

VR-Technik

Einleitung

Bis Ende des Jahrtausends boomte die Forschung auf dem Gebiet der virtuellen Realität (VR). Begeistert erkannten Entwickler, dass viele Träume der Vergangenheit plötzlich realisierbar waren. In den letzten Jahren jedoch ist ruhiger um die VR geworden, und viele Forscher konzentrieren sich auf die ebenfalls viel versprechende „Augmented Reality“. Zeit für eine Bestandsaufnahme.

Der Begriff „Virtual Reality“ wurde 1989 vom Wissenschaftler und Techniker Jaron Lanier geprägt [1]. Man versteht darunter eine computergenerierte Umgebung, die verschiedene Sinne des Users stimuliert und Interaktionen erlaubt, wenn möglich in Echtzeit [2]. Durch eine annähernd realistische Replikation der Realität wird dem Anwender das Gefühl der „Immersion“, des Eintauchens in die virtuelle Welt, vermittelt. Um einen bekannten Werbespruchs zu zitieren: man ist „mittendrin statt nur dabei“.

Da die Darstellung einer VR-Welt unserer ungemein komplexen Realität auch heute noch alles andere als nahe kommt, wird vom Anwender außerdem Vorstellungskraft verlangt, um sich auf die virtuelle Welt einzulassen.

Zusammenfassend spricht man oft von den „drei I der VR“: *Immersion – Interaktion – Imagination* [3]

Geschichte der VR

Die Virtuelle Realität ist keineswegs ein neuer Forschungsbereich. Schon in den 60er und 70er Jahren wurden Projekte gestartet, die sich mit der Nutzung von VR-Welten beschäftigten. Damals waren die Rechenleistungen jedoch noch so unzureichend, dass die Forschungen abgebrochen oder aufgeschoben werden mussten. So hatte beispielsweise „Build-It“ [4], ein erfolgreiches Projekt zur dreidimensionalen Betrachtung und Manipulation von Molekülen, seine Wurzeln bereits 1968. Die ersten Systeme, aus denen sich später Projekte wie Build-It entwickelten, wurden aber erst 18 Jahre später gebaut. Zu dieser Zeit floss – nicht zuletzt aufgrund der anhaltenden Ost-/West-Konfrontation – ungebremst Geld in die militärische Forschung. Dadurch wurde sie zum Motor für Hard- und Software-Entwicklung und Wegbereiter für den heutigen Stand der VR-Technik. Ein wichtiges VR-Projekt lief bereits 1985 bei der NASA an. Mit dem Virtual Environment Display System (VIVED) wollten sie den Astronauten bei der aufwendigen Kontrolle der neuen Raumfahrzeuge helfen und die Möglichkeiten telerobotischer Systeme erforschen, die unter anderem beim Bau von Raumstationen eingesetzt werden sollten. Statt einen Astronauten auf die gefährliche Mission zu schicken, wurden mit großem Erfolg Möglichkeiten erforscht, wie die Roboter möglichst realistisch von Menschen im sicheren

