestimmte Kombinationen ergeben, seine Instrumente, stellt also sensorisch-effektorische Korrelationen her, um die angezeigten Werte innerhalb spezifizierter Grenzen zu halten. Wenn das Flugzeug schließlich gelandet ist, dann tauchen womöglich seine Freunde und Kollegen auf, die ihn beobachtet haben. Und sie gratulieren ihm dann zu der geglückten Landung und berichten ihm von dem dichten Nebel und dem gefährlichen Sturm, den er so bravourös überstanden hat; der Pilot ist dann verwirrt – und fragt: „Was für ein Sturm? Welcher Nebel? Wovon spricht ihr? Ich habe einfach nur meine Instrumente bedient!““ (Maturana/Pörksen, 2002, 64)

Eine der wichtigsten Grundsatzfragen der Philosophie betrifft das Verhältnis von Sein und Bewusstsein, d.h. die Frage, ob und in welcher Weise es überhaupt eine objektive und „wahre“ Erkenntnis geben kann. Die triviale Antwort, das eine vom Erleben unabhängig existierende Welt niemals anders erfahren werden kann als eben über das Erleben, stärkt den Zweifel an der Möglichkeit einer objektiven Erkenntnis und scheint als einzige Antwort zulässig.

Die erkenntniskritische Kognitionstheorie des Radikalen Konstruktivismus bestätigt zwar, um nicht dem Solipsismus Platz zu schaffen, die Existenz einer objektiven Realität, sie macht aber keine positiven Aussagen über diese Realität sondern spricht ihr einzig die durchaus plausible Eigenschaft ab, formend oder ordnend auf das Erleben einzuwirken. Vielmehr wird angenommen, dass die reale Welt zwar die Eigenschaft besitzt, dem energetisch offenen, kognitiven System des Menschen unspezifische Anregungen zu geben, die erlebte Wirklichkeit aber wird unabhängig, d.h. systemintern und selbstbestimmt konstruiert. Die Wahrnehmungswelt erschließt sich somit nicht durch einen Abbildungsprozess von Umweltinformationen sondern ist konstruiertes Produkt des Gehirns.

Der Radikale Konstruktivismus, der sich als reflexive Theorie in das ihm eigene Konzept einschließt, kann als eine Art Explikation bzw. als Modell beschrieben werden, wie man die Welt sehen könnte. Der konstruktivistische Diskurs zeichnet sich dabei durch seinen kommunikativen Charakter und die dadurch implizite, stetige „Unfertigkeit“ seiner Theoriebestandteile aus (vgl. Beck, 1994, 17). Im Folgenden werde ich die Konzepte von Wirklichkeit, Simulation und Virtualität aus der Perspektive des radikalen Konstruktivismus beschreiben. Nichts scheint näher zu liegen, als die per Definition digital konstruierte

Computerwelt mit einem theoretischen Konzept der Konstruktion von Lebenswirklichkeit zu vergleichen. Medien sind, wie Siegfried Schmidt bemerkt, schon längst zu einem „alltäglichen Instrument“ der Wirklichkeitskonstruktion geworden. Dazu gehört folglich auch das technische Dispositiv der Virtuellen Realität. Der Konstruktivismus dient dabei als Theorie zur Selbstbeschreibung von Medienkulturgesellschaften (vgl. Schmidt, 2002). Die Virtuelle Realität ist der technische Ausdruck des Radikalen Konstruktivismus.

#### **4.1. Der Radikale Konstruktivismus als theoretischer Überbau**

Der Radikale Konstruktivismus hat sich in den letzten Jahren, insbesondere im Zusammenhang mit Medienwahrnehmung, aber auch im Bereich der Soziologie, der Psychologie, der Literatur- und Managementwissenschaft sowie in vielen weiteren Bereichen, zu einer der einflussreichsten interdisziplinären Theorien entwickelt. Konstruktivismus ist ein Ausdruck aus der Kunstgeschichte und -theorie, der besagt, dass Kunstwerke keine Abbilder sind sondern kreative Schöpfungen, also Konstruktionen. In den Erkenntnissen des Radikalen Konstruktivismus spiegelt sich dieser Gedanke wider; in Folge des interdisziplinären Charakters wurde die konstruktivistische Theorie allerdings wesentlich weiterentwickelt.

Der Radikale Konstruktivismus, dessen Grundgedanken schon lange vorher in Philosophie und Wissenschaft zu finden sind<sup>37</sup>, wurde als Ableitung aus der Systemtheorie, die P. Weiss und L. Bertalanffy in den 40er Jahren entwickelt hatten, im Wesentlichen durch Impulse des theoretischen Flügels der metadisziplinären Kybernetik entworfen (vgl. Schmidt, 1987). Die Überlegungen zu selbstreferentiellen und selbstorganisierenden Prozessen im Bereich der Theorie von Wissenskonstruktion durch die Kybernetiker Heinz von Foerster und Warren McCulloch, der Neurophysiologie, d.h. der biologischen Kognitionstheorie von Humberto Maturana und Francisco J. Varela, sowie der Entwicklungspsychologie von J. Piaget und später Ernst von Glasersfeld, waren grundlegend für die Entwicklung einer konstruktivistischen Kognitionstheorie.

---

<sup>37</sup> Vorläufer und Parallelen zur heutigen Theorie werden von den Konstruktivisten selbst oft auch bei Vico, Berkeley und Kant bis zu Nietzsche und Vaihinger gesehen. Diese lange Tradition des Zweifels an unserem Wissen wird oft als Argument und Rechtfertigung für den Radikalen Konstruktivismus angeführt.

Es zeichnete sich über alle Bereiche hinweg ein „kohärenter, wahrnehmungstheoretischer Ansatz“ ab, der sich in der Theorie des Radikalen Konstruktivismus bündelte. In Deutschland wird der Radikale Konstruktivismus heute insbesondere durch die Arbeiten des Literaturwissenschaftlers Siegfried J. Schmidt und des Neurobiologen Gerhard Roth vertreten, die grundlegende Ideen finden sich aber bei vielen weiteren Autoren, die sich nicht explizit mit dem Konstruktivismus verbunden fühlen.

#### **4.2. Realität, Wirklichkeit und Fiktion**

Der an der University of Georgia tätige Psychologieprofessor Ernst von Glasersfeld unterscheidet in seinen Texten die Begriffe Realität und Wirklichkeit. Realität bezeichnet den „unnahbar ontologischen Bereich, den die Abendländische Philosophie stets zu „erkennen“ hoffte“, also die real existierende Welt, während Wirklichkeit die Erlebnis- bzw. Erfahrungswelt sei, „zu der allein man durch Wahrnehmen und Handeln tatsächlich Zugang hat“ (von Glasersfeld, 1991, 163). Aus konstruktivistischer Perspektive sei Realität ein Wunschtraum oder eine Fiktion, da das menschliche Wissen nie absolute Gültigkeit oder Wahrheit erreichen kann, denn der Vergleich von Wissen und Realität, der dazu nötig wäre, sei unmöglich. Die ‚induktiv aufgebaute‘, konstruierte Wirklichkeit dagegen, als „Netzwerk von Begriffen und Beziehungen“, welches sich in der menschlichen Erfahrung bewährt hat, ist „schlechthin die Welt, in der wir leben, [...] die Erfahrungswelt“ (von Glasersfeld, 1991, 166). Der Radikale Konstruktivismus vertritt unter dieser Prämisse im Gegensatz zur herkömmlichen (Erkenntnis-)Theorie des Seins, eine Theorie des Wissens, „die ein annehmbares Modell unserer Fähigkeit liefert, das Wissen aufzubauen, das wir in unserer Erfahrungswelt ja mit einigem Erfolg verwenden“ (von Glasersfeld, 1991, 164).

Wahrnehmen und Erkennen stellt der Radikale Konstruktivismus als menschliche Prozesse dar und stützt sich dabei auf Erkenntnisse über biologische Systeme und das Funktionieren des menschlichen Gehirns. Das Gehirn sei dieser Ansicht nach ein selbstreferentielles, funktional geschlossenes System, das sich hauptsächlich mit den von ihm selbst produzierten Impulsen beschäftigt. Die Erlebniswirklichkeit ist damit kein Abbild einer bewusstseinsunabhängigen Realität, sondern vielmehr Produkt eines kognitiven

Konstruktionsprozesses systeminterner Interpretation. Das „Original“ geht bei dem, insbesondere Komplexität reduzierenden, „Übersetzungsprozess“ von äußeren Ereignissen zum Gehirn – die Sinnesrezeptoren übersetzen vereinfacht gesehen in die „Sprache“ des Nervensystems, wo die bis dahin bedeutungslosen, unspezifischen oder im Sinne von Foersterns „undifferenziert kodierten“ Nervenimpulse von den entsprechenden Gehirnteilen interpretiert und Bedeutung zugewiesen bekommen – verloren. Kognition ist daher prinzipiell subjektabhängig, d.h. vom Menschen, nicht von der Realität gemacht. Zur eigentlichen Realität hat der Mensch keinen Zugang; er kann allein als (interner oder externer) Beobachter verstanden werden, der sich eine Erfahrungswirklichkeit über seine Sinne und deren Qualität konstruiert.

Bereits die illusionistischen Techniken der Malerei, wie z.B. die perspektivische Bildgestaltung der Renaissance, vielmehr aber noch das Panorama, welches oft als Virtuelle Realität des 19. Jahrhunderts bezeichnet wird, hat die Erkenntnis hervorgebracht, dass sich Wirklichkeit immer erst vom Standpunkt des Betrachters aus erschließt. Philosophisch wurde diese Erkenntnis über die Wahrnehmung von Immanuel Kant mit der These verbunden, „wonach wir die Welt nie erkennen, wie sie an sich *ist* – sondern immer wie sie uns *erscheint*“ (Münker, 1997, 119). Die Begriffe Raum und Zeit gehören dann auch, wie von Glasersfeld festhält, für Kant zur menschlichen Vorstellungsapparatur und nicht zur Welt. Da alle menschlichen Vorstellungen in Raum und Zeit geschehen, könne man sich von einer Realität jenseits des Erlebens auch keine Vorstellung machen (vgl. von Glasersfeld, 1991, 163).

Dennoch scheint die Erklärung notwendig, dass ein Konstruktivist zwischen Illusion und Wirklichkeit<sup>38</sup>, zwischen subjektivem und objektiven Urteil unterscheiden kann (vgl. von Glasersfeld, 2003). Von Glasersfeld stellt dahingehend die Frage, ob ein Radikaler Konstruktivist die Welt und sogar die Vorstellung von sich selbst als Fiktion bezeichnen könnte. Er unterscheidet dabei zwischen zwei verschiedenen Fiktionstypen: den bewussten und unbewussten Fiktionen (vgl. von Glasersfeld, 1991, 170ff). Zu den bewussten Fiktionen zählt er Begriffe und Begriffsnetze, Idealbegriffe, Erklärungspostulate, Hypothesen, Lügen, Spielzeuge, Spiele und Scheingebilde,

---

<sup>38</sup> Welsch (1998, 204) weist darauf hin, dass die Grenzen zwischen Fiktion und Illusion aus der Sicht von Hirnforschern sehr schmal sind. Neuronale Aktivitätsmuster sind bei wirklicher

also alle Fiktionen, die mit Absicht hergestellt worden sind und deren ‚Viabilität‘<sup>39</sup> man in der Erfahrungswelt prüfen müsste, es aber eventuell gar nicht kann. Zu den Scheingebilden bemerkt von Glasersfeld (1991, 171):

„[Scheingebilde sind] absichtlich hergestellte, dinghafte Konstrukte, deren wahrnehmbare Struktur andere Beobachter zu einer Kategorisierung oder Klassifizierung führt, die sich im Lauf weiterer Erfahrung als unhaltbar herausstellt. Es gibt sie in den verschiedensten Formen und sie dienen den verschiedensten Zwecken, von der Unterhaltung bis zum Betrug (Seifenäpfel, Trompe l’œil Gemälde, Fälschungen, Attrappen aller Art).“

Unbewusste Fiktionen sind bspw. Illusionen der Wahrnehmung, virtuelle Bilder bzw. Wahrnehmungen und Illusionen im übertragenen Sinne.

„*Illusionen der Wahrnehmung* sind im Augenblick des Erlebens nicht von Wirklichkeit zu unterscheiden. Sie werden als ‚Illusion‘ betrachtet, wenn sie andere Wahrnehmungen, die normalerweise (d.h. in der gewohnten Wirklichkeit) mit ihnen verbunden sind, nicht mit sich bringen. [...] (z.B. der im Wasser gebrochen aussehende Stock, die Müller-Leyer Figur und andere Ungereimtheiten). Diese Illusionen werden ‚objektiv‘ genannt, weil sie auch von anderen Beobachtern wahrgenommen werden.“ (von Glasersfeld, 1991, 172)

Letztlich aber kommt er zu dem Schluss, dass es „unsinnig“ wäre, die Erfahrungswirklichkeit nicht als *wirklich* zu betrachten.

„Insofern unsere Konstruktion sich als viabel erweist, müssen wir uns auf sie verlassen ebenso wie wir uns auf die Regeln des Schachspiels verlassen müssen, wenn wir Schach spielen wollen.“ (von Glasersfeld, 1991, 172)

Die Wirklichkeit dient demnach im Idealfall, im Sprachgebrauch der Kybernetik, einem biologischen und geistigem „Äquilibrium des kognitiven Subjekts“, welches letztlich das gesamte Verhalten steuert. Dabei spielt neben dem Austausch mit anderen, die Ähnliches oder Gleiches erlebt haben<sup>40</sup>, die Wiederholung eine entscheidende Rolle. Was wiederholt erlebt wird, erreicht eine neue Stufe der Wirklichkeit, alles andere wird als Illusion oder Fehlleistung verworfen.

„Läßt er [ein bestimmter Sinneseindruck] sich jedoch wiederholen, so gewinnt er an Realität, und wenn der visuelle Eindruck sich gar mit einem Eindruck anderer Art, z.B. des Tastsinns oder des Gehörs, koordinieren und koordiniert wiederholen lässt, dann werde ich dieses kombinierte Erlebnis wohl oder übel als Wirklichkeit buchen.“ (von Glasersfeld, 2003, 33)

---

Wahrnehmung und bloßer Vorstellung zum Verwechseln ähnlich. Was den eigentlichen Unterschied ausmacht ist gehirnphysiologisch noch unerforscht.

<sup>39</sup> Der in der Kybernetik häufig verwendete Begriff der ‚Viabilität‘ hieß ursprünglich die ‚Gangbarkeit‘ eines Weges, schließt sich heute aber dem Begriff der ‚Überlebensfähigkeit‘ der Darwinschen Evolutionstheorie an. Viabilität bezeichnet an dieser Stelle Vorstellungsmodelle, die sich in Bezug auf relevante Ziele bewährt haben, brauchbar sind und ‚funktionieren‘.

<sup>40</sup> Von Glasersfeld nennt zwei Aspekte im Austausch mit anderen Menschen, die die Wirklichkeit des Erlebten erhärten: die sprachliche Interaktion sowie die erfolgreiche Interpretation der Handlung andere mit Hilfe eigener kognitiver Strukturen (vgl. Von Glasersfeld, 2003, 36).

Die Herstellung von Wirklichkeit hängt daher also eng mit einer Prüfung auf Verlässlichkeit und der Notwendigkeit von experimentellen und verifizierenden Methoden zusammen, d.h. der Prüfung der erfahrenen Wirklichkeit auf ihren Einklang mit dem Kontext der bisherigen Naturbeobachtung hin.

Die Unterscheidung von Wirklichkeit und Illusion in Virtuellen Realitäten, mit der Möglichkeit von Wiederholung und Ansprache verschiedener Sinne, unterliegt demnach besonderen Bedingungen. Zunächst aber werde ich im folgenden Kapitel das Verhältnis von Realität und Simulation aus konstruktivistischer Perspektive betrachten.

### 4.3. Wirklichkeit und Simulation

Von Glasersfeld berichtet in seiner Argumentation für den Konstruktivismus, dass schon im 17. Jahrhundert den revolutionären Wissenschaftlern Kopernikus und Galileo, damals aus religiösen Gründen, nahegelegt wurde,

„[...] sie sollten ihre Theorien als brauchbare Arbeitshypothesen zum Vorhersagen von Situationen und Ereignissen *in der Erfahrungswelt* betrachten, nicht aber als *objektive* Beschreibung jener ‚realen‘ Welt, von der Gott allein Kenntnis haben könnte.“ (von Glasersfeld, 1991, 164)

Ein Grundsatz, auch wenn er in der Wissenschaft zuerst nicht anerkannt wurde, ebenso für die heutige Anwendung von Simulationen Gültigkeit beanspruchen könnte.

In den heutigen Natur- und Ingenieurwissenschaften, wird trotz eifriger Bemühungen nach dem Finden von Wahrheit der Begriff der Realität weitgehend vermieden. In der Mathematik wird Realität beispielsweise nur im direktem Zusammenhang mit Simulation eingeführt, „dazu noch in einem systemischen Sinne, da er nur in der Opposition zu *Ersatzsystemen* als *Realsystem* auftaucht“, wie Halbach (1997, 158) bemerkt. Simulationen tragen also in besonderer Weise zur Konstruktion von Wirklichkeit bei. Was Mahr (2003, 77f.) zu Modellen bemerkt, kann in diesem Sinne auch auf Simulationen bezogen werden.

„Sie [die Modelle] treten zwischen das Subjekt und die Realität, für die sie als Repräsentanten räumlicher, zeitlicher, struktureller, funktionaler, logischer, kausaler oder phänomenaler Zusammenhänge gleichsam zum Stellvertreter werden. In diesem Sinne lässt sich die Aneignung der Welt durch die Wissenschaften auch als eine Erzeugung der Welt verstehen, indem sich im Modell die genannten Zusammenhänge nach einem als Modellentwicklung begriffenen Prozess der Konstruktion und der Rekonstruktion präsentieren.“

Isabelle Stengers (1997, 209ff.) unterscheidet genauer zwischen Modell und Simulation. Während das Modell sich durch „das Fehlen eines Urteilsanspruches“ definiert, dem „Fehlen des Kräfteverhältnisses, das es ihm gestatten würde, sich als Repräsentant des Phänomens darzustellen“, somit „Erprobungen von Fiktionen darstellen“, enthüllt die Simulation, basierend auf der „Mathematik als Fiktionsinstrument“, „alles nur irgend Mögliche“ bzw. kann jegliche Fiktion konstruieren. Diese dann, für die Simulation repräsentative Konstruktion, die durch eine „narrative, zeitliche Wenn-dann-Weise“ definiert ist, „stellt das Ideal einer auf ideale Weise wandelbaren Matrix dar, die in der Lage ist, alle möglichen Evolutionen hervorzubringen“. Sie unterliegt aber gleichzeitig den eigens konstruierten Zwängen und Gesetzen, die unter anderen, „realen“ Umständen nur bedingt Geltung besitzen (vgl. Stengers, 1997, 209ff.). Bolz betont zugleich an anderer Stelle den Unterschied zwischen Fiktion und Simulation, indem er der Simulation welterklärende Eigenschaften und vor allem Beweiskraft zuschreibt. Die Simulation unterscheidet sich von der Fiktion dadurch,

„[...] daß sie zwar auch Realität unterläuft und hintergeht, dabei aber doch eine Wirklichkeit schafft. Die Simulation bringt Imaginäres und Reales zur Deckung. [...] Wirklichkeit ist das Integral ihrer Simulationen: Welt verstehen heißt heute sie in Computerdarstellungen simulieren zu können“ (Bolz, 1991, 119f.).