Kontrollzentrum gesteuert werden können. [5] Im VPE-Projekt (Virtual Planetary Exploration) versuchte die NASA die riesigen Datenmengen, die ihnen die Viking-Sonden vom Mars funkten, in einer geeigneten Weise zu visualisieren. Die vorwiegend numerischen Daten über den Mars wurden durch ein VR-System visualisiert, so dass die Forscher die Marsoberfläche dreidimensional und interaktiv erkunden konnten. Da sich die Entwicklung autonomer Roboter schwierig und langwierig gestaltete, verlagerte man den Schwerpunkt auf Teleoperatoren ferngesteuerte Roboter. [6] Während in der Forschung die ersten VR-Anwendungen erkundet und umgesetzt wurden, entdeckte die Öffentlichkeit die aufregend futuristische Idee einer virtuellen Welt, und eine Reihe Science-Fiction-Autoren verarbeiteten sie in erfolgreichen Filmen wie „Tron“ (1982) oder „Matrix“ (1999) und wegweisenden Romanen wie „Neuromancer“ (1984). Gerade in diesem Bereich darf der Einfluss von Autoren nicht unterschätzt werden, da am Anfang jeder neuen Entwicklung innovative Ideen stehen. Und davon hatten die kreativen Köpfe der Science-Fiction-Branche genug. So unterhielten sie mit ihren Visionen nicht nur ihr Publikum, sondern lieferten auch einen großen Beitrag zur technischen Weiterentwicklung. Auch in jüngerer Zeit ist das Thema immer wieder in den Medien anzutreffen. Im Jahr 2000 wurde zum Beispiel die Folge „First Person Shooter“ der Kult-TV-Serie „X-Files“ (deutscher Titel: „Akte X“) ausgestrahlt, bei der es um ein VR-Spiel geht, das sich selbstständig macht und Teilnehmer tatsächlich ermordet. „First Person Shooter“ wurde unter anderem von William Gibson geschrieben SciFi-Guru, Erfinder des Begriffes „Cyberspace“ und Autor von „Neuromancer“. [7] Nachdem Militär und Weltraumforschung wie so oft im technischen Bereich den Weg bereitet hatten, griffen andere Bereiche ihrerseits die Weiterentwicklung auf und steuerten wichtige Durchbrüche bei. Neben Medizin und Architektur entdeckte auch der Entertainment-Bereich die virtuelle Realität.



Abb. 2: Virtua Boy [8]

Der Videospiele Gigant Nintendo träumte bereits früh davon, ein VR-Spiele-System für den Heimgebrauch zu realisieren und brachte 1995 den ersten Versuch auf den Markt: Den „Virtua Boy“. Das Gerät war zwar ein innovativer Vorstoß in diesen neuen Sektor, doch das Endergebnis konnte kaum überzeugen. Zu gering war die Leistung des „Virtua Boy“ und zu schlecht die Grafik, um auch nur annähernd immersiv zu wirken. Die kleinen, niedrig auflösenden Displays waren ausschließlich mit roten LEDs ausgestattet, was gepaart mit der niedrigen Auflösung schon nach wenigen Minuten Augen- und Kopfschmerzen verursachte. So kamen insgesamt auch nur 20 Spiele für die erste VR-Konsole auf den Markt, und Nintendo musste den größten Flop in der Firmengeschichte verbuchen.

Hardware

Um dem Benutzer einer VR-Simulation das Eintauchen (Immersion) in die virtuelle Welt zu ermöglichen, sollten möglichst viele seiner Sinne angesprochen werden. Dazu sind traditionelle Ein- und Ausgabegeräte wie Maus, Tastatur und Monitor jedoch nur bedingt geeignet. Das liegt zu einem großen Teil daran, dass sie die Realität nicht nachahmen, sondern mit Metaphern arbeiten. So haben sich in grafischen Benutzeroberflächen allgemein Ordner als Behälter für Dateien durchgesetzt. Um einen solchen Ordner zu öffnen, muss der Anwender einen Doppelklick mit der Maus vollführen, nachdem er den Mauszeiger über das Objekt bewegt hat – eine leicht verständliche Abstraktion, doch weit entfernt von der Realität. Möchte man dem Anwender einen höheren Grad an Immersion und Interaktion vermitteln, muss so ein Vorgang durchgeführt werden können wie man es aus dem echten Leben gewöhnt ist. Statt Maus und Monitor greift man bei VR-Anwendungen daher meist zu Datenhandschuh und Head Mounted Display.



Abb. 3: CyberGrasp [9]



Abb. 4: Phantom [10]



Abb. 5: Phantom [10]

Ein erfolgreicher Datenhandschuh, auf dem viele andere Modelle aufbauen, ist

der „CyberGlove“ der Firma Immersion, der auch mit haptischem Feedback angeboten wird.

Das Modell „CyberTouch“ verwendet dazu „Touch Feedback“. An jedem Finger und der Handinnenfläche sind mikrotaktile Stimulatoren angebracht, die durch leichten Druck und Vibrationen eine Berührung simulieren können. Der „CyberGrasp“ geht die haptische Simulation so zu sagen von der anderen Seite der Hand an. Durch „Force Feedback“ wird Zug auf die einzelnen Finger ausgeübt, um Bewegungen und Berührungen nachzuempfinden. [9]

Einen etwas anderen Weg geht das 1993 vom Touchlab des MIT [10] entwickelte „Phantom Haptic Interface“, das bis zu sechs Freiheitsgrade simulieren kann. Ein Stift oder eine Fingerspitze wird dabei in eine Aufhängung gesteckt, an der drei computergesteuerte Motoren angebracht sind, welche die Kraft-Rückkopplung auf die Raumachsen übertragen. So lassen sich Objekte, Vibrationen und sogar unterschiedliche Konsistenzen von Gegenständen simulieren. [11]



Abb. 6: SimEye XL100A [12]



Abb. 7: X-Eye [13]



Abb. 8: Olfactoric Display [14]

Enorm wichtig für einen hohen Immersionsgrad ist natürlich auch die Wahl des richtigen Ausgabegerätes. Auf diesem Sektor haben sich für die meisten VR-Anwendungen die „HeadMounted Displays“ (HMD) durchgesetzt. Ein HMD ist üblicherweise mit einem kleinen, mehr oder weniger hochauflösenden Display für jedes Auge ausgestattet.

Aufwendigere Modelle wie der SimEye XL100A (Auflösung 1024x768) von Kaiser, der immerhin 87,500 Dollar auf den Kontoauszug bringt, verfügen außerdem über eingebaute Kopfhörer und ein Micro [12]. Inzwischen gibt es auch kleinere Varianten in Brillenform, die durch ihr geringes Gewicht die Bewegung kaum noch einschränken [13].

Neben dem auditiven, visuellen und taktilen Kanal können auch weitere Sinne des Menschen mit in die Simulation eingebunden werden. Die Forschung auf diesem Sektor steckt zwar noch in den Kinderschuhen, doch einige Forschungsgruppen wie das Hirose & Hirota Lab der University of Tokyo beschäftigen sich auch mit der olfaktorischen Simulation in VR-Umgebungen – angeblich mit großem Erfolg [14].

Der große Bruder aller VR-Ausgabegeräte ist die so genannte CAVE (ein

rekursives Akronym für „CAVE Automatic Virtual Environment“), ursprünglich entwickelt am Electronic Visualization Lab (EVL) der University of Illinois in Chicago [15].

Die CAVE ist ein VR-Visualisierungssystem mit bis zu sechs festen, senkrecht zueinander stehenden Projektionsebenen. Auf diese Flächen, die Wände und Decken des Raumes, werden 3D-Bilder geworfen, so dass der Anwender tatsächlich inmitten der virtuellen Umgebung steht.

Kombiniert mit VR-tauglichen Eingabegeräten wird so ein ausgesprochen hoher Immersionsgrad erreicht werden [16].

Der Aufbau einer CAVE erinnert ein wenig an das berühmte Holodeck der Science Fiction-Kultserie Star Trek, wo die Besatzungsmitglieder beliebige Szenen

reproduzieren und dort mit realistisch wirkenden Hologrammen agieren können. Diese Art virtuelle Realität ist natürlich noch weit entfernt, doch zumindest im Ansatz ist auch hier wieder Science Fiction zur Realität geworden.