Empirische Wissenschaften beanspruchen das Experiment als eine messbare Naturbeobachtung unter Laborbedingungen, die dabei zwei wesentliche Voraussetzungen im Verhältnis zu Wirklichkeit impliziert. Zum einen existiert unter diesem Verständnis eine beobachtbare Wirklichkeit, zum anderen wird mit dem unsere Sinneswahrnehmungen respektierenden Aufbau des Experiments eine dem Erkenntnisziel entsprechende Wirklichkeit in Hinsicht auf die Messergebnisse bereits vorab konstruiert, d.h. das Experiment besitzt vorab keine Realität außerhalb derjenigen, die es von den Experimentierenden verliehen bekommen hat. Dieses, nicht nur die empirischen Wissenschaften betreffende Dilemma, beschreibt Halbach problemorientiert:

„[...] auf der einen Seite müssen wir auf eine beobachtbare und experimentell nachvollziehbare Wirklichkeit verweisen können, während auf der anderen Seite gerade jenes Verfahren zeigt, daß die präsupponierte Realität nur das nachrangige Resultat der unseren Experimenten zugrunde liegenden und ebenso aus ihnen folgenden Beobachtungen ist.“

und weiter



„Damit ist jede wissenschaftliche Erkenntnis immer eine bedingte und gleichzeitig unser Verhältnis zu dem, was die Mathematik *Real- und Ersatzsystem* nennt, ein je individuelles.“ (Halbach, 1997, 159)

Kulturpessimistisch betrachtet existieren daher Probleme, die in der Natur der Simulationsprogramme und –systeme selbst begründet sind. Dazu Halbach:

„Prognostische Systeme einer Kybernetik zweiter Ordnung schlagen ihren Benutzern Aktionen und Reaktionen vor, deren Befolgung das System selbst nicht denken kann. Dadurch werden diese Vorschläge auf eine paradoxe Weise zur Wirklichkeit, denn jede positive Reaktion auf die Simulation verstärkt nur die je verschieden gewichteten Parameter des Systems, die zu diesem Handlungsvorschlag geführt haben und beweisen damit selbst – systeminhärent – ihre Aussagen als wahr.“ (Halbach, 1997, 158)

Um die positiven Seiten der Modell- bzw. Simulationsbildung hervorzuheben, schließt Mahr (2003, 78):

„Die Subjektivität eines direkten Weltbezugs und die bloße subjektive Aufgefasstheit der Welt treten so zu Gunsten eines objektivierten und überprüfbaren Bezugs auf ein Modell in den Hintergrund, einen Bezug, der nun seinerseits zum Gegenstand objektivierter Betrachtung gemacht werden kann.“

Das Ersatzsystem (die Simulation), welches den Wissenschaftler befähigt Aussagen über das Realsystem zu erhalten, steht zudem in einem besonderen (Abbildungs-) Verhältnis zum Realsystem (der Wirklichkeit). Die Prämisse der exakten Darstellung des Realsystems (im Idealfall eines Analogmodells) unterliegt nach Halbach (1997, 160) zwei Einschränkungen:

„1) Der Ambivalenz der „analogen“ Relationen einzelner Elemente des Realsystems gegenüber der eindeutigen, „digitalen“ und daher niemals exakten Abbildung der Simulation, was sich in den Simulationsergebnissen als Instabilität zeigen kann.

2) Der Unbrauchbarkeit einer 1:1 Abbildung, wenn alle Kosten, Gefahren und Unzulänglichkeiten der Kontrolle und Messbarkeit des Realsystems in die Simulation übertragen werden.“

Dies führt zu einer ausschließlichen Verwendung von Simulationen zu analytischen und prognostischen Zwecken in Bereichen, in denen das Simulationssystem und dessen Zustände auf einer experimentellen Ebene kontrolliert werden können.

Das Verhältnis von Simulation zu Realität ist zudem grundsätzlich von dem Verhältnis Virtualität/Realität zu unterscheiden. Diese oft vernachlässigte Unterscheidung<sup>41</sup> beschreibt Elena Esposito aus semiotischer Perspektive wie folgt:

„Man spricht von den möglichen Welten als simulierten Realitäten, und dadurch geht ihre Spezifität weitgehend verloren. Die Simulation erlaubt wie die Modellierung, fiktionale Objekte zu schaffen, die ‚so tun‘, als ob sie etwas anderes wären, doch dies innerhalb eines

---

<sup>41</sup> Bühl definiert bspw. ‚virtuell‘ fälschlicherweise wie folgt: „Mit virtuell bezeichnen wir [...] die Eigenschaft eines Objektes, scheinbar vorhandene physikalische Merkmale simulativ zu erzeugen, mit Virtualität einen Zustand, der als quasi-existent erscheint und der seine Seinsweise einer Simulation verdankt [...]“. (Bühl, 1999, 126)

immer noch semiotischen Paradigmas. Das Modell ‚steht für‘ das reale Gebäude, die graphische Darstellung der Bewegung der Wolken ‚steht für‘ die realen atmosphärischen Ereignisse. Die Simulation beabsichtigt, so treu wie möglich einige Eigenschaften dessen zu reproduzieren, was ein Referent bleibt. Die Virtualität im eigentlichen Sinne verfolgt eine viel reichhaltigere Absicht; sie geht über die Eigenschaften der Simulation hinaus und kann nicht mehr auf die Unterscheidung von Zeichen und Referent bezogen werden. Ihr Zweck ist, ein ‚concret de pensée‘ als eine alternative Realitätsdimension zu schaffen: keine falschen realen Objekte, sondern wahre virtuelle Objekte, für welche die Frage der realen Realität ganz und gar gleichgültig ist“ (Esposito, 1998, 270).

Daran anschließend ergibt sich für die Virtualität hinsichtlich der Wirklichkeitskonstruktion ein anderes Bild, das sich wie folgt darstellt.

#### 4.4. Wirklichkeit und Virtualität

„Auf die Konstruierbarkeit der ‚natürlichen‘ Welt, die subjekt- und beobachterabhängig ist, wobei einerseits der Bereich der möglichen Beobachtungen durch die Eigenschaften des beobachtenden Systems festgelegt ist und andererseits es immer der Beobachter ist, der die Unterscheidungsoperationen [...] trifft, folgte die Berechenbarkeit einer ‚künstlichen‘ Welt“ (Weibel, 1993, 21)

Der Radikale Konstruktivismus stellt den Unterschied zwischen natürlicher und virtueller Welt als belanglos dar. Heinz Buddemeier fragt daher aus derselben Perspektive: „Wie unterscheidet sich die virtuelle Welt von der Welt, in der der Mensch [...] am Morgen nach dem Aufstehen am Tisch sitzt und sein Frühstück isst?“ (Buddemeier, 2001, 199). Wenn der Mensch, geprägt durch die Notwendigkeit des Überlebens, nur aus einer subjektiven Perspektive Wirklichkeit erfahren kann, wird es gleichgültig, „ob er einem Menschen unmittelbar begegnet oder ob ihm seine äußere Erscheinung mittels Datenhelm simuliert wird“ (Buddemeier, 1993, 97). Für Buddemeier macht es keinen Unterschied, ob das Sehen darin besteht, dass Photonen einer natürlichen Umwelt die Netzhaut reizen, oder künstliche Welten im Monitor, die keine physische Existenz haben. VR-Systeme hätten Eigenschaften, die es leicht machen, die künstlichen Datenwelten als ‚höhere‘ Wirklichkeit auszugeben.

Der Zusammenhang von Virtueller Realität und Radikalem Konstruktivismus scheint fast zwangsläufig, da hier wie dort ein pluralisiertes Wirklichkeitsverständnis existiert, d. h. von Realität im Singular zu sprechen, keinen Sinn macht. In der Virtualität wird dies allerdings „anschaulicher“ als in jedweden Werken der bloßen Theorie. Dabei geht es nicht, wie Kritiker des Modells der Pluralisierung von Wirklichkeit – und der Postmoderne an sich – unterstellen, um eine Entwertung oder dem Verschwinden von *der* Wirklichkeit oder um die Beliebigkeit menschlicher Erlebniswelten, ein Vorwurf den Kritiker des Radikalen Konstruktivismus häufig vorbringen, sondern die Relativierung

von Realität, als eine unter vielen, die es erlaubt, „das, was ist, *als* das, *was* es ist, besser (nuancierter, detaillierter, differenzierter) zu beschreiben“ (Münker, 1997, 119).

„An die Stelle einer Wirklichkeit als normativer Ortho-Wirklichkeit tritt in der neueren Diskussion die Vorstellung von einem Kontinuum von sinnhaften *Virtualitäten*, die zunächst einmal nach der Art ihrer Entstehung oder Herstellung voneinander unterschieden sind und die dann von Aktanten in Geschichten und Diskursen je nach ihren Wirklichkeitstest auf Zeit und mit guten Gründen als *eine Wirklichkeit pragmatisiert* werden.“ (Schmidt, 2002, 28)

und an anderer Stelle:

„Medien erschaffen durch systemspezifisches Operieren ihre spezifischen Wirklichkeiten, in den mit Fakten und Fiktionen gespielt werden kann, die durch eben diese Wirklichkeiten definiert sind. Die Pluralisierung von Wirklichkeiten wie ihre Beobachtbarkeit aus einer Beobachterposition zweiter Ordnung führt zwangsläufig zu *Kontingenzerfahrungen* und zur Einsicht in die reflexive Vernetzung all dieser Wirklichkeiten.“ (Schmidt, 2002, 28)

Ein pluralisiertes Wirklichkeitsverständnis im Wahrnehmungsdiskurs gibt es, wie Wolfgang Welsch (vgl. 1998, 199ff.) beschreibt, schon seit der Antike. Die von ihm in chronologischer Abfolge vorgestellten Modelle stellen jeweils Möglichkeiten dar, das Verhältnis von Wirklichkeit und Virtualität zu analysieren<sup>42</sup>. Das *Aristotelische Modell* relativiert beispielsweise die gegebene Wirklichkeit und „entlarvt“ sie als Momentaufnahme. „Sie besteht nur aus realisierten Möglichkeiten und ist daher nichts *grundsätzlich* anderes als die momentan noch unrealisierten Möglichkeiten – andere hätten an ihrer Stelle realisiert werden können und neue werden realisiert werden“ (Welsch, 1998, 200). Diese unrealisierten Möglichkeiten sind bevor sie aktuell werden virtuell. Sobald das Virtuelle auftritt, wird es nicht weniger wirklich als das „gewöhnlich für wirklich Geltende“ (ebd.). Den Akteuren der Virtualität verspricht Welsch folglich: „Wenn es ihnen gelingt, unsere Wahrnehmungsmuster und Begriffsraster zu verändern, dann vermögen sie unsere Wirklichkeit zu verändern“ (Welsch, 1998, 201). Anders könnte man VR-Systeme dann auch als „technische Realisierungen von Fiktionen“ benennen (vgl. Waldenfels, 1998, 238).

Über VR-Techniken besteht die Möglichkeit „Wirklichkeit zu synthetisieren“ (vgl. Jaron Lanier im Interview mit Heilbrun/Stacks, 1991), die in ihrem Endergebnis – wenn man von den bestehenden technischen Schwächen absieht – dem Erscheinungsbild der Lebenswirklichkeit ‚täuschend‘ ähnlich ist, sozusagen mit dem Rückgriff auf Vertrautes Vertrauen zur neuen Technologie erwecken

---

<sup>42</sup> Eine ausführliche Darstellung dieser Modelle findet sich bei Welsch (1998).

möchte. Dabei können die oben erwähnten ansonsten wichtigen, auf Verlässlichkeit prüfenden und verifizierenden Vorgänge im menschlichen Umgang mit der natürlichen Realität entfallen, da Virtuelle Realitäten pure, von der Wirklichkeit unabhängige Konstrukte sind. Ebenso wie die physische Lebenswelt, wird die virtuelle Welt einzig über die Sinne wahrgenommen, was nicht verwunderlich ist, aber in der Betrachtung der einzelnen Techniken der Wahrnehmungsillusion erst offensichtlich zum Ausdruck kommt. Das heißt, dass etwas dann als Realität interpretiert wird, wenn der sensorische Input bestimmten subjektiven Prüfkriterien, wie Sichtbarkeit oder Hörbarkeit, genügt. Das mentale System unterstützt zusätzlich die Realitätsinterpretation in dem Sinne, dass, ausgehend von der These, dass sinnliche Eindrücke nicht allein durch die Sinnesorgane vermittelt werden, sondern erheblich wissensabhängig und somit gedächtnisgestützt sind, „Lücken“ in der Realitätsinterpretation ausgefüllt werden können.

„Allgemein kann gesagt werden, daß die Fähigkeit des Menschen „sensorische Lücken“ bei der Wahrnehmung eigenständig zu füllen, um sich somit eine „stabile Wirklichkeit“ zu errechnen, die noch geringe Leistungsfähigkeit der heutigen Geräte kompensieren hilft.“  
(Bormann, 1994, 71)

Realitätswahrnehmung in VR-Systemen kann somit in vielen Fällen als zwangsläufig betrachtet werden, da trotz besseren Wissen über den synthetischen Charakter des Inputs, Realität interpretiert wird. Dies unterscheidet VR-Systeme qualitativ, als ideale Benutzerschnittstelle, von anderen Medien wie Malerei, Fotografie und Film, die auf andere Weise versucht haben Realität nachzubilden, aber nie zum Ziel gekommen sind. Sie ist eine Schnittstelle, die die Tendenz hat zu verschwinden und unsichtbar zu werden (vgl. Kiefer, 1991).

## **5. Anwendungen von Virtueller Realität und Simulation**

In diesem Kapitel werden Beispiele für Anwendungen von Simulatoren/Simulationen und Virtuellen Realitäten aus ausgewählten Bereichen gegeben. Es gibt heute sehr viele Bereiche, in denen kontinuierlich und intensiv mit Virtuellen Realitäten gearbeitet wird. Hinzu kommen Bereiche, in denen das Potenzial für den Einsatz vorhanden wäre, die technische Entwicklung allerdings nicht so weit fortgeschritten ist, so dass ein Einsatz realisiert werden könnte. Diese alle darzustellen würde über den Rahmen dieser Arbeit weit hinausgehen. Im Folgenden werde ich also nur einzelne Bereiche betrachten, die entweder schon lange mit Virtueller Realität arbeiten, wie zum Beispiel im Bereich des Militärs und der Forschung, Bereiche, die in sehr spezifischer Weise, unter anderen Bedingungen und Voraussetzungen mit Simulatoren bzw. Virtuellen Realitäten arbeiten, wie im Bereich der Kunst und Unterhaltung, oder Bereiche, die in absehbarer Zukunft voraussichtlich vermehrt mit Virtueller Realität arbeiten werden, wie im medizinisch-neurowissenschaftlichen oder industriellen Bereich.

Die hier gegebenen Informationen beziehe ich aus Gesprächen mit Verantwortlichen der jeweiligen Projekte, aus persönlichen Erkenntnissen und Erfahrungen, die ich während des Besuchs der jeweiligen Einrichtungen gemacht habe, sowie aus Schriftmaterial, das mir zur Verfügung gestellt wurde (siehe Quellenanhang).

### **5.1. Bereich Forschung – RWTH Aachen I**

Das Virtual Reality Center Aachen (VRCA)<sup>43</sup> wurde im April 2000 an der RWTH Aachen als interdisziplinärer Zusammenschluss von heute 37 Mitgliedern aus verschiedensten Fakultäten und neun Fördermitgliedern gegründet. Das VRCA bündelt damit sämtliche Forschungs- und Lehraktivitäten der RWTH Aachen im Bereich der Virtuellen Realität. Als Ziele werden der Ausbau und die Durchführung interdisziplinärer Projekte innerhalb der RWTH Aachen, die Durchführung wissenschaftlicher Kooperationen mit externen Forschungseinrichtungen und der Industrie, die Initiierung und Koordination von Lehrveranstaltungen und Tagungen sowie die Außendarstellung auf

---

<sup>43</sup> <http://www.rwth-aachen.de/vrca>

Messen, Veranstaltungen und im Internet genannt (vgl. Jahresbericht 2003/2004) des VRCA. Dementsprechend breit gestreut stellen sich daher auch die Projekte dar, die im eigenen Forschungslabor betreut werden. So gibt es Forschungsprojekte im Bereich Architektur und Raumpräsentation, Montage- und Entwicklungssimulation, Fahr-, Verkehrsfluss- und Crash-Simulation, Prozesskettensimulation, sowie im Bereich der Robotik und Augmented Reality. Die Mitglieder des VRCA können auf eine Infrastruktur zurückgreifen, die u.a. ein 5-seitiges, konfigurierbares CAVE-System mit optoelektronischem Tracking, digitalen Projektoren und Passiv-Stereo Sichtsystem (Zirkularpolarisation) umfasst, sowie eine HoloBench und eine Rückprojektionsleinwand mit elektromagnetischem Tracking, transportable Rückprojektionstische mit Aktiv-Stereo sowie HMD-Systeme. ViSTA, eine im VRCA entwickelte plattformunabhängige und skalierbare VR-Software, erweitert die Möglichkeiten technisch-wissenschaftlicher Anwendungen um Techniken der Virtuellen Realität und der graphisch-interaktiven, dreidimensionalen Visualisierung. Im Folgenden werde ich einige Projekte des VRCA näher vorstellen.



Abb. 1

Einen wichtigen Teil des Forschungsbereich stellt die VR-basierte CFD (*computational fluid dynamics*)-Visualisierung dar. Komplexe Strömungsvorgänge konnten in der Vergangenheit nur in teuren, zeitaufwendigen und durch die Versuchsumgebung und Messmethoden fehleranfälligen wissenschaftlichen Experimenten untersucht werden. Mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation bietet sich eine Alternative zum Experiment an. Die steigenden Performance der heutigen Hochleistungsrechner ermöglicht eine immer genauere Berechnung der Strömungsvorgänge, bringt aber auch immer größere Datenmengen hervor, die isoliert nicht interpretierbar sind und daher spezielle Visualisierungsmethoden verlangen. Über

Postprocessing werden daher verwertbare Strömungsmerkmale aus den Rohdaten der Simulation extrahiert und daraufhin visualisiert. Die zweidimensionale Darstellung reicht für die benötigte intuitive Analyse meist allerdings nicht aus. Am VRCA wird daher versucht, komplexe und dynamische Strömungsvorgänge verschiedenster Bereiche mittels einer spezialisierten Software, interaktiv, dreidimensional und in Echtzeit zu visualisieren, um einen Vorteil gegenüber herkömmlichen Visualisierungssystemen zu erreichen. An zwei Beispielen werde ich die Forschungsarbeit kurz anschaulich machen:

Grundlage für das erste der Projektbeispiele, der Visualisierung des Einspritz- und Verbrennungsvorgangs eines Verbrennungsmotors, sind Daten über Strömungsfelder, Gemischbildung und Verbrennung eines Gases innerhalb des Motors, die durch eine vorhergehende numerische Simulation gewonnen werden konnten. Das Ziel der Simulation ist es, Erkenntnisse über die Effizienz des Motors und Charakteristiken des komplexen Strömungsfeldes zu gewinnen, die zur Optimierung des Verbrennungsvorganges und zu Einsparungen im Bau von teuren Prototypen führen können. Die Simulationsdaten werden schließlich nach einem weiteren Verarbeitungsschritt, dem Postprocessing, in einer den Anforderungen entsprechenden VR-Umgebung visualisiert.

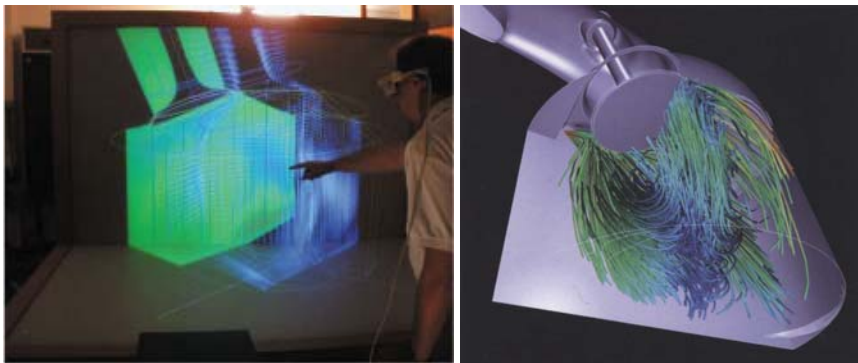


Abb. 2/3

Der Anwender kann daraufhin relativ frei im Datensatz navigieren und je nach Anforderung zwischen verschiedenen Visualisierungstechniken, wie Isoflächen- oder Schnittflächendarstellung sowie bei der Partikelvisualisierung zwischen teilchenbasierten Droplets oder Bahnlinien, wählen. Zusätzlich können weitere Parameter der Simulation über multimodale Benutzerschnittflächen dargestellt werden. So können zum Beispiel beliebig weitere zweidimensionale Schnitte in die dreidimensionalen Umgebung integriert werden. Der Vorteil einer VR-basierten Darstellung ist die dreidimensionale, stereoskopische Darstellung. Die räumliche Darstellung der simulierten Phänomene erleichtert und ermöglicht erst ein intuitives Verständnis komplexer Daten durch den Betrachter.

Das zweite Beispiel für Strömungsvisualisierung betrifft die VR-basierte Nasenchirurgie. Unter dem Projektnamen „Rhinomodell“ wird am VRCA eine Schnittbild-basierte Modellierung der Naseninnenströmung zur Optimierung der operativen Therapie einer Nasenatmungsbehinderung entwickelt. Durch Verletzungen, Erkrankungen oder erbliche Deformationen können die Nasenfunktionen erheblich eingeschränkt werden, 50% der durchgeführten Operationen, welche die Behinderungen korrigieren sollen, sind allerdings nicht erfolgreich. Größte Schwierigkeiten bereiten dabei die komplexen strömungsmechanischen Phänomene in der Nasenhöhle. Das Hauptanliegen des VR-Projekts ist daher, das Verständnis dieser Strömungsphänomene zu verbessern, mit dem Ziel, die Erfolgsraten minimalinvasiver Therapie zu steigern. Einen zusätzlichen Nutzwert stellt die Möglichkeit dar, mit Hilfe der virtuellen Simulation, Operationen vorzubereiten und Hals-Nasen-Ohren-Ärzte auszubilden.

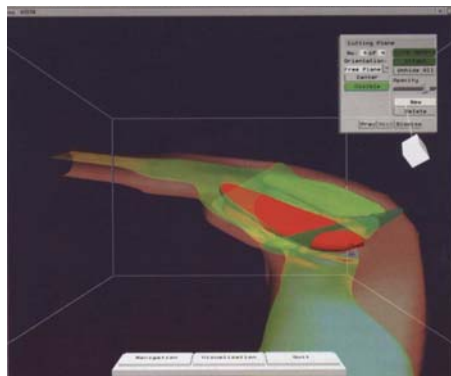


Abb. 4

Für die spätere Visualisierung wurde anhand von computertomographischen Daten über die Nasen einer Vielzahl von Patienten eine Modellnase entwickelt, an der durch eine CFD-Simulation charakteristische Merkmale der Naseninnenströmung untersucht werden können. Einerseits die Durchströmung im Idealfall, andererseits das veränderte Strömungsfeld, wenn an der Nase Modellierungen vorgenommen werden. Ziel ist es, ein physikalisches Strömungskriterium zu bestimmen, das die Bewertung einer gegebenen Nasenhaupthöhle erlaubt. Die Visualisierung der Strömungsmerkmale erfolgt in der Virtuellen Realität, was eine schnelle und interaktive Analyse der idealen und der durch Modellierung gestörten Strömungsfelder ermöglicht. Gleichzeitig können einfache Verformungen der Nasengeometrie interaktiv vorgenommen werden. Auch eine parallele Analyse mehrerer interaktiver Datensätze ist im Prototyp des Rhinomodells bereits erprobt worden.



Neben der Strömungsvisualisierung wird in einem weiteren Projekt des VRCA der Umgang mit Akustik in Virtuellen Realitäten erforscht. Die so genannte Binauraltechnik (akustische Signale werden zuhörerbezogen so erzeugt, dass diese als räumlich wahrgenommen werden) soll in Wechselwirkung mit visuellen Systemen zu einem höheren Realitätseindruck in VR-Systemen beitragen. Neben der optischen, haptischen und taktilen Wahrnehmung liefern auch akustische Signale Informationen über die Umgebung und externe Ereignisse, welche die Eigenwahrnehmung und ein Eintauchen in die Virtuelle Realität fördern. Bisher leiden die Systeme, die in Bereichen wie Bauwesen (Bau- und Raumakustik, Beschallungstechnik in Sälen), Maschinenbau (Sound Design), Fahr simulatoren, Unterhaltung und auch zur Auralisierung wissenschaftlicher Simulationen (wie der oben beschriebenen Strömungsphänomene) eingesetzt werden können, unter den Beschränkungen von Kopfhörern und dem hohen technischen Aufwand von benötigten Lautsprecheranlagen. Im VRCA wird versucht mit Hilfe von binauralen Techniken die selbe Leistung mit nur zwei oder vier Lautsprechern in der CAVE zu realisieren. Ein Problem stellt dabei das so genannte Übersprechen dar, da beide Ohren, abhängig von der Position im virtuellem Raum, beide Lautsprecher hören können. Mittels eines dynamischen Übersprechkompensators können aber mittlerweile auch kopfnaher Schallquellen, wie z.B. durch Interaktion mit Gegenständen in unmittelbarer Umgebung entstehende Geräusche, realitätsnah wiedergegeben werden. Die Realistik fördernde Eigenschaften sind u.a. Lautstärke, Klangfarbe, Einfallsrichtung des Direktschalls, Reflexionen und wahrgenommener Abstand, aus denen der Rezipient Rückschlüsse auf die Raumentgebung, wie deren Größe und Form, ziehen kann. Die Daten können dabei zum Beispiel aus raumakustischen Computersimulationen gewonnen werden, wobei ein beliebiger geometrischer Raum und dessen akustische Wand- und Materialeigenschaften, die für die Schallreflexion entscheidend sind, simuliert werden kann. In der Bauakustik kann eine solche akustische Virtuelle Realität verwendet werden, um die Schall- und Schwingungsausbreitung in noch nicht gebauten Gebäuden darstellen zu können. So kann z. B. die Akustikeinwirkung von Musikinstrumenten, Klimaanlage, Straßenlärm und auch Trittschall, Schall der durch Gehen oder Springen auf Fußböden erzeugt wird, in bestimmten, sensiblen Räumen in Echtzeit simuliert werden.

Zusammenfassend zeigt sich in den vorgestellten Projekten insbesondere, wie Virtuelle Realität als sinnvolle Ergänzung zur numerischen Simulation eingesetzt werden kann. Mit der dreidimensionalen und interaktiven Visualisierung von Daten dynamischer Simulationen wird am VRCA ein neuer Interpretationsrahmen entwickelt, der sich – mehr als bisherige Visualisierungstechniken – den menschlichen Bedürfnissen anpasst. Die Herstellung einer erlebbaren, alltäglichen Realität ist dabei aber nicht das Ziel.

## **5.2. Bereich neurowissenschaftliche Forschung – RWTH Aachen II**

„Der Hauptaspekt liegt hierbei auf der Eigenschaft und Ziel von Virtueller Realität, unmittelbar und interaktiv die Sinne des Nutzers anzusprechen und somit eine künstliche Welt genauso erfahrbar zu machen wie die Realität selbst.“ (Zitat zu dem Projekt „NeuroMan“ aus dem Jahresbericht 2003/2004 des VRCA)

Neben den bereits beschriebenen Projekten bilden Forschungsvorhaben im Bereich der Neurowissenschaft einen weiteren wichtigen Aspekt der VR-Forschung am VRCA. Im Rahmenwerk „NeuroMan“ wird Virtuelle Realität einerseits für die Erforschung der kognitiven Leistungen und funktionalen Zusammenhänge im Gehirn genutzt und andererseits um Systeme für die Therapie und Rehabilitation neurologischer Patienten zu konzipieren. Die Anwendungen von VR-Systemen in den Neurowissenschaften reichen über Untersuchungen zur Straßenverkehrstauglichkeit, zur räumlich und ereignisbezogenen Gedächtnisleistung, zu Bewegungsabläufen bis hin zur Erforschung der Navigation. Dabei verlässt man sich auf die Grundcharakteristika der Virtuellen Realität, die Immersion, die echtzeitfähige Interaktion sowie die Multimodalität, welche in vielfacher Hinsicht eine der Realität entsprechende Wahrnehmung ermöglichen. Diskrepanzen ergeben sich vor allem noch durch Latenzzeiten und ungenaue Interaktionsgeräte sowie durch die unterschiedliche Qualität der künstlichen Sinnesreize, bedingt durch vereinfachende Rendering-Algorithmen und niedrig auflösende Ausgabemedien. Die Frage nach Wahrnehmungs- und Interaktionsdifferenzen zwischen Virtueller Realität und Realität spielt daher auch innerhalb des Forschungsbereiches eine entscheidende Rolle. Für die einzelnen Projekte dieses Bereiches steht im VRCA die gleiche VR-Infrastruktur zur Verfügung, wie oben erwähnt. Um den späteren klinischen Einsatz zu ermöglichen, werden aber insbesondere kostengünstige und den vielfältigen Trainings- und

Messexperimenten angepasste flexible Systeme, wie Projektionstische und HoloBench mit elektromagnetischen Tracking, gewählt.

Das PathMan-System, als ein Modul des NeuroMan-Rahmenwerks, ermöglicht Untersuchungen zum topographischen Gedächtnis bzw. der mentalen Raumrepräsentation. Patienten mit Störungen der Raumrepräsentation, bspw. mit Verlust des Orientierungsvermögens, die nur unter aufwendigen Vorkehrungen eine reale Stadt allein begehen könnten, werden mittels eines HMDs in eine beliebige virtuelle Stadt versetzt. Die Wahrnehmungsgefühl von Presence und Immersion ist in diesem Projekt besonders wichtig. In der Virtuellen Realität können annähernd reale Bedingungen flexibel erzeugt werden und somit die Rehabilitation und Therapie effektiver gestaltet werden. Die virtuelle Stadt wird teilautomatisch generiert und mit einem Navigationskonzept sowie frei konfigurierbaren Landmarks (Orientierungspunkte, wie Straßenschilder oder Ähnliches) versehen. Um einen stärkeren Realitätseindruck zu erreichen werden Fassaden realer Häuser im vorhinein fotografiert und als Texturen auf den virtuellen Häusern angebracht. Die künstlichen Objekte erhalten dadurch sinnlich erfahrbare Eigenschaften.



Abb. 5/6/7

Ziel der Anwendung ist es, das Orientierungsvermögen der Probanden zu protokollieren und zu analysieren. Der Proband hat die Möglichkeit die virtuelle Stadt auf Pfaden selbstständig zu begehen. An Kreuzungspunkten besteht freie Wegwahl, die durch die Eingabe des Probanden bestätigt wird. In kopffesten Darstellungssystemen (HMD, CAVE) erfolgt die intuitive Pfadwahl durch die Orientierung des Kopfes des Probanden, bei kopffernen Systemen mit eingeschränktem Sichtvolumen (Projektionstischen, HoloBench) erfolgt die Pfadwahl durch eine zusätzliche Benutzerinteraktion; die Kopfbewegung wird dann simuliert.

In einem zweiten Modul mit dem Titel „ReactorMan“ werden Verhaltensmessungen in VR-Umgebungen durchgeführt, um Rückschlüsse über Vorgänge im Nervensystem des Menschen zu erhalten; dabei spielt die Reaktionszeitmessung eine entscheidende Rolle. Mit Hilfe der Virtuellen Realität kann man einerseits klassische experimentelle Untersuchungen in computergenerierten und -gesteuerten Umgebungen durchführen aber andererseits auch neuartige, die Möglichkeiten der Virtuellen Realität ausschöpfende, Versuchsdiseins erstellen. So können bspw. physikalische Gesetzmäßigkeiten geändert werden um den Probanden mit Paradoxa zu konfrontieren, die in der Realität nicht möglich wären.



Abb. 8/9

Gleichzeitig ermöglicht die Virtuelle Realität die exakte Zeitkontrolle und Protokollierung sowie eine exakte Reproduzierbarkeit, unter gleichen virtuellen Bedingungen, der Experimente. In einer Untersuchung zum mentalen Zahlenstrahl wird zum Beispiel dessen Ausrichtung in einer dreidimensionalen Umgebung erforscht. In den meisten bestehenden Modellen der mentalen Zahlenverarbeitung wird bisher noch von der Eindimensionalität des Zahlenstrahls ausgegangen.

In einem anderen Projekt wird die Aufmerksamkeitsasymmetrie bei Schlafentzug untersucht. Der dreidimensionale Raum der Virtuellen Realität lässt dabei mehr Freiheitsgrade zu als anderen Experimentumgebungen. Weitere Projekte untersuchen bspw. Sprache und Raum in virtuellen Umgebungen, Raumverarbeitung in körpernaher und körperferner Umgebung, die Modulation von Zeige- und Greifbewegungen im 3D-Raum durch visuell-räumliche Aufmerksamkeitsprozesse sowie den Einsatz von Avataren (virtuelle Stellvertreter von Personen). Ferneres Ziel der Neurowissenschaften ist die unmittelbare Verbindung von Computer und Nervensystem, bei dem die Virtuelle Realität innerhalb des Kopfes des Menschen, durch Sinnesorgane ersetzende Implantate, hergestellt wird. Diese Technologien erzeugen im

Gegensatz zu den Techniken der „äußeren“ Virtuellen Realität allerdings noch erhebliche Probleme, so dass sie zur Zeit eher als ‚Science Fiction‘ bezeichnet werden können; insbesondere ist ihr Einsatz noch nicht zielgenau und fein genug.

In diesem Abschnitt konnte dargestellt werden, dass der Einsatz von VR-Systemen im neurowissenschaftlichen Bereich vor allem darauf angelegt ist, reale Umgebungsverhältnisse künstlich zu erschaffen. Dabei macht es keinen Unterschied ob es sich um Experimentumgebungen handelt, oder um Vorbilder aus dem täglichen Leben. Insbesondere der Modus der Sichtbarkeit spielt bei diesen Projekten eine entscheidende Rolle.

### 5.3. Bereich Industrie – Deutsche Steinkohle AG, Herne

„Tunnelbaumaschinen, die am Bildschirm in Echtzeit gesteuert werden können. Gläserne Bergwerke unter der Erde, die sich über Hunderte von Kilometern erstrecken und per Mausclick sichtbar werden, mit jedem einzelnen von Zehntausenden von Messpunkten. Was wie Science Fiction klingt, ist bei uns Alltag. Mit modernster Computertechnologie, der virtuellen Realität, machen wir unsere Abbaubetriebe sicherer und wirtschaftlicher. Gleichzeitig sorgen wir für einen neuen Exportschlager der weltweit führenden deutschen Bergbautechnologie. Wir fördern eben nicht nur die Energiesicherheit unseres Landes. Sondern auch den Technologiestandort Deutschland. Heute und in Zukunft.“ (Zitat aus dem Informationsblatt der Deutschen Steinkohle AG zur Kampagne „Die Zukunft ist schon lange unter uns: [www.deutsche-steinkohle.de](http://www.deutsche-steinkohle.de)“, 2004)

Unter dem Titel „Die Zukunft ist schon lange unter uns: [www.deutsche-steinkohle.de](http://www.deutsche-steinkohle.de)“ startete die Deutsche Steinkohle AG im Herbst 2003 eine Kampagne, die auf die Bedeutung der deutsche Steinkohle für die Sicherung der nationalen Energieversorgung aufmerksam machen wollte. Unter anderen wurden neue Technologien im Bereich der Virtuellen Realität vorgestellt, die zur Produktivitätssteigerung und Zukunftssicherung der deutschen Steinkohle beitragen. In der DSK-Hauptabteilung Technisches Innovationsmanagement in Zusammenarbeit mit anderen Fachabteilungen werden heute fast 90 angewandte Forschungs- und Entwicklungsprojekte betreut, die zu einer Revolution und erheblichen Kosteneinsparungen in der Bergwerkstechnik führen sollen.

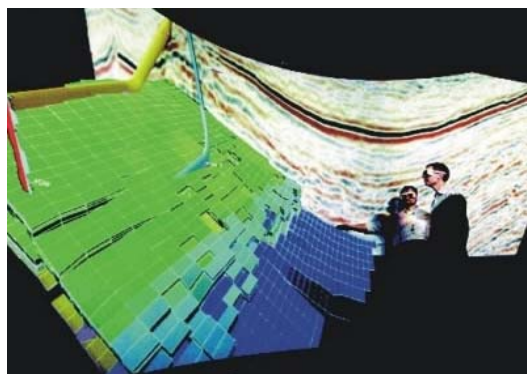


Abb. 10

1999 startete das Forschungsvorhaben mit dem Titel „Erhöhung der Grubensicherheit und Verbesserung von Betriebsabläufen durch Einsatz von virtueller Realität“ als europäisches Gemeinschaftsvorhaben im Rahmen des EGKS-Programms (Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl). Durch den Einsatz von Virtueller Realität sollte es erstmals ermöglicht werden, ein dynamisches 3D-Modell eines Steinkohlenbergwerks inklusive der eingesetzten Betriebsmittel zu erstellen, welches mit Hilfe von Simulatoren als auch über reale Prozessinformationen aus untertägigen Betrieben gesteuert werden sollte. Die Einsatzbereiche sollten von der Planung und Logistik, dem Mitarbeitertraining, der Prozessvisualisierung und Onlinediagnose bis hin zur Öffentlichkeitsarbeit reichen. Im Folgenden werde ich drei der umgesetzten Projekte vorstellen.

Im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens stand die Konstruktion eines „Virtuellen Strebs“. Mittels einer 3D-Betriebsmittelbibliothek mit mehr als 200 VRML (*Virtual Reality Modelling Language*)-Modellen, die als ein flexibles Baukastensystem diente, und auf Fotomaterial, 2D-Zeichnungen, 3D-Zeichnungen und Videosequenzen von u.a. Antrieben, Förderern, Brechern, Gewinnungsmaschinen basiert, sowie einer geeigneten Renderer-Engine wurden zunächst die VRML-Dateien zu beliebig konfigurierbaren und kontrollierbaren Welten zusammengesetzt. Schließlich wurde die Kinematik der dynamischen Betriebsmittel sowie deren Tonsequenzen ermittelt und mit den 3D-Modellen verknüpft, so dass realistische Bewegungsabläufe selbst komplizierter Bewegungsvorgänge dargestellt werden können. Ein eigens entwickeltes Konfigurationsprogramm ermöglicht es daraufhin, beliebige dreidimensionale Grubenumgebungen zu visualisieren und den Abbaubetrieb zu simulieren.