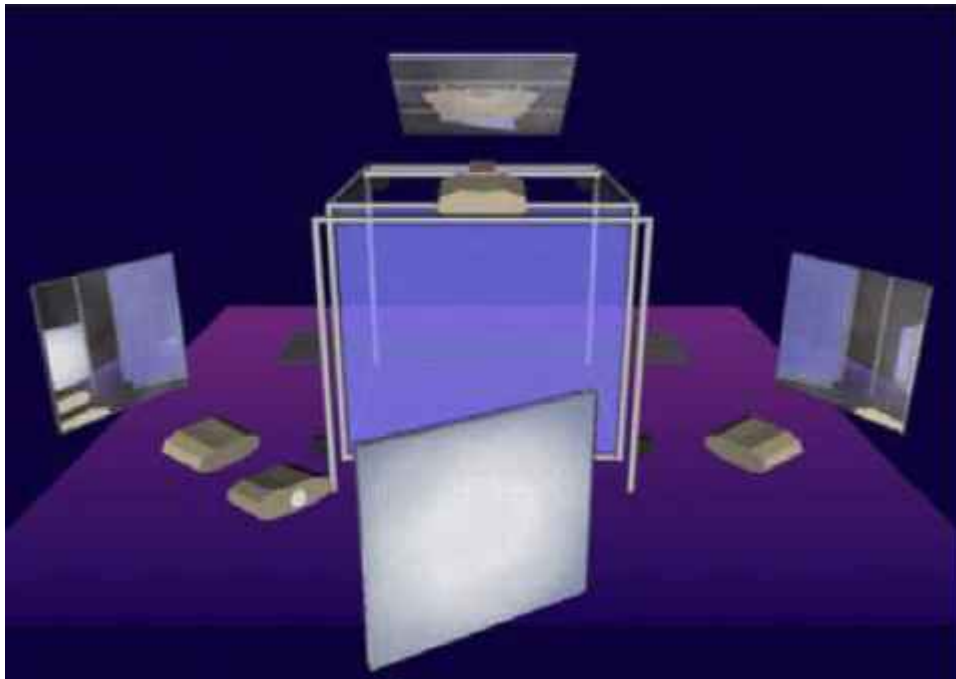


Abb. 9: Modell einer geöffneten CAVE (Höhle)[16]

Klassifizierungen von VR-Anwendungen

Nach Immersionsgrad

Wie anfangs angesprochen, ist die Immersion ein wesentliches Ziel jeder VR-Umgebung. Es liegt also nahe, Anwendungen anhand ihres Immersions-Grades zu unterscheiden [17]. Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass man bis zu einem gewissen Immersions-Grad zum Teil noch gar nicht von VR spricht, doch sollen auch diese Anwendungen kurz genannt werden, da sie einen wesentlichen Teil zur Weiterentwicklung der VR beitragen.

Pseudo VR

Unter Pseudo-VR versteht man vorberechnete VR-Umgebungen, die also keine Echtzeit-Darstellung bieten. Daraus folgt typischerweise ein geringer Grad an Interaktion, daher spricht man von der „Passiven Ebene“.

Der Anwender kann hier sehen, hören, und eventuell auch fühlen, was um ihn herum passiert. Er bewegt sich in der künstlichen Welt, sie ist aber nicht direkt steuerbar. Der Grad an Immersion ist von den Eingabegeräten abhängig.

Pseudo VR wird oft in der Architektur eingesetzt, um die Begehung von computer-generierten Gebäuden zu ermöglichen. Dort kommt es nicht so sehr auf die Interaktion an, sondern hauptsächlich auf eine realistischere Wahrnehmung des Objekts im Gegensatz zur klassischen Darstellung auf dem Computer-Monitor.

Desktop VR

In der Desktop-VR werden meist herkömmliche Monitore oder Projektoren als Ausgabegeräte verwendet. Die 3D-Darstellung erreicht man mit Hilfe von Shutterbrillen, die zwei leicht versetzte Bilder ausgeben. Man erreicht dadurch einen mittleren Grad an Immersion und Interaktion und spricht von der „Aktiven Ebene“.