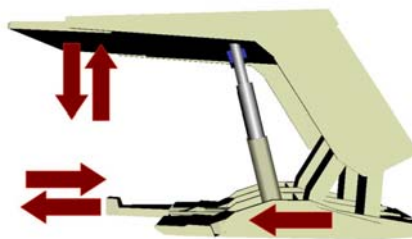
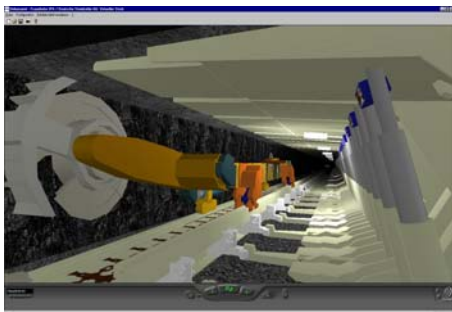


Abb. 11/12

Mittels einer Shutter-Brille können diese Umgebungen dreidimensional betrachtet werden. Die Navigation mit Hilfe einer Magellan-Spacemouse erlaubt Standorte auszuwählen und Bewegungen in allen Freiheitsgraden auszuführen, die in der Realität unter Tage nicht möglich sind, aber für die optimale

Beurteilung des aktuellen Betriebszustandes von großer Bedeutung sein können. Mit Hilfe einer geeigneten Kommunikationsschnittstelle, in diesem Falle der Scriptsprache „Longwall-Talk“, ergab sich zudem die Möglichkeit der Dynamisierung von Bergwerksprozessen, d.h. der externen, gezielten Beeinflussung der Betriebsmittel des virtuellen Strebs. Die Echtzeit-Visualisierung der Prozessdaten von laufenden realen Abbaustreben, die Herstellung eigenständiger Maschinensimulatoren zur Schulung und zum Training einzelner Arbeiter und vernetzter Mannschaften sowie die nachträgliche Analyse von Störungen oder Betriebsstillständen mit Hilfe der Visualisierung archivierter und historischer Strebdaten wurden dadurch möglich.



Abb. 13

In einem weiteren Projekt wurde für eine neue Streckenvortriebsmaschine, das so genannte „Alternatives Vortriebssystem Schneiden Ankern (AVSA)“, parallel zur physikalischen Entwicklung ein interaktives digitales 3D-Modell entwickelt, welches alle Betriebs- und Bewegungsabläufe simulieren kann. Es dient an erster Stelle der Einweisung von Mitarbeitern in das Verfahren der neuen Vortriebstechnik; der Anwender kann beispielsweise alle Betriebsabläufe einzeln aktivieren. Gleichzeitig dient das Modell aber auch zur Präsentation der gesamten Technologie, die aufgrund der Beengtheit unter Tage nicht möglich wäre. Dadurch können beispielsweise Konstruktionsfehler im vorhinein vermieden und der Platzbedarf der Systeme ermittelt werden.

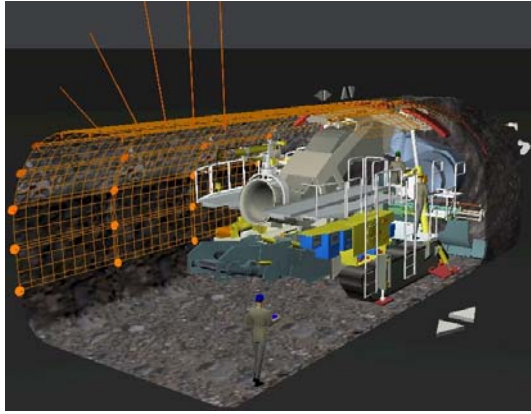


Abb. 14

Ein weiteres, höheren Anforderungen entsprechendes Schulungs-, Trainings- und Simulationssystem wurde in einem Projekt zur Optimierung des Streckenvortriebs geschaffen. Da die Aus- und Fortbildung qualifizierter Mitarbeiter in diesem Bereich besonders kosten- und zeitintensiv ist, und zudem die Entwicklung der Vortriebsleistung durch diverse äußere Umstände seit Jahren stagniert, bot sich mit der Virtuellen Realität ein alternativer Lösungs- und Entwicklungsweg an. Ein im Bergbau einzigartiges, computerbasiertes, vernetztes Virtual-Reality-Trainingssystem, schult nun mit Erfolg, bis zu 90% höherer Qualität und Leistung, Vortriebsmannschaften des Bergwerk Prosper-Haniel für den Einsatz unter Tage. Dazu wurden alle notwendigen Betriebsmittel, z.B. ein Bohrwagen, eine Ausbaubühne und ein Ladewagen simuliert, ein virtueller Streckenvortrieb auf 220m Länge erstellt und sämtliche Arbeitsabläufe, bis hin zum Bohren und anschließender Sprengung, in das System übertragen. Über ein originalgetreues Bedienpult mit Steuerhebeln, unter Verwendung eines Kraft-Rückkopplungs-System (Force-Feedback) zur Vermittlung von Kollisionen oder Bedienungsfehlern, eines Soundsystems, der dreidimensionalen Darstellung auf einer Leinwand und der mit diesen Komponenten einhergehenden Erhöhung der Immersion, können die Arbeitsschritte beim Streckenvortrieb realitätsnah simuliert werden, ohne das Bedienungsfehler zu realen Betriebsunterbrechungen, Maschinenschäden oder Arbeitsunfällen führen. Ein Trainer hat außerdem die Möglichkeiten, verschiedene Lichtverhältnisse, z.B. bedingt durch Staub oder Nebel, herzustellen.



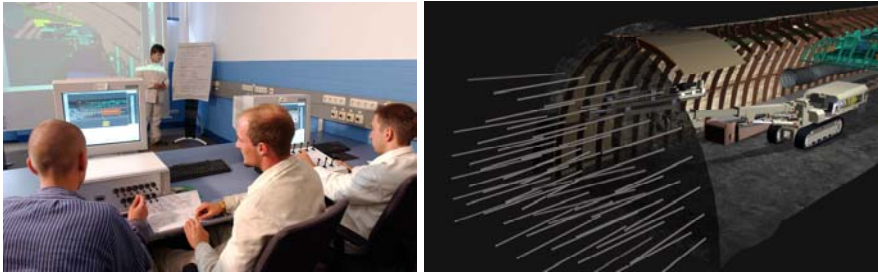


Abb. 15/16

Die nachträgliche Betrachtung der Arbeitsprozesse, wie z. B. die Lage der Bohrlöcher im Gebirge und die Koordination innerhalb der Mannschaft, führt schließlich zur Verbesserung der Arbeitsqualität. Auch die Arbeitsunfälle konnten im späteren Einsatz auf einen historischen Tiefstand gesenkt werden.

Die Zukunft verspricht weitere Entwicklungen in Richtung des angestrebten „Hightech-Bergbaus“, wie z. B. den „Bergmann der Zukunft“, dessen erster Prototyp 2007 den Betrieb aufnehmen soll. Über ein im Helm integriertes modernes Video- und Kommunikationssystem sowie Datenübertragung mittels Mini-PC werden die zusätzlich mit einer Kühlweste ausgestatteten Bergleute dann im ständigen Kontakt mit Experten der Warte über Tage stehen. In einem weiteren Schritt ist der Einsatz von Augmented-Reality-Systemen vorgesehen. In der Vorstellung der Entwicklungsingenieure erhält der Bergmechaniker Montagehinweise für die Reparatur einer Anlage auf das Display seiner transparenten Datenbrille projiziert. Mit der Umsetzung dieser Maßnahmen im Bereich der Virtuellen Realität könnte ein weiterer technischer Quantensprung gelingen, der den Bergbau tatsächlich zu einer Hightech-Disziplin transformieren und die bisherige Arbeitswelt erheblich verändern würde.

Die einzelnen Projekte verdeutlichen die Anwendungsvielfalt von VR-Systemen in der Industrie. Ebenfalls zeigt sich, dass die Erzeugung künstlicher Realität nicht allein von der Erzeugung fotorealistischer visueller Elemente abhängt, sondern auch die Integration von Prozessdaten bzw. Daten der Kinematik eine wichtige Rolle spielen. Dies verdeutlicht, dass Daten aus verschiedensten Ebenen bei der Erstellung der Virtuellen Realität berücksichtigt werden müssen, um bspw. für Trainingszwecke eine authentische Umgebung generieren zu können.

#### 5.4. Bereich Militär – Rheinmetall Defence Electronics, Bremen

„Since the end of the Cold War conflicts have been characterized by a much higher degree of diversity. A general reduction in defense budgets and growing international co-operation increasingly require joint and multinational forces to cope with such conflicts. Training and means of training have to be significantly more flexible to reflect the specific nature of present and future conflicts. This leads to a challenging requirement for virtual simulations as the means of military training have to provide this flexibility, in addition to cost and training efficiency.“ (Zitat aus dem Informationsblatt zum TacSi (Tactical Simulation System) der STN Atlas Elektronik GmbH, der heutigen Rheinmetall Defence Electronics GmbH)

Die Rheinmetall Defence Electronics GmbH<sup>44</sup> entwickelt im Rahmen von Projekten der wehrtechnischen Elektronik unter anderem vielfältig einsetzbare Simulationssysteme. Neben Flugsimulatoren für Hubschrauber und Kampffjets, Schiffsführungssimulatoren für die zivile Seefahrt, kompletten U-Boot-Simulatoren mit digitalen Echtzeit-Sicht-Systemen und flexiblen Bewegungsplattformen werden vor allem Landfahrzeugsimulatoren und so genannte Gefechtsfeldsimulatoren konstruiert. Zu den Landfahrzeugsimulatoren zählen Ausbildungs- und Trainingssimulatoren insbesondere für die Fahr-, Schieß-, und Gefechtsausbildung von Panzerbesatzungen; aber auch im zivilen Bereich, wie das folgende Beispiel zeigt, kommen die eigentlich für militärische Zwecke entwickelten Systeme zum Einsatz. Gefechtsfeldsimulatoren wiederum ermöglichen die „exakte Planung und Überwachung“ einer Gefechtsübung.

In den Gefechtsfeldsimulatoren werden Daten über Bewegungen, Waffeneinsatz, Verletzungen und Beschädigungen in Echtzeit erfasst. Sie ermöglichen damit ein realistisches Training für den Waffeneinsatz, einen vollständigen Überblick über eine laufende Übung sowie durch die beliebige Wiederholbarkeit der Simulation eine vereinfachte Möglichkeit der Nachbereitung und Auswertung der Übung. Simulatoren erlangen einen immer höheren Stellenwert im militärischen Bereich, da neben einem erhöhtem Kostendruck und der eingeschränkten Trainingsmöglichkeiten auch die Notwendigkeit besteht, Material und Umwelt zu schonen. Gleichzeitig können sämtliche Situationen unabhängig von Zeit- und Wetterverhältnissen mit beliebigen Ressourcen durchgeführt werden. Die Erfahrung zeigt außerdem, dass intensiver und ergebnisorientierter als in der Realität trainiert werden kann.

---

<sup>44</sup> [www.rheinmetall-de.com](http://www.rheinmetall-de.com)

Das taktische Echtzeit-Simulationssystem „TacSi“, das von der Bundeswehr und den Schweizer Streitkräften genutzt wird, verbindet verschiedene virtuelle Simulatoren und kann als Ausbildungssystem, Informationssystem für Ausbilder oder auch als Dauerversuchsumfeld (*Distributed Continuous Experimentation Environment*) genutzt werden. Je nach Anwendung, auf individueller oder Waffenverbund-Ebene, kann das System dynamisch konfigurierbar auf einer Hardware und Software-Ebene von einem einzelnen Laptop oder auf Brigade-Ebene, mit Verkettung verschiedener Betriebsmittel, wie ganzen Panzerbattalionen oder auch Gefechtssystemen, betrieben werden.

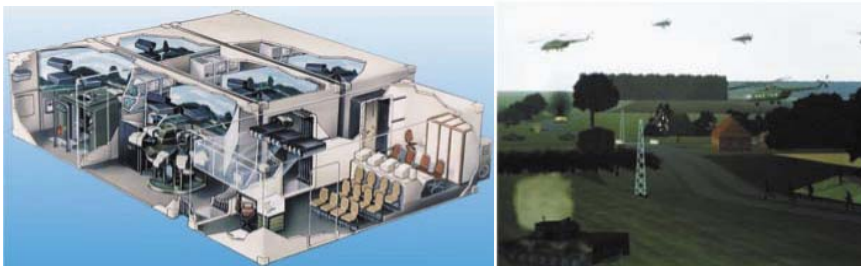


Abb. 17/18

Aufgrund der hohen Freiheitsgrade des Systems können neben den Kampftruppen z.B. auch Nachschub-, Reparatur-, Abwehrtruppen und medizinische Einheiten trainiert werden. Die Flexibilität des Systems aktuelle und zukünftige Konflikte unterschiedlichen Ausmaßes kostengünstig vorzubereiten, trainierbar zu machen und nachzustellen stellt den größten Vorteil des Systems dar. Der Faktor Realität spielt dabei eine entscheidende Rolle. Innerhalb der Simulation wird versucht die Sichtbarkeit und Hörbarkeit, die auf dem realen Gefechtsfeld zur Entscheidungsfindung wesentlich beiträgt, realitätsnah nachzustellen. Dazu werden neben 3D-Karten der simulierten Originalschauplätze, die auf Vermessungs- und dynamischen Geländedatenbanken basieren und je nach Anforderungsprofil leicht zu erstellen sind, diversen dynamischen Fahrzeug- und Objektsimulationen mit teilweise hochauflösenden fotorealistischen Texturen, originalgetreuen Geräuschen, je nach Position des Beobachters in Lautstärke und Richtung variierend, auch Schusstreffer, entstehende Krater, Rauch und Minenfelder eingespielt, welche die Bewegungsfreiheit der Fahrzeuge einschränken können.

Die eingesetzten Fahrsimulatoren, z.B. die Panzersimulatoren, und auch die Kommandozentralen, orientieren sich an den realen Gegebenheiten und Fahrzeugmodellen, die vorhandenen Sichtsysteme und Instrumente, Kommunikations- und Bedienmöglichkeiten, einschließend. Die Übernahme

militärischer Kommandostrukturen<sup>45</sup> sowie jedweder computergenerierte Gegner, die nach vom Trainingsleiter gewünschten taktischen Eingaben, und je nach Eingriffen der Simulationsteilnehmer, dynamisch, chaotisch und in Echtzeit reagieren, vervollkommen das „virtuelle Schlachtfeld“, welches der Übungsleiter aus vollständig variabler Perspektive (*Flying Eye*) kontrollieren und überwachen kann. Für die Teilnehmer der Simulation erscheint die Situation real, einzig das Verletzungs- bzw. Sterberisiko eines echten Einsatzes wird ausgeschlossen.

„During the simulation, it is impossible for the trainees to distinguish between units actually involved in a battle and units simulated by the computer. They can see and fight against each other as far as permitted by the terrain.“ (Zitat aus dem Informationsblatt zum ELTAM Simulationssystem der Rheinmetall Defence Electronics GmbH)

Die technischen Grenzen des Simulationssystems zeigen sich, trotz erheblich gesteigerter Rechenleistung in den letzten Jahren, erst bei dem Einsatz von sehr vielen, miteinander kommunizierenden Fahrzeugen sowie bei der fotorealistischen Darstellung detaillierter Objekte, auf das daher noch weitgehend verzichtet wird. Aber auch unendliche Rechenleistung kann einige Barrieren des Systems wohl niemals überwinden. So haben im realen Einsatz insbesondere die natürlichen menschlichen Grenzen, wie Stress, Ermüdung, Angst und Hunger, Einfluss auf den Erfolg der Operation. Diese sind in der Simulation kaum vermittelbar.

Im Bereich der zivilen Fahrzeugsimulatoren griffen die Entwickler von Rheinmetall Defence Electronics auf Erfahrungen aus militärischen Anwendungen, wie dem LKW-Fahrtraining, zurück. Der Trainingssimulator für Einsatzfahrten der Polizei und des Notfalldienstes wurde im Januar 2003 in Betrieb genommen um gestiegenen Anforderungen in der Ausbildung, wie steigende Verkehrsdichte und Kostenreduzierungen, gerecht zu werden. Einsatzfahrten konnten bisher nur im alltäglichen Verkehr und theoretisch erprobt werden, da andere Varianten, wie ein entsprechendes Übungsgelände mit verschiedenen Verkehrsteilnehmern, zu kostspielig wären.

Die Entwicklung eines risikofreien immersiven Fahrsimulators mit realem Erscheinungsbild, Fahrgefühl bzw. -verhalten und einer entsprechenden,

---

<sup>45</sup> Interessant ist, dass die Kommandostrukturen auch Einfluss auf die Fähigkeiten des Systems insgesamt haben können. So zeichnen sich europäische Systeme gegenüber amerikanischen Systemen dadurch aus, dass den Trainingsteilnehmern mehr Freiheitsgrade gegeben sind. Amerikanische Systeme benötigen diese nicht, da die Befehlsketten härter sind und dem

dynamisch chaotischen Verkehrsumgebung, die von einem Ausbilder beherrscht und gesteuert werden kann, stellte daher das Ziel der Entwickler, in Kooperation mit der Universität Würzburg und InstruktorInnen der Bayerischen Bereitschaftspolizei, dar. Die Umsetzung dieser Forderungen ermöglicht ein Simulator, dessen äußere Erscheinung, Innenausstattung und Bedieninstrumente in Aussehen und Funktion vollkommen einem realen Einsatzfahrzeug ähneln.



Abb. 19/20

Das Verhalten des simulierten Fahrzeuges entspricht mit Hilfe mathematischer Algorithmen dem eines Realfahrzeuges. Dazu gehört das Beschleunigungs- bzw. Bremsgefühl, das Spüren von Kurven und Gefällen sowie von Vibrationen, welches über das mit sechs Freiheitsgraden ausgestattete elektronische Bewegungssystem des Simulators dargestellt wird, der räumliche Eindruck von Verkehrs- und eigenen Motorgeräuschen sowie der visuelle Eindruck, der auf einer den Simulator umgebenden Großbildleinwand und Rückspiegelsichten über drei Monitore nachgestellt wird. Der Fahrer des Simulators taucht dadurch vollständig in das virtuelle Verkehrsgeschehen ein.

Mathematische Simulationen des Verkehrsflusses ermöglichen zudem die realistische Abbildung einer Verkehrsumgebung, welche die Verkehrsregeln und mögliche Ausnahmesituationen durch Fehlverhalten anderer Verkehrsteilnehmer integriert. Der Ausbilder kann gezielt und in Echtzeit komplexe Situationen erzeugen, den Schwierigkeitsgrad der Einsatzfahrten hinsichtlich Art, Verhalten (z.B. unerwartetes Bremsen, herunterfallende Ladung, etc.) und Anzahl der Verkehrsteilnehmer steuern, Umwelteinflüsse wie Nebel, Glätte und Schnee variieren sowie die Ausbildungsumgebung, z.B. typische Streckennetze für verschiedene Stadtgebiete, modifizieren. Die ca. 40 Verkehrsteilnehmer halten sich durch intelligente Verkehrssteuerung in einer „Wolke“ in unmittelbarer Umgebung des Einsatzfahrzeuges auf, und verhalten sich, trotz dass sie die vom Ausbildungsleiter provozierten Ereignisse realisieren, zufällig. Jede

---

Einzelnen weniger Eigenverantwortung zugestanden wird. Einige Aktionen sind daher von

Simulatorfahrt wird zudem aufgezeichnet und kann anschließend aus verschiedenen Perspektiven dargestellt und analysiert werden sowie in der wiederholten Einspielung mit dem Fahrer besprochen werden.

An den vorgestellten, hochentwickelten Simulatoren im Bereich Militär zeigt sich die in diesen Systemen vorhandene Notwendigkeit der Herstellung einer im Sinne einer Abbildung des Realen fast perfekten Virtuellen Umgebung. Nicht nur ferne visuelle Elemente sollen scheinbar real wirken, sondern auch die unmittelbare Umgebung des Benutzers der Simulatoren soll der realen Umgebung täuschend ähnlich sein. Hohe Freiheitsgrade in der Fortbewegung und Interaktion, die chaotisch realen Reaktionen anderer an der Simulation teilnehmender virtueller Objekte und Spieler sowie die taktile und kinästhetische Rückkopplung ergeben zusammen eine nahezu perfekte, dem Nutzer der Simulationen ein hohes Maß an Präsenz vermittelnde, virtuelle Umgebung.

### **5.5. Bereich Kunst – Monika Fleischmann und Wolfgang Strauss, Fraunhofer-Institut, St. Augustin**

„Andererseits aber bringt das Instrument der Cyberspace-Technik etwas mit sich, wovon Künstler vermutlich seit tausend Jahren geträumt haben: Es ermöglicht es ihnen nämlich, ganze Welten zu entwerfen, virtuell aufzubauen, nach jedem beliebigen Stil, in Anlehnung an die reale Welt oder auch nicht, eine Welt, die nicht mehr wie beim klassischen Bild als Oberflächenprojektion auftritt, sondern dreidimensional und grenzenlos sein kann; wer will, kann sich die Grundgesetze seines Universums selbst schaffen und es sich aus diesen Gesetzen heraus entwickeln lassen. Doch nicht genug: Er hat sogar die Möglichkeit, sein Publikum in diese Welt einzuführen, sie ihm mit allen Höhen und Tiefen zu zeigen, ihm Erlebnisse zu bieten, die ihm in beliebiger Weise Eingriffe erlauben, zum Teilnehmer des Schöpfungsaktes werden lassen.“ (Franke, Riedel, 1993, 22)

Die Medienkünstler Monika Fleischmann und Wolfgang Strauss, die sich selbst als „Research Artists“ verstehen, forschen und entwickeln am, von ihnen geleiteten, experimentellen und interdisziplinären Forschungslabor MARS (Media/Arts/Research/Society) am Fraunhofer-Institut „im Bereich neuer Formen der Kommunikation, des Interface Designs, der Wissenserschließung und Wissensvermittlung, der medialen Inszenierung und der Entwicklung von Spiel- und Lernobjekten auf Basis digitaler Medien“<sup>46</sup>. Ihre umfangreiche künstlerische und wissenschaftliche Arbeit umfasst interaktive Installationen im Bereich der Virtuellen und Vermischten Realität (Mixed Reality), mehr als 100 wissenschaftliche Publikationen sowie unterschiedliche Patente, Produkte und

---

vorneherein schon nicht durchführbar.

<sup>46</sup> <http://imk.fraunhofer.de/mars>

Produktionen im Bereich des Interface- und Plattformdesigns<sup>47</sup>. Das zentrale Motiv ihrer Arbeit ist die Erforschung und Entwicklung immaterieller, multimodaler, intuitiver Schnittstellen von Mensch, Maschine und Raum, wobei sich, entgegen der bestehenden Praxis, die Technik dem menschlichen Körper anpassen soll. Im folgenden werden zwei Projekte kurz vorgestellt, welche stellvertretend für die Arbeit der beiden Künstler im Bereich der Virtual bzw. Mixed Reality stehen, sowie zwei weitere Projekte, welche ihre Forschung im Bereich des Interface Design repräsentieren.

Bereits 1991/92 entstand, die Künstler waren damals für das Forschungsinstitut ART + COM tätig, *The Home of the Brain – Stoa of Berlin* als künstlerische Reflexion des damaligen kulturellen und philosophischen Diskurses über die gesellschaftlichen Folgen der neuen Medientechniken Internet und Computer<sup>48</sup>. Das Projekt gilt heute als eine der ersten künstlerischen Anwendungen der Virtuellen Realität. Den Mittelpunkt des „Denkraum der Information“ bilden die theoretischen Positionen der Medientheoretiker Vilém Flusser, Paul Virilio, Marvin Minsky und Joseph Weizenbaum, die zuvor gebeten wurden, sich aktiv an dem Gestaltungsprozess zu beteiligen. Unter Beachtung der technischen Möglichkeiten und Grenzen entstand schließlich in Zusammenarbeit der beiden Künstler mit Programmierern, Interface-, Hardwarespezialisten und Medientheoretikern ein interaktiv und immersiv erfahrbarer, quadratischer Datenraum, orientiert an der Neuen Nationalgalerie, eingebettet in eine maßstabsgetreue Berechnung der Berliner City.



Abb. 21

An verschiedenen Stellen in der Virtuellen Umgebung kann sich der Benutzer, der mit einem HMD, Kopfhörern und einem Datenhandschuh ausgestattet ist, Bereichen (Häusern) nähern, die in einem zeichenhaften Diskurs (stellvertretend die Elemente Feuer, Erde, Wasser, Luft, sowie verschiedene Farben und

---

<sup>47</sup> <http://www.netzspannung.org>

Formen) mit dem jeweiligen Werk eines der vier Medientheoretikern verbunden sind. Porträtfotografien, Namenszüge und Zitate auf virtuellen Schrift- und Bildtransparenten bilden die visuelle Repräsentation der Theoretiker. Durch das Eintreten des Benutzers in einen der Bereiche werden akustisch Kernsätze der Theoretiker eingespielt, die durch Bewegungen zu Klangcollagen arrangiert werden können. Die übrigen Zuschauer, das System lässt nur einen Benutzer zu, können über eine Projektionsfläche, die Bewegungen und die dadurch erzeugten Bilder des Benutzers miterleben und sich mit Kommentaren einschalten. Der Benutzer selbst kann neben den Elementen der Virtuellen Umgebung von seinem eigenen Körper einzig seine komputierte Hand, die seinen Bewegungen synchron folgt, auf dem Bildschirm sehen. Als Anhaltspunkt für das menschliche Maß in der Virtuellen Realität dient das abstrahierte Bild einer menschlichen Figur, die zwischen den jeweiligen Häusern der Philosophen positioniert ist. Das Ziel der Installation war es, dem Nutzer, trotz seiner eigenen Anwesenheit ‚innerhalb‘ des Mediums und der damit aufgehobenen natürlichen Distanz, die Möglichkeit zu geben, sich mit Hilfe der dargestellten medientheoretischen Positionen kritisch mit den Implikationen des Medium auseinander zu setzen.

Das zweite Projekt, die performative Installation *The Murmuring Fields* (1997-1999)<sup>49</sup>, folgt thematisch *The Home of the Brain*, indem erneut die Stimmen, Worte und Gedanken der Medienwissenschaftler Flusser, Minsky, Virilio und Weizenbaum die hörbare Grundlage des entstehenden Klangfeldes bilden. Es wird allerdings eine andere Technik verwendet, die auf VRML basierende „electronic multi-user shared environment Plattform“ (*eMUSE*), die das Kunstwerk unter Einbeziehung virtueller und realer Elemente zu einer Mixed Reality Bühne transformieren. Bis zu fünf Performancekünstler oder Teilnehmer aus dem Zuschauerraum, die mittels ihrer natürlichen Sinne virtuell und real interagieren, können auf dieser Bühne zu interaktiven Akteuren eines, auch dem Internet geöffneten, Systems werden. Ziel ist es, die Wahrnehmungsmöglichkeiten des eigenen Körpers zu erfahren und ihn als Avatar der Kommunikationsmittel zu begreifen.

---

<sup>48</sup> vgl. die ausführliche Darstellung des Projektes in bspw. Grau (2002).

<sup>49</sup> vgl. die Texte von Fleischmann/Strauss (2000) und Fleischmann/Strauss/Novak (2000).



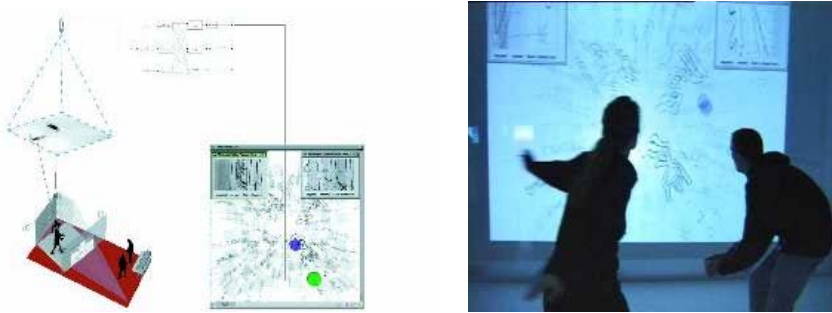


Abb.: 22/23

Murmuring Fields ist eine „Klanglandschaft“, die sich wie folgt zusammensetzt: Eine reale Bühne, unterteilt in vier virtuelle Sprachräume mit virtuellen Klangelementen, bildet den Rahmen für die Akteure, die durch ihre Körperbewegungen die entstehenden Klänge der Inszenierung in Echtzeit beeinflussen können. Eine Kamera an der Bühnendecke erfasst als entferntes Interface über ein optisches Tracking die Bewegungen der Akteure und übermittelt diese Daten, als Interaktionsgeometrie mit dem virtuellen Raum, an einen Computer, der daraus visuelle und auditive Repräsentationen der Akteure generiert. Die Körper der Akteure, sowie deren Interaktion und Kommunikation mit den anderen Akteuren, werden somit zu Instrumenten, die abhängig von ihrer jeweiligen Bewegung und Gestik auf der Bühne, den polyphonen Klangraum erstellen. Auf ständig präsenten Projektionsflächen (es können eine CAVE oder einfache Leinwände eingesetzt werden) werden die Bewegungsspuren (*Trace-Avatare*) der Akteure als farbige Positionsquadrate auf einer abstrakten Übersichtskarte bzw. „Landkarte von Gesichtslandschaften“ (der Gesichter der Medienwissenschaftler) perspektivisch nachgezeichnet und die virtuellen (Klang-)Objekte (*Lauschobjekte*) angezeigt, an denen sich wiederum der Akteur, wie auch an den entstehenden Klängen bzw. Wortcollagen, räumlich orientieren kann. Die Annäherung an eines der virtuellen Objekte bzw. die Positionierung in einem der virtuellen Räume erzeugt Klänge im realen Raum, die bestimmte Assoziationen (Geschwindigkeit, Mechanismus, Leidenschaft, Erregung) hervorrufen, die mit den Theorien der jeweiligen Medienwissenschaftlern verbunden sind. Durch die Bewegung und gleichzeitigen Selbstbeobachtung der Akteure im Raum entsteht schließlich ein „dynamischer Kreislauf von Wahrnehmen und Handeln“, der mit fortschreitender Erfahrung der Akteure ein Gefühl von Präsenz in einem von „Daten möblierten Raum“ (vgl. Fleischmann/Strauss, 2000) herstellt.

Im Bereich des Interface Design suchen Fleischmann und Strauss verstärkt Möglichkeiten den Körper des Benutzers in den Mittelpunkt zu stellen.

Interaktion mit der Maschine Computer soll weniger mit physikalischen Hilfsmitteln und technikbestimmt sein, sondern vielmehr die intuitiven Fähigkeiten des menschlichen Körpers ausnutzen, so dass das dann berührungslose „natürliche“ Interface nicht mehr wahrnehmbar bzw. spürbar wird und Irritationen vermieden werden können. In der Entwicklungslinie älterer Installationen, wie *Responsive Workbench* (1994) und *Virtual Balance* (1995), den technischen Dispositiven der klassischen Virtual Reality, des Electro Magnetic Field Tracking und den Prinzipien Elektrostatischer Felder, stehen heute die im Folgenden beschriebene Pointscreen-Technologie und Energie-Passagen. Die PointScreen-Technologie basiert auf dem *Electro Static Field Sensing*, und nutzt die messbare Störwirkung des körpereigenen elektrischen Feldes auf ein durch Antennen erzeugtes, künstliches elektrisches Feld aus. Die Technik wurde in analoger Form bereits bei einem der ersten elektronischen Musikinstrumente, dem *Theremin*, angewandt. Mit der Verfeinerung der Technik und der Nutzung eines digitalen Schaltkreises (*ECCO Sensor Technologie*) im MARS Lab, wird die Navigation auf grafischen Oberflächen sowie in dreidimensionalen, digitalen Umgebungen mittels intuitiven, berührungslosen Handgesten möglich.



Abb.: 24

Im aktuellsten und zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit noch in der Entwicklung stehenden Projekt Energie-Passagen<sup>50</sup> wird ein interaktiver, dynamischer „Sprach- bzw. Wissensraum“<sup>51</sup> auf Grundlage von Texten einer Zeitung geschaffen. In Anlehnung an die sich durch drahtlose Kommunikation entwickelnden, neuen öffentlichen und privaten Räume, wird von den Künstlern ein Aktionsraum in einem urbanen Umfeld geschaffen, in welchem es dem

<sup>50</sup> Die folgende Beschreibung stellt den Zustand des Projektes knapp zwei Monate vor der Inszenierung dar. Die tatsächliche Umsetzung kann davon abweichen. Als Wissensgrundlage diente der noch unveröffentlichte Text: Fleischmann/Strauss (2004).

<sup>51</sup> Unter Wissensraum wird ein computergestützter, begehbare architektonischer Raum verstanden, in welchem Wissen repräsentiert ist, das durch Interaktion abgerufen werden kann.

Besucher ermöglicht wird, den sie umgebenden Informationsfluss zu beobachten, zu erfahren und selbst zu beeinflussen. Der Informationsfluss, eine großflächige horizontale Projektion, besteht aus Begriffen bzw. Schlagworten, die täglich aus Beiträgen einer ortsbezogenen Tageszeitung von einer linguistischen Textanalyse-Software extrahiert und je nach Bedeutung semantisch in sichtbaren Clustern verknüpft werden und durch ihre Fließgeschwindigkeit und Größe ihre Häufigkeit visuell symbolisieren. Die Besucher, deren Position von Beobachtungskameras erfasst wird, können innerhalb des Informationsflusses navigieren, indem sie gesprochene und geschriebene Worte über ein Spracherkennungssystem, über verschiedene installierte Kommunikationsterminals oder über Internet eingeben, die dann zeitgleich im Informationsfluss visualisiert und hörbar gemacht werden. Die geleistete Kommunikation wird dabei vom Computer transformiert und als öffentliches Bild im Informationsfluss sowie als Klanginstallation im virtuellen Sprachraum präsentiert. Ziel ist es, das „Gedächtnis der Stadt“, das Netz der ‚urbanen Energieströme‘, die sich in der Sprache der interagierenden Akteure und der Zeitung atmosphärisch manifestieren, abzubilden, zu simulieren und somit „messbar“ zu machen sowie neue Formen der multimodalen Interaktion und non-linearen Mediengestaltung aufzuzeigen. Auch wenn dieses Projekt nicht dem Verständnis der oben beschriebenen klassischen Virtuellen Realität genügt, wird deutlich, in welcher vielfältiger Weise sich virtuelle Räume und damit verbundene Interaktion darstellen können.

Am Beispiel Virtueller Realität und Kunst zeigt sich eindeutig in welchem Verhältnis Realität und Virtualität zueinander stehen. In den Projekten geht es nie darum, wirkliche Umgebungen detailgetreu abzubilden. Vielmehr werden mentale, künstlerische Konzepte mit Hilfe von innovativen Interaktions- und Visualisierungstechniken erlebbar gemacht.

Es entsteht eine auf das Kunstwerk bezogene alternative Realitätsdimension, die keine Realitätsprüfung im herkömmlichen Sinne, d.h. im Sinne der Simulation, bestehen würde, aber dennoch – wie real – sinnlich erlebt werden kann. Es entstehen im künstlerischen Prozess eben „wahre“ virtuelle Welten, die sich im umgangssprachlichen Kontext der Frage nach Realität entziehen.

## **5.6. Bereich Unterhaltung und Bildung – Cybernarium, Darmstadt**

„Wer das Cybernarium verlässt, der nimmt Fragen und Antworten, Ideen und Inspirationen mit. Er sieht die Welt mit anderen Augen, schaut genauer und kommt wieder.“ (Zitat aus dem Informations-Flyer der Cybernarium GmbH, 2004)

Die Cybernarium GmbH<sup>52</sup> in Darmstadt wirbt mit dem Slogan „Virtuelle Welten – Real Erleben. Mitmachen und Entdecken“ für ihre seit Juni 2004 geöffnete Dauerausstellung zum Thema Virtueller Realität. Im Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD), das für die Forschung zur virtuellen und erweiterten Realität bekannt ist, entstand 2002 die Idee eines „öffentlichen Labors“, einer permanenten Ausstellung, in welcher neueste Forschungsergebnisse und in Unternehmen verwendete Praxisanwendungen Virtueller Realität öffentlichkeitswirksam für ein breites Publikum erfahrbar gemacht werden. Das Cybernarium soll der Idee nach als Netzwerk und „zentrale Plattform“ dienen, von welcher aus Zielgruppen verschiedenster Einrichtungen fachübergreifend angesprochen werden sollen, und weniger als museale Institution gelten. „Edutainment“, das Zusammenspiel von Bildung bzw. Wissensvermittlung und Unterhaltung, steht dabei im Mittelpunkt des Ausstellungskonzepts. Die ausgestellten Exponate haben zur Bedingung, dass sie virtuell, interaktiv und erkenntnis- bzw. wissensorientiert sind. In den vier Sektionen „Lernraum“, „Arbeitsplatz“, „Spielstation“ und „Kunstwelt“ werden zum einen verschiedene VR-Systeme und deren Möglichkeiten dargestellt sowie zum anderen, auf inhaltlicher Ebene, Themen vorgestellt, die besonders „spannend, anschaulich und erlebnisreich“ über die neue Medientechnologie dargestellt und dem Publikum zur eigenen Benutzung und Erprobung zugänglich gemacht werden können. Im Folgenden werde ich mich, den Bereich Unterhaltung und Bildung hervorhebend, auf Exponate der Sektionen „Lernraum“ und „Spielstation“ beschränken.

Im „Lernraum“ werden Techniken der Virtuellen Realität ausgestellt, welche die Möglichkeit eröffnen in Lerninhalte einzutauchen und interaktiv einzugreifen. Virtuelle Realität eröffnet mit der „immersiven Wissensvermittlung“ eine Alternative zur herkömmlichen Aneignung von Lernstoffen. „Virtuelle Bildungsreisen werden möglich, in den Mikro- oder Makrokosmos, in die Geschichte oder eine mögliche Zukunft“, heißt es im Ausstellungskatalog des Cybernarium. So befindet sich in der Ausstellung das bekannte virtuelle Modell des „Dom von Siena“, der mittels einer Shutter-Brille dreidimensional betrachtet

---

<sup>52</sup> [www.cybernarium.de](http://www.cybernarium.de)

werden kann, und in dem man sich mit Hilfe eines berührungsempfindlichen Bildschirms und der Unterstützung eines begleitenden, informierenden Avatars bewegen kann. Auf dem virtuellen Rundgang erhält man Informationen über Kunst, Geschichte und Architektur des Bauwerks.