Immersive VR

Die Immersive VR ist die anspruchsvollste Art virtuelle Umgebungen darzustellen. Man verwendet sowohl intuitive Eingabegeräte als auch möglichst immersive Ausgabegeräte wie HMDs oder ein CAVE. Ziel ist die freie Bewegung des Anwenders in der virtuellen Welt, um eine hohe Immersion und Interaktion zu ermöglichen. Die Immersive VR wird als „Interaktive Ebene“ bezeichnet.

Inverse VR

Einen interessanten Spezialfall stellt die so genannte Inverse VR dar. Diese Bezeichnung entstand durch die Vorstellung, dass hier nicht der Benutzer in die computergenerierte Welt integriert werden soll, sondern andersherum. So entsteht ein negativer Grad von Interaktion und Immersion. Inverse VR kann unter anderem dazu verwendet werden, um funktionell eingeschränkten Menschen die Zurückgewinnung verlorener Körperfunktionen zu ermöglichen. So kann zum Beispiel die Zeichensprache eines Taubstummen in gesprochene

Sprache übersetzt werden, indem die Gesten mit Hilfe eines Datenhandschuhs erkannt und an einen angeschlossenen Synthesizer weitergeleitet werden, der aus den Signalen eine computergenerierte Stimme erzeugt.

Auch Eingabegeräte, die durch Biosignale wie Muskel- oder Hirnaktivitäten gesteuert werden, fallen in diesen Bereich.

Nach Anwendungsbereich

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung von VR-Anwendungen ist die Aufteilung nach Anwendungsbereichen. Grob zusammengefasst gibt es die folgenden wichtigen Felder:

Simulation

Militärische Kampf- und Strategiesimulationen zu Trainings- und Analysezwecken sowie ziviles und militärisches Piloten-Training

Kreation

Die Erstellung und Untersuchung von virtuellen Prototypen in Industriedesign, Fahrzeug- oder Maschinenbau und Architektur

Unterhaltung

Computer- und Videospiele

Bildung

Forschung und Lehre

Kommunikation

VR-Umgebungen als Schnittstelle für gemeinsame Kommunikation, Diskussion und Forschung am dreidimensionalen Objekt

Anwendungsbereiche

Dieser Teil der Seminararbeit gibt einen praktisch orientierten Überblick über die wichtigsten Anwendungsbereiche, in denen VR schon heute eine wichtige Rolle spielt.

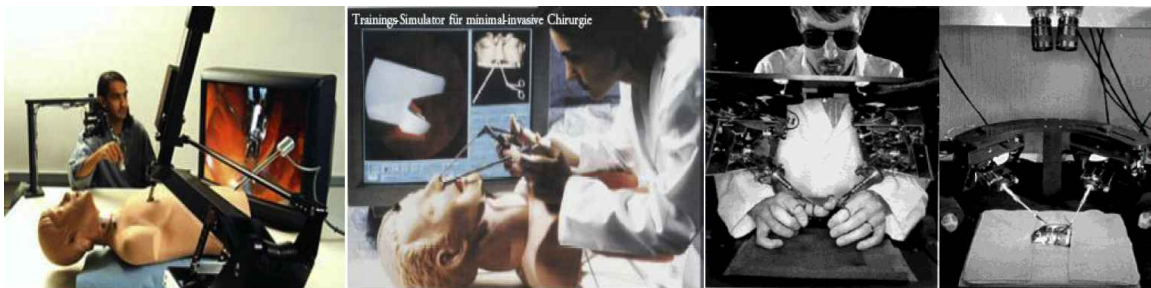
Militär

Die US-Army hat bereits 1983 das Distributed Interactive Simulation Network (DIS) ins Leben gerufen, über das regelmäßig Kriegszustände simuliert werden können, um strategisches und Gefechtstraining durchzuführen. VR-Technologie spielt hier seit längerem eine wichtige Rolle [18]. Das STRICOM (Simulation, Training and Instrumentation Command) verfügt über ein Milliarden-Budget und hat unter anderem VR-Trainingsszenarien als Vorbereitung für den Krieg in Afghanistan finanziert [19]. Besonders gefördert wird auch das „Land Warrior Army Training“, das VR- und AR- (Augmented Reality) Technik einsetzt, um den Soldaten über HMDs Zugang zu Informationen über feindliche Truppenbewegungen oder die Beschaffung der Landschaft zu ermöglichen [20]. Außerdem werden Computerspiele und angepasste Spiele-Engines für das Training verwendet.