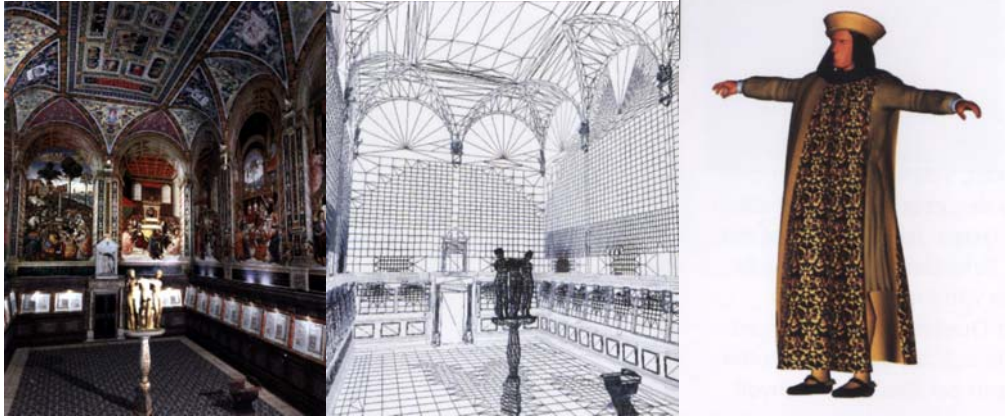


Abb.: 25/26/27

Das virtuelle 3D-Modell, das auch grafische Details wie Gemälde, Mosaik und Mauerwerk beinhaltet, stützt sich auf Geometriedaten aus Vermessungsarbeiten des Kunsthistorischen Instituts in Florenz sowie – mit dem Ziel einer möglichst realistischen Darstellung – auf Daten einer Beleuchtungssimulation, die das einfallende Tageslicht und auch ca. 150 Lichtquellen im Inneren des Doms berücksichtigt.

Eine weitere Installation, die in gleicher Weise betrachtet werden kann, stellt das „Interaktive Planetarium“ dar. Grundlage für eines der dargestellten Szenarien, des virtuellen Weltraums, sind Daten des Astrometrie-Satelliten „Hipparcos“, der seit seinem Start 1989 präzise Informationen über Position, Helligkeit und Farbe von über einer Million Sterne sowie die exakte Entfernung der 120.000 hellsten Sterne zur Erde übermittelte. In einem zweiten Szenario wird das Sonnensystem visualisiert und physikalisch exakt simuliert. Oberflächenstrukturen der Monde und Planeten stammen aus Fotos der Voyager-Raumsonde und des Hubble-Teleskops. Ein weiteres Szenario befasst sich mit den 8000 kartografierten Trümmerstücken und Satelliten, welche die Erde umkreisen und mit Hilfe eines auf physikalischer Simulation beruhenden Partikelsystems animiert wurden. Mittels eines Steuermenus können die Szenarien „durchflogen“ werden und auf dem Flug damit Ansichten zulassen, die neue Erkenntnisse vermitteln können. Das Erscheinungsbild der Sternzeichen in der dreidimensionalen Ansicht gestaltet sich beispielsweise völlig neu.

In der „Spielstation“ werden Techniken der Virtuellen bzw. Erweiterten Realität mit Spielen verbunden. Der Entwicklungsschub auf dem PC-Markt hat insbesondere die grafische Qualität weit vorangetrieben, daher können heute viele moderne VR-Systeme auf Standard-PC's betrieben werden. Im Cybernarium finden sich mehrere Anwendungen, die auf unterschiedlichen Techniken beruhen. „Match Two“, ein virtuelles Kartenspiel, funktioniert mit Hilfe einer Software, die ähnlich wie Augmented-Reality Anwendungen in der Fahrzeugindustrie, binäre Codes erkennen kann, die auf den Spielkarten abgedruckt sind. Je nach Kombination der Karten erscheinen virtuelle Objekte oder Animationen, die der realen Karte perspektivisch überlagert sind, und auf einer Video-Leinwand betrachtet werden können.



Abb.: 28/29

Im „Light Cycle Race“ kann ein Szenario aus dem Film „Tron“ nachgespielt werden. Ein Trackingsystem in Verbindung mit einem HMD ermöglicht die Fahrt auf einem futuristischen Motorrad, auf welchem der Spieler in einer rechteckigen virtuellen Arena seine Gegner bekämpfen muss.

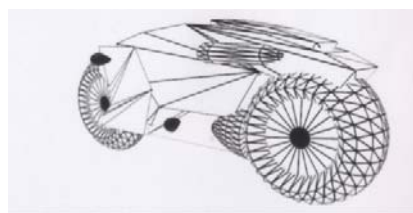


Abb.: 30/31

In den Beispielen des Lernraums zeigt sich die Vermengung von echter Simulation und virtueller Elemente. Die originalgetreuen, teilweise simulierten Umgebungen werden mit Elementen (z.B. Avataren) angereichert, die in Realität in dieser Form nicht vorkommen würden, aber für den Wissensgewinn – im Sinne des Anwendungszieles – innerhalb der Simulation von Nutzen sind. Die Spielstation zeigt dagegen, dass den Virtuellen Welten keine Grenzen gesetzt sind, solange sie sich nicht an der gewohnten Realität orientieren und diese probieren perfekt nachzubilden.

## 5.7. Zusammenfassung – Der Einsatz von Simulationen

Bei der übergreifenden Betrachtung aller Projekte wird deutlich, dass Simulation in mehrfacher Weise mit Virtueller Realität verbunden werden kann. Dies liegt natürlich hauptsächlich an den unterschiedlichen Zielen, die in den jeweiligen Projekt erreicht werden sollen. Andererseits schafft die Technik der Virtuellen Realität aber auch selbst neue Varianten von Simulation. Der Realitätsbezug der jeweiligen Simulation variiert gleichzeitig mit der Form der Simulation. Dabei kann man im wesentlichen zwischen drei Formen der Simulation im Bereich der Virtuellen Realität unterscheiden<sup>53</sup>: a) die objektzentrierte, erkenntnisorientierte Simulation, b) die subjektzentrierte, wissensvermittelnde bzw. trainingsorientierte Simulation und c) die illusionäre, erlebnisorientierte Simulation.

a) die erkenntnisorientierte Simulation:

Diese Form der Simulation entspricht weitgehend der Beschreibung der dynamischen Simulation im ersten Kapitel. Das Ziel der Anwendungen, hier stellvertretend die Strömungsvisualisierung und Akustische Virtuelle Realität im Bereich Forschung, besteht darin, Erkenntnisse über das visualisierte Objekt und dessen dynamische Prozesse zu gewinnen. Es handelt sich dabei um die Visualisierung von Teilaspekten der Wirklichkeit, d.h. nur die für die Messungen und Experimente relevanten Eigenschaften werden abgebildet. Bei den Projekten geht es eindeutig nicht darum, eine erlebbare Realität abzubilden, sondern um die Herstellung von vereinfachten Nachbildungen. Die Komplexitätsreduktion soll dazu dienen, einzelne Parameter besser als in der Realität beobachten zu können. Eine Verwechslung der Simulation mit der Realität ist daher ausgeschlossen. Die alte Idee der Simulation, modellhafter Stellvertreter für Prozesse der Realität zu sein, bleibt in diesem Fall erhalten. Mit dem Einsatz von Techniken der Virtuellen Realität wird vor allem eine neue Qualität der Visualisierung und Interaktion erreicht.

b) die wissensvermittelnde, trainingsorientierte Simulation

---

<sup>53</sup> Bei diesen drei Formen der Simulation mag es natürlich Überschneidungen und Unschärfen geben. Das PathMan-System kann beispielsweise, wenn es ein reales Abbild einer Stadt darstellt, auch in den Bereich der wissensvermittelnden Simulationen eingeordnet werden. In seiner dargestellten Form gehört es aber definitionsgerecht in den Bereich c).

Stellvertretend für diese Form der Simulation stehen in dieser Arbeit das virtuelle Bergwerk und die virtuellen Maschinen, die Darstellungen des Dom von Siena und des interaktiven Planetariums, das PathMan-System in Teilen sowie die Fahrzeug- und Gefechtsfeldsimulatoren. Der Zweck dieser Simulationen ist die Vermittlung von Erfahrungen und Wissen sowie das Training von Fähigkeiten. Es werden insbesondere für den Anwender zu gefährliche, entfernte, nicht erreichbare, da nicht mehr existente, oder schlicht in der Verwendung zu kostspielige Orte oder Gefährte simuliert. Das Wissen bzw. die Fähigkeiten, die der Anwender erlangt, sollen unmittelbar, vom Nutzer selbst und gegebenenfalls von einem externen Beobachter, auf die reale Welt übertragen werden können. Daher sollen diese Simulationen die Realität, insbesondere im Modus der Sichtbarkeit, so perfekt wie möglich nachstellen. Die Virtuelle Realität eröffnet dabei mit den Eigenschaften der Immersion und Interaktivität besondere Möglichkeiten. Die direkten Eingriffsmöglichkeiten, das sinnliche Erleben der Umgebung und das für den Nutzer bestehende Gefühl der visuellen Präsenz am repräsentierten Ort, erhöht die Möglichkeit die virtuelle Erfahrung auf die reale Welt zu übertragen. Dafür werden authentizitätssteigernde Details, wie die Zusammensetzung und bestimmte Eigenschaften oder die sichtbaren Oberflächen von visualisierten Elementen, die Steuerelemente von Bewegungssimulatoren oder andere sinnlich erfahrbare Umgebungsmerkmale 1:1 aus der realen Welt in die Simulation übertragen.

### c) die illusionäre, erlebnisorientierte Simulation

Diese Form der Simulation, vgl. die vorgestellten Projekte aus dem Bereich der Kunst, die Spielanwendungen und auch das PathMan- bzw. ReactorMan-System, ist auf die Entwicklung und die frühen Ziele der VR-Technik zurückzuführen. Die illusionäre, erlebnisorientierte Simulation soll vollständig neue Umgebungen und Welten erschaffen, die für den Nutzer kognitiv erlebbar sind, aber in der Realität nicht existieren. Entscheidend ist hier nicht, wie in den vorherigen Simulationsformen, die Rekonstruktionsleistung der Programmierer, sondern deren Phantasie und Fähigkeit mit Hilfe der VR-Technik, die Illusion einer Umgebung zu erschaffen, die nicht im Inhalt aber in der sensorischen Erfahrbarkeit



ununterscheidbar von der Wirklichkeit ist. Im Vordergrund steht hier die Stimulation statt der Simulation. Dabei ist es unwichtig ob der künstlerische (Murmuring Fields), therapeutische (PathMan) oder der spielerische (LightCycle Race) Umgang das Ziel ist. Oft wird in solchen Simulationen auf Aspekte der realen bzw. bekannten Welten zurückgegriffen; die konstruierte Virtuelle Realität kann aber Brüche und Lücken haben, die in der Realität nicht möglich sind, hier aber deren hypothetischen Charakter unterstreichen. Der Trick der Illusion ist die Simulation des natürlichen Interface bzw. der sensorischen Schnittstelle des Menschen mit der Welt. Diese Form der Interaktions-Simulation findet sich nicht ausschließlich in Anwendungen der klassischen Virtuellen Realität, sondern kann sich, in unterschiedlicher Ausprägung, auch im Umgang mit anderen Medienformen einstellen (Energie-Passagen, Point-Screen).

## 6. Schlussbetrachtung

Die Arbeit hat gezeigt, dass sich hinter den Begriffen Simulation und Virtualität sowie der Virtuellen Realität, im Verständnis einer Simulation, ein komplexes Anwendungs- und Wissensfeld eröffnet, welches einer eindeutigen Beschreibung bedarf. Der finale Wunsch der Forschung, ein ebenbürtiges Substitut der Realität herzustellen, wird in der dargestellten Geschichte der Virtuellen Realität deutlich. Dabei ist die Aussicht auf eine ideale, menschengemachte Welt, mit der man die physikalische Welt hinter sich lassen kann, durch die Techniken der Digitalcomputer und der Virtuellen Realität, durch die rapide Entwicklung der Rechenkapazität, der perfektionierten interaktiven Eingabegeräte und immersiven Displays immer näher gerückt. Eine perfekte, vollständige Simulation der Welt wird allerdings wohl auch in Zukunft nicht möglich sein, da jedes quantitative Modell der Wirklichkeit zwangsläufig zu einer Reduktion der Komplexität durch Formalisierung führt. Gleich der Forschungsergebnisse zur Künstlichen Intelligenz, die Anlass zur Distanzierung von der jahrzehntelang prophezeiten Entschlüsselung des menschlichen Bewusstseins und der Erfindung denkender Maschine geben, lassen die tatsächlichen Erscheinungs- und Anwendungsformen der Virtuellen Realität die Apologeten des Cyberspace verstummen. Vielmehr werden dagegen heute, in verschiedensten Institutionen, die vorhandenen, wahren Möglichkeiten der Virtuellen Realität bis an ihre Grenzen ausgeschöpft, unter anderem als Instrument der Simulation.

Was bedeutet nun aber Simulation? Simulation ist, wie diese Arbeit gezeigt hat, weder gleichzusetzen mit den Begriffen Modell und Virtualität, noch kann man Simulation als bloße Illusionstechnik definieren oder jede Art von Visualisierung als Simulation beschreiben. Die anfangs gesetzte Unterscheidung von dynamischen und interaktiven Simulationen erklärt noch nicht hinreichend die jeweiligen Unterschiede in der Anwendung. Es ist dementsprechend an dieser Stelle abschließend notwendig, die wesentlichen Ziele und spezifischen Eigenschaften der eingeführten Techniken der Simulation und der Virtuellen Realität zusammenfassend darzulegen sowie ihre konvergierenden Bereiche kenntlich zu machen. Dabei werden die theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit wie auch die Projektbeispiele dienlich sein.

Das Ziel der Simulation ist es, im wissenschaftlichen Kontext als Instrument und Mittel der Erkenntnisgewinnung, über den Weg der Annäherung an das Raster des Realen, ‚wirkliche‘ Entdeckungen zu machen. Diese können, über Messungen und Beobachtungen im Realen, verifiziert werden und als allgemein gültig erklärt werden. Dazu werden, wie beschrieben, keine mimetisch, passiven Abbildungen, keine Verdopplungen der Realität erzeugt oder Repräsentationen wie in Film oder Fotografie hergestellt, sondern logisch-mathematische Interpretationen des Realen. Das Reale wird gemäß den intellektuellen Anforderungen eines subjektiven Konstrukteurs in Teilen substituiert, indem versucht wird, über die Selektion, Isolierung und Formalisierung geeigneter Parameter und deren neuerliche Modellierung eine Annäherung an ein Modell des Realen zu erreichen. Reales wird demnach mit dem Ziel der Überschaubarkeit erst dekonstruiert, um zu einem nachfolgenden Zeitpunkt wieder Reales zu erschaffen. Eine Simulation ist, im Gegensatz zu einem exakten Abbild bzw. der Kopie eines Originals, immer manipuliert, vereinfacht und zweckbestimmt. Die Simulation positioniert sich damit zwischen Theorie und Experiment, und erlaubt sich dabei „[...] dem Reellen zu nähern, wie gleichfalls, sich von ihm zu entfernen [...]“ (Couchot, 1993, 345). Die Vorteile gegenüber dem Experiment liegen vor allem in der exakten Wiederholbarkeit, dem Umgehen von Gefährdung für Mensch und Umwelt, den kalkulierbaren Kosten sowie der Reduktionsmöglichkeit auf relevante Parameter. Gegenüber der Theorie befindet sich die Simulation mit ihren eigendynamisch ablaufenden Prozessen wiederum weitaus näher an der Realität, da sie messbare Ergebnisse erzeugt. Auch wenn die Wirklichkeitsnähe der Simulation aus konstruktivistischer Perspektive stets in Frage gestellt werden muss, da Wirklichkeit selbst, wie dargestellt, kein Objektivgebilde ist, sondern ein abgeleiteter Begriff, ein Produkt von Wahrnehmungs- und Denkprozessen, so ist doch das Ziel der Simulation immer das Reale und ihre *sinnvolle* und *viabile* Nutzbarkeit. Die Errichtung einer irrealen Scheinwelt kann nicht das Ziel von Simulationen sein, da sie entweder darauf ausgerichtet sind, Erkenntnisse über reale Objekte zu erlangen oder Subjekte für den Einsatz in der realen Welt zu optimieren (vgl. Schröter, 2004). *Wirk-lich* im Zusammenhang mit Simulation muss immer zugleich auch *wirk-sam* bedeuten.

Das Hauptziel der Virtuellen Realität ist es vordergründig, dem Benutzer eine computergenerierte Welt bereitzustellen, die in Bezug auf ihre optische

Erscheinung, Verhalten und ihren gegebenen Interaktionsmöglichkeiten der realen Welt entspricht. Dies ist allerdings, bei genauerer Betrachtung und den Ergebnissen dieser Arbeit, nur eine Möglichkeit des Einsatzes von Virtueller Realität. Eine Entsprechung der realen Welt ist vielmals, wie gezeigt, nicht möglich und nicht erwünscht. Auch im visuellen Bereich, und dies widerspricht weitgehend der oft euphorischen Literatur, ist es nicht das Ziel aller Anwendungen, die Realität möglichst fotorealistisch abzubilden. Dies ist den analogen Medien bisher besser gelungen und wird auch in Zukunft deren Stärke bleiben. Bei abstrakten Darstellungen erübrigt sich bisweilen die Frage nach Fotorealismus von Grund auf. Oft wird sogar die aktive Imaginationsleistung des Anwenders, die viele technisch bedingte Unzulänglichkeiten ausgleicht, von Beginn an in den Entwicklungsprozess einbezogen. In den Anwendungen der Virtuellen Realität werden mitunter nur relevante Teilaspekte der sinnlich erfahrbaren Realität aufgegriffen und in die Virtualität übertragen oder, wie im künstlerischen Bereich, Umgebungen erschaffen, die mit der eigentlichen Vorstellung von Realität kaum noch etwas gemein haben; alles andere wäre auch zu einfach.

Einen weitaus entscheidenderen Vorteil erbringt die Virtuelle Realität, indem verschiedene Wahrnehmungsaspekte der realen Welt in einem ausgewogenen, für die jeweilige Anwendung entscheidenden Verhältnis in die künstliche Welt übertragen werden können. Die Virtuelle Realität eignet sich daher insbesondere dazu, Dinge in einer Form zu visualisieren, die der menschlichen Wahrnehmung mehr entspricht, als die herkömmliche zweidimensionale Bildschirmdarstellung. Die „apparatefreie Wahrnehmung“<sup>54</sup>, die perspektivische Wahrnehmung eines Bildes ohne Rahmen, in welches man geradezu hineintaucht, dafür aber Eingriffsmöglichkeiten bereithält, ermöglicht mitunter ein intuitiveres Betrachten und Verständnis von dargestellten Vorgängen. Dreidimensionale Darstellung, Bewegungssimulation, Echtzeitinteraktion und das Gefühl von

---

<sup>54</sup> Die apparatefreie Wahrnehmung ist kein neues Phänomen. Vgl. hierzu parallel die Anmerkungen Jonathan Crary's zu der Erfindung des Stereoskops und der apparatfreien Wahrnehmung, die das „Phantasmagorische“ der Erfindung des 19. Jahrhunderts ausmacht (Crary, 1996, 136f.).

Präsenz bieten im Rahmen der Visualisierung durch die Virtuelle Realität neue Möglichkeiten der Modell- bzw. Simulationsanalyse und -interpretation. Die Entscheidung für eine Visualisierung in der Virtuellen Realität muss sich allerdings immer an inhaltlichen Aspekten und deren Überführungsmöglichkeiten in eine anschauliche grafische Form orientieren. Nicht jede Visualisierung, die vielleicht besser den menschlichen Wahrnehmungsbedingungen gerecht wird, führt zu einem besseren Verständnis abstrakter Daten.

Virtuelle Realität kann dementsprechend an erster Stelle als Umkehrfunktion der Simulation beschrieben werden. Während die Simulationsmodelle „nur sichtbar machen, was zunächst intelligibel ist“ (vgl. Couchot, 1993), wird mit Hilfe der Virtuellen Realität versucht, auch das Gedankliche sinnlich wahrnehmbar zu machen. Die Simulation möchte primär ‚erklären‘, während die Virtuelle Realität ‚ersetzen‘ möchte. Die jeweilige Ausgangsinformation beruht dabei auf grundsätzlich unterschiedlichen Daten.