Computerspiele sind außerdem Basis vieler Piloten-Trainingsprogramme. So üben Piloten des US-Militärs schon lange mit dem realitätsnahen Microsoft Flight Simulator. Zusätzlich werden professionelle Simulatoren eingesetzt. Auch hier kann mit Hilfe von VR-Ein- und Ausgabegeräten ein wesentlich realistischeres Training ermöglicht werden [21]. So weit entfernt die zwei Bereiche also auch erscheinen mögen: Das Militär profitiert enorm von der schnellen technischen Entwicklung im Spiele-Bereich, und andersherum.

Medizin

Die Medizin ist heute eine der treibenden Kräfte für die Entwicklung im VR- und AR-Bereich. Bereits vor einem medizinischen Eingriff ist die VR-Technik von großem Nutzen. So kann eine komplizierte Operation mit Hilfe einer VR-Umgebung dem Patienten in einer Art und Weise vorgeführt und erklärt werden, wie es zuvor nie möglich war. Noch eindrucksvoller sind die Vorteile in der Ausbildung und beim Training von Medizinern. Schwierige Operationen können in einem realistischen VR-Environment geübt werden statt an Leichen, Gummipuppen oder gar Versuchspersonen [22]. Ein weiteres Einsatzfeld für VR-Technik ist die minimal-invasive Chirurgie. Hier arbeitet der Arzt ohnehin nicht mehr klassisch mit dem Skalpell in der Hand, sondern steuert einen Mini-Roboter, mit dem Operationen im Körper eines Patienten ohne einen größeren Eingriff durchführbar sind. Mit HMD und speziellen Eingabegeräten ausgestattet, ist bei dieser Form von Chirurgie ein wesentlich präziseres und intuitiveres Operieren möglich als mit Hilfe herkömmlicher Ein- und vor allem Ausgabegeräte [22].



VR-Training in der Medizin

Da nun kein direkter Kontakt mehr zwischen Arzt und Patient besteht, ist es außerdem nicht unbedingt zwingend nötig, dass sie sich am selben Ort befinden. Diese Überlegung ist die Basis der Fernchirurgie, bei der der Arzt einen Roboterarm oder Mini-Roboter über eine Datenverbindung steuert. Dieses Verfahren hat sich bis heute aus verschiedenen Gründen noch nicht durchgesetzt. Zum einen ist die Präzision des Eingriffes in der Medizin verständlicherweise von oberster Priorität. Bei einer großen Entfernung zwischen Arzt und Patient können Probleme und Abweichungen bei der Datenübertragung aber nicht hundertprozentig ausgeschlossen werden. Auch wäre diese Technik besonders interessant für Gegenden, in denen wenige spezialisierte Ärzte zur Verfügung stehen. Genau

dort wird man sich eine so anspruchsvolle Technik aber kaum leisten können. Bekommt man das Problem der Datenübertragung in den Griff, könnte ein viel versprechender Einsatzbereich aber ein militärischer Einsatz sein. Verwundete Soldaten an der Front könnten zum Beispiel von einem Chirurg behandelt werden, der sich viele Kilometer entfernt von der Front in Sicherheit aufhält. In der Medizin bieten sich viele weitere Einsatzmöglichkeiten für virtuelle Welten. Neben der oben erwähnten Inversen VR sei hier noch ein spezielleres Programm erwähnt, das im Harborview Burn Center der University of Washington entwickelt wurde.