Zweitens kann Simulation als Unter- bzw. Teilbereich der Virtuellen Realität definiert werden. Beide Techniken stellen als Ergebnis Künstliches her. Die Simulation versucht aber immer Realität zu imitieren bzw. ein reales System abzubilden, während Virtuelle Realität dies nicht unbedingt muss, es aber prinzipiell kann. Der Virtuellen Realität stehen damit mehr Freiheiten zur Verfügung als der Simulation. Die Simulation selbst wäre wertlos, spielte sie ihre Freiheiten, die sie fraglos besitzt, ebenso aus. Andererseits sollte die Fiktion/Illusion des Virtuellen niemals versuchen zur Simulation zu werden, denn alle Kunst und Phantasie wäre hinfällig.

Es gibt Drittens einen großen Bereich, in welchem sich Simulation und Virtuelle Realität auf gleicher Ebene befinden. Die Simulation und das Virtuelle verdichten sich im Bereich des Möglichen; sie sind weder wirklich noch imaginär, noch finden sie sich im realen Raum oder in der realen Zeit wieder. Beide Techniken verwischen Grenzen, da sie immer realer und überzeugender gestaltet werden können, sei es in der Genauigkeit der Simulationsergebnisse oder auf der sinnlichen Ebene der Virtuellen Realität. Inwieweit sich aber von Virtueller Realität als Simulation und von Simulation als Virtuelle Realität sprechen lässt, haben erst die Projektbeispiele gezeigt:

So können ‚echte‘, numerische Simulationen über die Technik der Virtuellen Realität visualisiert werden. Die Virtuelle Realität bietet der Simulation damit

eine neue visuelle Auswertungsebene, die im Idealfall zu neuen Erkenntnissen führen kann (Strömungsvisualisierung). Mit dem Parameter Mensch werden die Computerprogramme andererseits erst zu echten, da dann zu eigendynamischen Prozessen fähigen, Simulationen. Die Interaktivität öffnet das starr ablaufende, ‚inhaltsleere‘ Programm und ermöglicht unzählige Variationen und damit die Herstellung von emergenten Inhalt durch den Benutzer (Trainingssimulatoren). Die VR-Technik selbst kann, möchte man sie als Simulation beschreiben, als eine Art ‚Wahrnehmungsfeldsimulator‘ bezeichnet werden, da mit ihrer Hilfe synthetische Räume eröffnet werden, die der sinnlichen Erfahrung zugänglich sind, wie real existierende Räume. Sie simuliert Unmittelbarkeit, indem ausgenutzt wird, dass der menschliche Wahrnehmungsvorgang im wesentlichen selbst ein synthetisierender Prozess von nicht determinierten Reizen der Außenwelt ist. In diesen Wahrnehmungsfeldern können, ähnlich den ‚*wirklichen Entdeckungen*‘ der numerischen Simulation, ‚*wirkliche Erfahrungen*‘ gemacht werden (Spiel- und Kunstumgebungen). Dies hebt die Virtuelle Realität gegenüber anderen Medien hervor, die zwar Realität abbilden können, aber keine eigene Realität herstellen können. Ähnlich wie die Simulation eine mögliche Wirklichkeit prognostiziert, können in der Virtuellen Realität mögliche Welten konstruiert werden. Der Benutzer von Virtueller Realität kann von seinen virtuellen Erfahrungen in ähnlicher Form sprechen, wie ein anderer von Erfahrungen in der realen Welt, da die Techniken der Virtuellen Realität ein naturidentisches Wahrnehmungsfeld generieren können. Identisch meint in diesem Fall nicht unbedingt die sichtbare Repräsentation, sondern vielmehr das gesamte Wahrnehmungsfeld, welches das Eintauchen bzw. das Präsenzerleben ermöglicht. Wenn diese Virtuelle Realität schließlich auch von anderen Personen der Gemeinschaft gleichsam erlebt wird, kann in der Konsequenz aus der virtuellen Wirklichkeit sogar eine partiell lebensfähige Wirklichkeit werden. Kritik an der Simulation und der Virtualität ist dann auch eben an dieser Stelle zu finden. Wie sähe eine Welt aus, in der nur Simulationen statt der realen Welt wahrgenommen werden? Was wenn die medial konstruierte Wirklichkeit überhand gewinnen würde (oder ist dies nicht sowieso schon der Fall)? Die Antwort erscheint einfach: Virtuelle Welten sind aufgrund ihrer Grenzenlosigkeit von vorneherein nicht überlebensfähig bzw. übereinstimmungsfähig. Sie passen in kein System und geben insofern auch dem Menschen keine Möglichkeit der Anpassung, die für das Überleben so

entscheidend ist. Der Nutzer der Virtuellen Welt würde taumelnd, schwindelnd dem konturlosen Raum erliegen. Simulationen werden auf der anderen Seite die Realität schon allein der Technik wegen niemals vollständig ersetzen können. Die vereinfachten Visualisierungen werden spätestens dann, wenn man (auch zufällig) gegen das Programm agiert, als Simulation erkannt werden. Kein Pilot im Flugsimulator wird jemals fallschirmspringend sein Flugzeug verlassen, kein Bergmann wird im virtuellen Streb am Kohlenstaub ersticken und kein Ingenieur wird in der CAVE von herabfallenden Maschinenteilen getroffen (eher vielleicht von den Positionstrackern).

Es bleibt offen, in welcher Weise Simulationen und Virtuelle Realität in Zukunft genutzt werden, in welchen Bereichen sie eingesetzt werden können und welche Wechselwirkungen von fiktionalen und wahren Anwendungen zu erwarten sind. Die utopischen Vorstellungen und Prophezeiungen der 90er Jahre sind weitgehend verblasst. Welche Visionen bleiben aber schließlich übrig und garantieren die weitere, notwendige, kritische Auseinandersetzung mit dem Thema der Virtuellen Realität?

Als Beispiel könnte die Einlösung der lange geforderten Verbindung von den Wahrnehmungs- und Erkenntnisfähigkeiten des Menschen mit der Wiedergabe und Rechenfähigkeit des Computers, der wirklichen Computer-Mensch Symbiose, dienen. In vielen Forschungsabteilungen spielt eben dieses Thema eine wichtige, da zukunftsweisende Rolle. Zum einen hieße dies die direkte sensorische Stimulation des menschlichen Gehirns, zum anderen, in Richtung der Künstlichen Intelligenz weisend, die Simulation der kognitiven Leistungen des Menschen durch den Computer.

In Kürze wird dies allerdings schwer umsetzbar sein. In der Zwischenzeit bleibt, sich damit auseinander zu setzen, wie das Internet mit Hilfe von VRML in Zukunft weitere Anwendungen für Virtuelle Realität hervorbringen wird und wie diese als Simulationen genutzt werden. Im Sinne dieser Arbeit wäre es, bei allen aufkommenden Fragen die Technik zu priorisieren, bevor anschließend die Philosophie die wirklichen Fragen stellt.

## 7. Literatur-, Abbildungs- und Quellenverzeichnis

### Literatur

- Applewhite, Hugh L.** (1991). Position Tracking in Virtual Reality. In: Helsel, Sandra Kay (Hrsg.). Beyond the Vision – The Technology, Research, and Business of Virtual Reality. Proceedings of Virtual Reality '91. Second Annual Conference on Virtual Reality, Artificial Reality, and Cyberspace. Westport, London: Meckler. S. 1-8
- Baudrillard, Jean.** (1978). Agonie des Realen. Berlin: Merve Verlag
- Beck, Klaus.** (1994). Medien und die soziale Konstruktion von Zeit: über die Vermittlung von gesellschaftlicher Zeitordnung und sozialem Zeitbewußtsein. Opladen: Westdeutscher Verlag
- Bense, Max.** (1999). Kybernetik oder die Metatechnik der Maschine. In: Pias, Claus; Engell, Lorenz; Vogl, Joseph; Fahle, Oliver; Neitzel, Britta. (Hrsg.) Kursbuch Medienkultur: die massgeblichen Theorien von Brecht bis Baudrillard. Stuttgart: DVA. S. 472-484
- Bishop, G; Fuchs, H.** (1992). Research Directions in Virtual Environments. Report of an NSF Invitational Workshop. University of North Carolina at Chapel Hill. www.cs.unc.edu/~gb/92-027.pdf. Letzter Zugriff 23.09.04
- Bolter, J.D.; Grusin, R.** (2001). Remediation: understanding new media. Cambridge/Mass. u.a.:MIT Press
- Bolz, Norbert.** (1991). Die Wirklichkeit des Scheins. In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.) Strategien des Scheins. Kunst Computer Medien. München: Boer Verlag. S. 110-121
- Bormann, Sven.** (1994). Virtuelle Realität: Genese und Evaluation. Bonn; Paris [u.a.]: Addison-Wesley
- Brickmann, Jürgen.** (1993). Über den Umgang mit virtuellen Szenarien, die weit von der Realität entfernt sind. In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.). Cyberspace. Zum medialen Gesamtkunstwerk. München: Klaus Boer Verlag. S. 333-339
- Brooks Jr., Frederick P.** (1999). What's Real About Virtual Reality. In: IEEE Computer Graphics and Applications. November/December 1999. S. 16-27
- Buddemeier, Heinz.** (1970). Panorama, Diorama, Photographie. Entstehung und Wirkung neuer Medien im 19. Jahrhundert. In: Imdahl, M./Iser, W./Jauss, H. R./Preisendanz, W./Striedter, Jurij. (Hrsg.). Theorie und Geschichte der Literatur und der schönen Künste. Band 7. München: Wilhelm Fink Verlag
- Buddmeier, Heinz.** (1993). Leben in künstlichen Welten: Cyberspace, Videoclips und das tägliche Fernsehen. Stuttgart: Urachhaus
- Buddemeier, Heinz.** (2001). Von der Keilschrift zum Cyberspace. Der Mensch und seine Medien. Stuttgart : Verlag Freies Geistesleben & Urachhaus
- Bühl, Achim.** (1996). CyberSociety. Mythos und Realität der Informationsgesellschaft. Köln: PapyRossa Verlag
- Bühl, Achim.** (1999). (Hrsg.). Computerstile: Vom individuellen Umgang mit dem PC im Alltag. Opladen/Wiesbaden: Westdeutscher Verlag
- Couchot, Edmond.** (1993). Zwischen Reellem und Virtuellem: die Kunst der Hybridation. In: In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.). Cyberspace. Zum medialen Gesamtkunstwerk. München: Klaus Boer Verlag. S. 340-349
- Crary, Jonathan.** (1996). Techniken des Betrachters: Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert. Dresden/Basel: Verlag der Kunst
- Cube, Felix von.** (1972). Was ist Kybernetik? München: DTV Wissenschaft
- Davide, F.; Ijsselsteijn, W.A.; Riva, G.** (Hrsg.). (2003). Being There: Concepts, effects and measurement of user presence in synthetic environments. Amsterdam: Ios Press
- Der Duden.** (1997). Der Duden: in 12 Bänden: das Standardwerk zur deutschen Sprache. Bd. 5. Duden, Fremdwörterbuch. Hrsg. Vom Wissenschaftlichen Rat der Dudenredaktion. Mannheim: Dudenverlag
- Dinkla, Söke.** (1997). Pioniere interaktiver Kunst von 1970 bis heute. Ostfildern: Cantz Verlag
- Eberhard, J.A.** (1807) Handbuch der Ästhetik für gebildete Leser aus allen Schichten. Halle: Hemmerde & Schetschke
- Engelbart, Douglas C.** (1999). A Conceptual Framework for the Augmentation of Man's Intellect. In: Mayer, Paul A.. (Hrsg.). Computer Media and Communication. Oxford: University Press. S. 72-96
- Esposito, Elena.** (1998). Fiktion und Virtualität. In: Krämer, Sybille. (Hrsg.). Medien. Computer. Realität. Wirklichkeitsvorstellungen und Neue Medien. Frankfurt am Main: Suhrkamp. S. 269-296



- Esposito, Elena.** (2001) Die Wahrnehmung der Virtualität. Perzeptionsaspekte der interaktiven Kommunikation. In: Stanitzek, Georg; Vosskamp, Wilhelm. (Hrsg.). Schnittstelle: Medien und Kulturwissenschaften. Köln: DuMont Buchverlag. S. 116-131
- Flusser, Vilém.** (1991). Digitaler Schein. In: Rötzer, Florian. (Hrsg.). Digitaler Schein. Ästhetik der elektronischen Medien. Frankfurt am Main: Suhrkamp. S. 147-159
- Flusser, Vilém.** (1992). Ins Universum der technischen Bilder. Göttingen: European Photography
- Fortmüller, Th.** (2003). Der Einfluß visueller und vestibularer Informationen auf die Qualität des Fahreindrucks in der Fahrsimulation. In: VDI-Berichte 1768. Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 313-329
- Foucault, Michel.** (1967). Andere Räume. In: Back, Karlheinz; Gente, Peter; Paris, Heidi; Richter, Stefan. (Hrsg.). (1991). Aisthesis. Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik. Leipzig. S. 34-46
- Franke, Herbert W.; Riedel, Oliver.** (1993). Aufbruch in den Cyberspace. In: Steinmüller, Karlheinz. (Hrsg.). Wirklichkeitsmaschinen: Cyberspace und die Folgen. Weinheim; Basel: Beltz. S. 11-24
- Geschwilm, J.; Jaschinski, A.; Vaculin, O.** (2003). Möglichkeiten der Fahrdynamik. Und Komfortbewegung zukünftiger virtueller Prototypen mittels Simulation. In: VDI-Berichte 1745. Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten -. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 361-383
- Gibson, William.** (1987). Neuromancer. München: Heyne Verlag
- Glaserfeld, Ernst von.** (1991). Fiktion und Realität aus der Perspektive des radikalen Konstruktivismus. In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.) Strategien des Scheins. Kunst Computer Medien. München: Boer Verlag. S. 161-175
- Glaserfeld, Ernst von.** (2003). Konstruktion von Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität. In: Gumin, Heinz; Meier, Heinrich. (Hrsg.). Einführung in den Konstruktivismus. 7. Auflage. München: Piper Verlag. S. 9-39
- Gramelsberger, Gabriele.** (2003). Simulation als Objektschrift. Vortrag am 6.5.2003 am Institut für Philosophie an der Universität Potsdam. <http://www.philart.de/articles/> Letzter Zugriff am 11.Juni.2004
- Grau, Oliver.** (2002). Virtuelle Kunst in Geschichte und Gegenwart. Visuelle Strategien. 2. Aufl.. Berlin: Reimer Verlag
- Großklaus, Götz.** (1997). Medien-Zeit, Medien-Raum: zum Wandel der raumzeitlichen Wahrnehmung in der Moderne. Frankfurt am Main: Suhrkamp
- Halbach, Wulf, R.** (1994). Reality Engines. In: Bolz, Norbert; Kittler, Friedrich, A. ; Tholen, Christoph. (Hrsg.). Computer als Medium. Literatur- und Medienanalysen Band 4. München: Wilhelm Fink Verlag. S. 231- 244
- Halbach, Wulf R.** (1997). Virtual Realities, Cyberspace und Öffentlichkeiten. In: Krapp, Holger; Wägenbauer, Thomas. (Hrsg.). Künstliche Paradiese, virtuelle Realitäten: künstliche Räume in Literatur-, Sozial- und Naturwissenschaften. München: Fink. S.151-182
- Heilbrun, Adam; Stacks, Barbara.** (1991). Was heißt 'virtuelle Realität'? Ein Interview mit Jaron Lanier. In: Waffender, Manfred. (Hrsg.). Cyberspace. Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag. S. 67-87
- Hick, Ulrike.** (1999). Geschichte der optischen Medien. München: Fink
- Hoffmann, S.; Krüger, H.-P.; Buld, S.** (2003). Vermeidung von Simulator Sickness anhand eines Trainings zur Gewöhnung an die Fahrsimulation. In: VDI-Berichte 1745. Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten -. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 385-404
- Husserl, Edmund.** (1991). Ding und Raum. In: Hahnengress, Karl-Heinz; Raptic Smail. (Hrsg.) Vorlesung von 1907. Hamburg: Meiner Felix Verlag
- Kalawsky, Roy.** (1994). The science of Virtual Reality and Virtual Environments. A technical, scientific and engineering Reference on Virtual Environments. Wokingham u.a.: Addison-Wesley Publishing Company
- Kiefer, Erich.** (1991). Künstliche Intelligenz und Virtuelle Realität. In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.) Strategien des Scheins. Kunst Computer Medien. München: Boer Verlag. S. 176-214
- Kittler, Friedrich.** (1990). Fiktion und Simulation. In: Barck, Karlheinz; Gente, Peter; Paris, Heidi; Richter, Stefan. (Hrsg.). AISTHESIS – Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik. Leipzig: Reclam Verlag. S. 196-213
- Krämer, Sybille.** (1995). Philosophie und Neue Medien. In: Lenk, H. (Hrsg.). Neue Realitäten – Herausforderung der Philosophie. (16. Kongress der Philosophie 1993. Berlin: S. 185-189

- Lang, Ulrich.** (1997). Einsatz von VR-Methoden zur Visualisierung wissenschaftlicher und technischer Daten. In: Krapp, Holger; Wägenbauer, Thomas. (Hrsg.). Künstliche Paradiese, virtuelle Realitäten: künstliche Räume in Literatur-, Sozial- und Naturwissenschaften. München: Fink. S.213-229
- Licklider, J. C. R.** (1999) Man-Computer Symbiosis. In: Mayer, Paul A.. (Hrsg.). Computer Media and Communication. Oxford: University Press. S. 59-71
- Longo, Giuseppe O.** (1995). Die Simulation bei Mensch und Maschine. In: Braitenberg, Valentin; Hosp, Inga. (Hrsg.). Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie. Hamburg: Rowohlt. S. 26-43
- Mahr, Bernd.** (2003). Modellieren. Beobachtungen und Gedanken zur Geschichte des Modellbegriffs. In: Bredekamp, Horst; Krämer, Sybille. (Hrsg.). Bild, Schrift, Zahl. Reihe Kulturtechnik. München: Fink Verlag. S. 59-86
- Mahr, Bernd.** (2004). Das Mögliche im Modell und die Vermeidung der Fiktion. In: Macho, Thomas; Wunschel, Annette. (Hrsg.). Science & Fiction. Über Gedankenexperimente in Wissenschaft, Philosophie und Literatur. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag. S. 161-182
- Mainzer, Klaus.** (1994). Computer – Neue Flügel des Geistes? Die Evolution computergestützter Technik, Wissenschaft, Kultur und Philosophie. Berlin; New York: de Gruyter
- Mainzer, Klaus.** (1999). Computernetze und virtuelle Realität: Leben in der Wissensgesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag
- Maturana, Humberto R.; Pörksen, Bernhard.** (2002). Vom Sein zum Tun. Die Ursprünge der Biologie des Erkennens. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag
- McGreevy, M.W.** (1992). The presence of field geologists in Mars-like terrain. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments 1 (4). S. 375-403
- Mittelstraß, Jürgen.** (1984). (Hrsg.). Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Band 2. Mannheim: Kröner
- Münker, Stefan.** (1997). Was heißt eigentlich : ‚Virtuelle Realität‘? Ein philosophischer Kommentar zum neuesten Versuch der Verdopplung der Welt. In: Münker, Stefan; Roesler, Alexander. (Hrsg.). Mythos Internet. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag. S. 108-130
- Negroponte, Nicholas.** (1997). Total Digital. Die Welt zwischen 0 und 1 oder Die Zukunft der Kommunikation. München: Goldmann Verlag
- Neunzert, Helmut.** (1995). Mathematik und Computersimulation: Modelle, Algorithmen, Bilder. In: Braitenberg, Valentin; Hosp, Inga. (Hrsg.). Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie. Hamburg: Rowohlt. S. 44-55
- Nohr, Rolf F.** (2000). Zum Begriff des Nützlichen Bildes. Unveröffentlichter Beitrag im Seminar „Nützliche Bilder“ an der Ruhr-Universität Bochum im WS 1999/2000
- Pias, Claus.** (2002). Computer-Spiel-Welten. München: sequenzia
- Pimentel, Ken; Teixeira, Kevin.** (1993). Virtual Reality – Through the New Looking Glass. New York, St. Louis: Intel/Windcrest/McGraw-Hill
- Puhr-Westerheide, Peter.** (1995). Simulation mit Computern – eine neue Methode zur Analyse schwer zugänglicher Prozesse. In: Braitenberg, Valentin; Hosp, Inga. (Hrsg.). Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie. Hamburg: Rowohlt. S. 10-25
- Regenbrecht, Holger.** (1999). Faktoren für Präsenz in virtueller Architektur. Dissertation an der Fakultät für Architektur, Stadt- und Regionalplanung der Bauhaus-Universität Weimar
- Rheingold, Howard.** (1992). Virtuelle Welten. Reisen im Cyberspace. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt
- Rötzer, Florian.** (1993). Virtuelle und reale Welten. In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.). Cyberspace. Zum medialen Gesamtkunstwerk. München: Klaus Boer Verlag. S. 81-113
- Rötzer, Florian.** (1998). Interaktion – das Ende herkömmlicher Massenmedien. In: Bollmann, Stefan. (Hrsg.). Kursbuch Neue Medien. Trends in Wirtschaft und Politik, Wissenschaft und Kultur. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag. S. 59-82
- Rolfe, J.M.; Staples, K.J.** (1986). Flight Simulation. Cambridge u.a.: Cambridge University Press
- Sandin, Daniel J.** (1996). CAVE – das virtuelle Theater. In: Janko, Siegbert; Leopoldseder, Hannes; Stocker, Gerfried. (Hrsg.). Ars Electronica Center: museum of the future; Museum der Zukunft. Linz: Ars Electronica Center. S. 84-89
- Sandkühler, Hans Jörg.** (1990). (Hrsg.). Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften. Hamburg: Felix Meiner Verlag
- Schmidt, Siegfried.** (1987). (Hrsg.). Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Frankfurt am Main: Suhrkamp

- Schmidt, Siegfried.** (2002). Was heißt „Wirklichkeitskonstruktion“?. In: Baum, Achim; Schmidt Siegfried. (Hrsg.). Fakten und Fiktionen. Über den Umgang mit Medienwirklichkeiten. Deutsche Gesellschaft für Publizistik- und Kommunikationswissenschaft. Konstanz: UVK Verlag. S. 17-30
- Schönhammer, Rainer.** (1997). Wahrnehmung und Bewegung im Cyberspace. In: Flessner, B. (Hrsg.). Die Welt im Bild. Wirklichkeit im Zeitalter der Virtualität. Freiburg i. Br.: Rombach. S. 259-270
- Schröter, Jens.** (2004). Computer/Simulation. Kopie ohne Original oder das Original kontrollierende Kopie. www.theorie-der-medien.de. Letzter Zugriff Mai 2004.
- Schröter, Jens.** (2004a). Virtuelle Kamera. Zum Fortbestand fotografischer Medien in computergenerierten Bildern. www.theorie-der-medien.de. Letzter Zugriff Mai 2004.
- Singer, Michael J.; Witmer, Bob G.** (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. In: Presence 7 (3). Massachusetts Institute of Technology. S. 225-240
- Stachowiak, Herbert.** (1973). Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer-Verlag
- Steinmüller, Karlheinz.** (1993). (Hrsg.). Wirklichkeitsmaschinen: Cyberspace und die Folgen. Weinheim; Basel: Beltz
- Stengers, Isabelle.** (1997). Die Erfindung der modernen Wissenschaften. Frankfurt/M.: Campus Verlag
- Sutherland, Ivan.** (1965). The Ultimate Display In: Proceedings of the IFIP Information Congress. Amsterdam: North Holland. S. 506-508
- Sutherland, Ivan.** (1968). A Head-Mounted Three Dimensional Display. In: Proceedings of the Fall Joint Computer Conference. S. 757-764
- Tate, Scott.** (2004). Virtual Reality: A Historical Perspective. <http://ei.cs.vt.edu/~history/Tate.VR.html>. Letzter Zugriff Mai 2004.
- Thürmel, Sabine.** (1993). Virtuelle Realität. Ursprung und Entwicklung eines Leitbildes in der Computertechnik. In: Steinmüller, Karlheinz. (Hrsg.). Wirklichkeitsmaschinen: Cyberspace und die Folgen. Weinheim; Basel: Beltz. S. 39-59
- Vince, John.** (2004). Introduction to Virtual Reality. London: Springer-Verlag
- Waldenfels, Bernhard.** (1998). Experimente mit der Wirklichkeit. In: Krämer, Sybille. (Hrsg.). Medien. Computer. Realität. Wirklichkeitsvorstellungen und Neue Medien. Frankfurt am Main: Suhrkamp. S. 213-243
- Weibel, Peter.** (1993). Virtuelle Realität: Der Endo-Zugang zur Elektronik. In: Rötzer, Florian; Weibel, Peter. (Hrsg.). Cyberspace. Zum medialen Gesamtkunstwerk. München: Klaus Boer Verlag. S. 15-46
- Weizsäcker, Victor von.** (1997). Der Gestaltkreis: Theorie der Einheit von Wahrnehmen und Bewegen. Originalausgabe 1940. Frankfurt a.M.: Suhrkamp
- Wellershoff, Dieter.** (1987). Das Verschwinden im Bild. Über Blendwerke und Fiktionen. 1980. In: Wellershoff, Dieter. Wahrnehmung und Phantasie. Essays zur Literatur. Köln: Kiepenheuer & Witsch. S. 189-232
- Welsch, Wolfgang.** (1998). ‚Wirklich‘. Bedeutungsvarianten – Modelle – Wirklichkeiten und Virtualität. In: Krämer, Sybille. (Hrsg.). Medien. Computer. Realität. Wirklichkeitsvorstellungen und Neue Medien. Frankfurt am Main: Suhrkamp. S. 169-212
- Wilkens, R.** (2003). Bewegungssysteme in der Simulation. In: VDI-Berichte 1745. Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten - . Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 345-359

## Abbildungen

- Abb. 1:** Die CAVE der RWTH Aachen. Aus: Jahresbericht 2003/2004 des VRCA Aachen. S. 69
- Abb. 2:** VR-basierte CFD-Visualisierung eines 4-Ventil-Motors auf einer HoloBench. Aus: Bischof, C.; Gerndt, A.; Henrichs, J.; Kuhlen, T.; Reimersdahl, T. van. (2000). A parallel approach for VR-based visualization of CFD data with PC clusters. 16<sup>th</sup> IMACS World Congress. [www.rz.rwth-aachen.de/vr](http://www.rz.rwth-aachen.de/vr). Letzter Zugriff August 2004.
- Abb. 3:** Visualisierung von Tröpfchenbahnen in einem Turbo-DI-Motor. Aus: Jahresbericht 2003/2004 des VRCA Aachen. S. 38
- Abb. 4:** VR-basierter Prototyp für die explorative Analyse der Naseninnenströmung. Aus: ebd. S. 21
- Abb. 5:** Modellierung der virtuellen Stadt Eurade. Aus: Valvoda, Jakob T. (2004). Entwicklung VR-unterstützender Diagnose- und Therapiesysteme bei Störungen der Raumrepräsentation. Kurzzusammenfassung des Forschungsbereichs Neurowissenschaftliche VR. [www.rz.rwth-aachen.de/vr](http://www.rz.rwth-aachen.de/vr). Letzter Zugriff August 2004.

**Abb. 6:** Modellierung der virtuellen Stadt Eurade. Aus: Valvoda, Jakob T. (2004). Entwicklung VR-unterstützender Diagnose- und Therapiesysteme bei Störungen der Raumrepräsentation. Kurzzusammenfassung des Forschungsbereichs Neurowissenschaftliche VR. [www.rz.rwth-aachen.de/vr](http://www.rz.rwth-aachen.de/vr). Letzter Zugriff August 2004.

**Abb. 7:** Navigation und Nutzung des PathMan-Moduls mit der virtuellen Stadt Eurade. Aus: Jahresbericht 2003/2004 des VRCA Aachen. S. 17

**Abb. 8:** Skizze und Anwendung von ReactorMan für die Untersuchung mentaler Zahlenrepräsentation. Aus: Assenmacher, Ingo; Fimm, Bruno; Graf, Martina; Heber, Ines Ann; Huber, Walter; Kuhlen, Torsten; Nuerk, Hans-Christoph; Piefke, Martina; Sturm, Walter; Valvoda, Jakob T.; Vohn, Rene; Willmes, Klaus; Wolter, Marc. (2004). NeuroMan - Virtuelle Realität für experimentelle Neurowissenschaften. Submitted. ARVR-Tagung der GI, Chemnitz

**Abb. 9:** Reaktionszeitmessung mit dem ReactorMan-Modul und der ReactorMan-Messhardware. Aus: Jahresbericht 2003/2004 des VRCA Aachen. S. 15

**Abb. 10:** Anwendungsbeispiel 3D-Visualisierung einer Lagerstätte in VR. Aus: Rossmann, Martin; Badia, Wilfried. (2002). Optimierung von Betriebsverfahren und Sicherheitsbelangen durch Einsatz von virtueller Realität. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Steinkohle AG. S. 12

**Abb. 11:** 6 Walzenlader SL 300 im Streb. Aus: Unveröffentlichtes Bildmaterial der Deutschen Steinkohle AG

**Abb. 12:** Mögliche Translationen am Beispiel Schildausbau. Aus: Rossmann, Martin; Badia, Wilfried. (2002). Optimierung von Betriebsverfahren und Sicherheitsbelangen durch Einsatz von virtueller Realität. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Steinkohle AG. S. 15

**Abb. 13:** Online-Visualisierung eines laufenden, realen Abbaustrebs. Aus: ebd. S. 37

**Abb. 14:** Interaktives Modell der AVSA. Aus: ebd. S. 42

**Abb. 15:** Der Schulungsraum für den konventionellen Streckenvortrieb. Aus: Unveröffentlichtes Bildmaterial der Deutschen Steinkohle AG

**Abb. 16:** Bohrwagen bei der Erstellung der Bohrlöcher. Aus: Rossmann, Martin; Badia, Wilfried. (2002). Optimierung von Betriebsverfahren und Sicherheitsbelangen durch Einsatz von virtueller Realität. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Steinkohle AG. S. 48

**Abb. 17:** Center of Simulation des TacSi. Aus: AGPG – Mechanised Infantry Platoon Combat Simulator. Informationspapier der Rheinmetall Defence Electronics GmbH 2004. S. 2

**Abb. 18:** Ansicht des AGPG Mechanised Infantry Platoon Combat Simulators. Aus.: ebd. S. 1

**Abb. 19:** Bild vom Simulator bei der Bayerischen Bereitschaftspolizei. Aus: Neue Trainingsmöglichkeiten für Einsatzfahrten. Informationspapier der STN ATLAS ELEKTRONIK GmbH, heute Rheinmetall Defence Electronics GmbH (2003). S. 6

**Abb. 20:** Gassenbildung im Simulator. Aus.: ebd. S. 3

**Abb. 21:** Szene aus „Home of the Brain“. Aus: [www.netzspannung.org](http://www.netzspannung.org). Letzter Zugriff September 2004

**Abb. 22:** Schema der eMuse Vernetzung. Aus: [www.netzspannung.org](http://www.netzspannung.org). Letzter Zugriff September 2004

**Abb. 23:** Bewegungsspiel von Akteuren auf der Mixed-Reality Bühne von Murruring Fields. Aus: [www.netzspannung.org](http://www.netzspannung.org). Letzter Zugriff September 2004

**Abb. 24:** Info-Jukebox mit Point-Screen Technologie. Aus: Pointscreen. Interaction without touch. Informationsblatt des Fraunhofer Institute for Media Communication. S.4

**Abb. 25:** Virtuelles Modell des Dom von Siena. Aus: Katalog zur Ausstellung Cybernarium days. Virtuelle Welten Real Erleben im SiemensForum München. November 2003 bis Januar 2004. Urheber: IGD Darmstadt Abteilung Virtuelle und Erweiterte Realität. S. 10

**Abb. 26:** Darstellung der Geometrie des Dom von Siena. Aus: ebd. S. 10

**Abb. 27:** Avatar des Dom von Siena. Aus: ebd. S. 10

**Abb. 28:** Nutzer von Match-Two. Aus: ebd. S. 20

**Abb. 29:** Virtuelle Figur aus Match-Two. Aus: ebd. S. 20

**Abb. 30:** Nutzer des Light Cycle Race mit HMD. Aus: ebd. S. 21

**Abb. 31:** Das „Light Cycle“-Motorrad in vereinfachter Darstellung. Aus: ebd. S. 21

## Quellen

### Bereich Forschung

**Bischof, C.; Gerndt, A.; Henrichs, J.; Kuhlen, T.; Reimersdahl, T. van.** (2000). A parallel approach for VR-based visualization of CFD data with PC clusters. 16<sup>th</sup> IMACS World Congress. [www.rz.rwth-aachen.de/vr](http://www.rz.rwth-aachen.de/vr). Letzter Zugriff August 2004.

**Virtual Reality Center Aachen.** (2004). Jahresbericht 2003/2004. Jahresbericht des VRCA der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

**Vorländer, M.** (2003). Akustische Virtuelle Realität. Unveröffentlichte Text des Instituts für Technische Akustik der RWTH Aachen.

#### **Bereich neurowissenschaftliche Forschung**

**Assenmacher, I.; Bischof, C.; Dohle, C.; Kuhlen, T.; Valvoda, J.T.** (2003). NeuroVRAC - A Comprehensive Approach to Virtual Reality-based Neurological Assessment and Treatment Systems. In: Westwood, J.D. et al. (Hrsg.). Medicine Meets Virtual Reality 11., Amsterdam: IOS Press

**Assenmacher, I.; Bischof, C.; Kuhlen, T.; Valvoda, J.T.** (2004). Reaction-Time Measurement and Real-Time Data Acquisition for Neuroscientific Experiments in Virtual Environments. In: Westwood, J.D. et al. (Hrsg.). Medicine Meets Virtual Reality 12., Newport Beach, CA. Amsterdam: IOS Press. S. 391-393

**Assenmacher, Ingo; Fimm, Bruno; Graf, Martina; Heber, Ines Ann; Huber, Walter; Kuhlen, Torsten; Nuerk, Hans-Christoph; Piefke, Martina; Sturm, Walter; Valvoda, Jakob T.; Vohn, Rene; Willmes, Klaus; Wolter, Marc.** (2004). NeuroMan - Virtuelle Realität für experimentelle Neurowissenschaften. Submitted. ARVR-Tagung der GI, Chemnitz

**Valvoda, Jakob T.** (2004). Entwicklung VR-unterstützender Diagnose- und Therapiesysteme bei Störungen der Raumrepräsentation. Kurzzusammenfassung des Forschungsbereichs Neurowissenschaftliche VR. [www.rz.rwth-aachen.de/vr](http://www.rz.rwth-aachen.de/vr). Letzter Zugriff August 2004.

**Virtual Reality Center Aachen.** (2004). Jahresbericht 2003/2004. Jahresbericht des VRCA der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

#### **Bereich Industrie**

**Deutsche Steinkohle AG.** (2004). Kampagne Deutsche Steinkohle. Informationspapier zur Kampagne „Die Zukunft ist schon lange unter uns: [www.deutsche-steinkohle.de](http://www.deutsche-steinkohle.de)“

**Rossmann, Martin; Badia, Wilfried.** (2002). Optimierung von Betriebsverfahren und Sicherheitsbelangen durch Einsatz von virtueller Realität. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Steinkohle AG

**RAG Aktiengesellschaft.** (2004). Der Bergmann der Zukunft. In: Folio. Das Mitarbeitermagazin der RAG. Juni 2004. S. 24-26

#### **Bereich Militär**

**Rheinmetall Defence Electronics.** (2004). AGPG – Mechanised Infantry Platoon Combat Simulator. Informationspapier der Rheinmetall Defence Electronics GmbH

**Rheinmetall Defence Electronics.** (2004). ELTAM – Electronic Tactic Simulator for Mechanized Formations. Informationspapier der Rheinmetall Defence Electronics GmbH

**STN ATLAS ELEKTRONIK.** (2003). TacSi. Tactical Simulation System. Informationspapier der STN ATLAS ELEKTRONIK GmbH, heute Rheinmetall Defence Electronics GmbH

**STN ATLAS ELEKTRONIK.** (2003). Neue Trainingsmöglichkeiten für Einsatzfahrten. Informationspapier der STN ATLAS ELEKTRONIK GmbH, heute Rheinmetall Defence Electronics GmbH

[www.rheinmetall-de.de](http://www.rheinmetall-de.de)

#### **Bereich Kunst**

**Fleischmann, Monika; Strauss, Wolfgang.** (2000). Murmuring Fields oder ein Raum möbliert mit Daten. In: Zacharias, Wolfgang. (Hrsg.). Interaktiv. Medienökologie zwischen Sinnenreich und Cyberspace. München: kopaed

**Fleischmann, Monika; Strauss, Wolfgang; Novak, Jasminko.** (2000). Murmuring Fields Rehearsals – Building up the Mixed Reality stage. In: Proceedings of KES. Brighton

**Fleischmann, Monika; Strauss, Wolfgang.** (2004). ENERGIE PASSAGEN: DIE STADT LESEN UND (BE-)SCHREIBEN. Installation im Rahmen der „Ortstermine 2004“ Literaturhaus München 28.10. – 28.11.2004. <https://big.imk.fraunhofer.de/public/Energie>. Letzter Zugriff September 2004

**Fleischmann, Monika; Strauss, Wolfgang; Zobel, Stefanie.** (2004). Mobile Interaktionsräume. wird veröffentlicht.

**MARS – Exploratory Media Lab.** Pointscreen. Interaction without touch. Informationsblatt des Fraunhofer Institute for Media Communication. S.4  
[www.netzspannung.org](http://www.netzspannung.org)

**Bereich Unterhaltung und Bildung**

**Cybernarium Projektgesellschaft mbH.** (2003). Virtuelle Welten Real Erleben. Katalog zur Ausstellung Cybernarium days im SiemensForum München. November 2003 bis Januar 2004.

**Anhang**

Die Projektbeschreibungen in Kapitel Fünf basieren auf Gesprächen mit verantwortlichen Entwicklern oder Betreuern der VR-Projekte. Ebenfalls zu der Beschreibung beigetragen haben die Sichtung der VR-Projekte vor Ort sowie das mir zur Verfügung gestellte oft umfangreiche Informationsmaterial. Im einzelnen bedanke ich mich bei (in der zeitlichen Reihenfolge der geführten Interviews):

**Martin Rossmann**

(Deutsche Steinkohle AG, TI-Technisches Innovationsmanagement)

**Till von Westermann**

(Rheinmetall Defence Electronics GmbH, Sales Combat Systems)

**Rolf Kruse**

(Cybernarium Projektgesellschaft mbH, Geschäftsführer)

**Torsten Kuhlen,**

**Jakob Valvoda,**

**Andreas Gerndt,**

**Ingo Assenmacher**

(Virtual Reality Group, Center for Computing and Communication, RWTH Aachen)

**Monika Fleischmann und Wolfgang Strauss**

(MARS – Media Arts Research Society, Fraunhofer Institut für Medienkommunikation)