VR Pain Control (virtuelle Schmerztherapie)

Das Burn Center hat sich auf die Behandlung von schweren Verbrennungen spezialisiert und in der VR eine Möglichkeit gefunden, die starken Schmerzen der Patienten zu lindern. Zunächst testeten sie, inwieweit Videospiele zur Ablenkung bei schmerzhaften Behandlungen eingesetzt werden können. Nach durchaus viel versprechenden Ergebnissen setzten sie ihre Forschungen und Testreihen mit speziell zur Beruhigung der Patienten entworfenen VR-Welten fort und erzielten noch bessere Ergebnisse [24].

Fahrzeugbau

Sowohl in der Entwicklung als auch beim Design eines Fahrzeugs werden heutzutage 3D-Prototypen eingesetzt, an denen vor dem Bau Usability-Aspekte, Aussehen und Markttauglichkeit getestet werden können. Der Einsatz von VR in dieser Entwicklungsphase bietet für die Fahrzeug-Industrie (wie für viele ähnliche Bereiche auch) enorme Vorteile. Es können nun realistisch wirkende Produkt-präsentationen und Werbungen entworfen werden, die dem Geldgeber oder Kunden einen eindrucksvollen und detaillierten Eindruck vom Produkt geben.



Auch können in der VR realistische Ergonomie- und Crashtests durchgeführt werden, bei denen sich der Techniker direkt in den virtuellen Dummy versetzen kann, um das Innenleben des Fahrzeugs aus seinen Augen zu sehen [25].

Unterhaltung

Im nach wie vor boomenden Unterhaltungsbereich spielt echte VR noch immer eine untergeordnete Rolle – immersive virtuelle Welten sind aus Kostengründen großen Spielhallen vorbehalten. In den letzten Jahren haben sich jedoch immer mehr persistente Online-Welten gebildet. Den technisch gesehen niedrigen Immersionsgrad machen sie durch komplexe soziale und wirtschaftliche Systeme wett. Seit Jahren versinken hunderttausende Spieler aus der ganzen Welt jeden Tag in den virtuellen Welten von Online-Rollenspielen wie Everquest oder Lineage II, die auch ohne HMD und Datenhandschuh eine alternative Realität bieten.



Everquest

VR Gyroskop

CAVE Quake II

Um einen höheren Grad an Immersion zu erreichen, werden in VR-Spielhallen teure, speziell auf die Anwendung zugeschnittene Geräte verwendet. Doch es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft auch Systeme für den Heimgebrauch realisiert werden. Die Basis dafür existiert schon:

In einem ambitionierten Projekt hat der Programmierer Paul Rajlich vom National Center for Supercomputing Applications in Illinois [26] den 3D-Shooter „Quake II“ für die CAVE umgesetzt [27]. Nachfolger sind in Entwicklung, und inzwischen wird „CAVE Quake II“ auch für ein neues System namens Visbox umgesetzt, das erstmals VR-Technik in die Wohnzimmer bringen soll. Doch auch wenn die Website von Visbox Inc ihr Produkt als „affordable“ bewirbt, dürfte der momentane Preis von etwa 50.000 Dollar die meisten Spieler-Budgets doch geringfügig überschreiten [28].

Architektur

Ähnlich wie beim Fahrzeugbau werden in der Architektur mit CAD-Software realistische 3D-Modelle entworfen. Auch hier hilft es den Entwicklern enorm, ihr Werk nicht nur auf dem Monitor, sondern mit Hilfe von VR sozusagen von innen zu sehen. So kann ein Gebäude sogar vor dem Bau erkundet werden. Noch wichtiger für die Architektur ist allerdings die Augmented Reality, worauf hier nicht näher eingegangen werden soll.

Andere Bereiche

Neben den vorgestellten, großen Bereichen wird VR-Technologie in vielen weiteren Feldern eingesetzt. Ein Projekt der University of Strathclyde in Glasgow hat beispielsweise ein System entwickelt, um Rollstühle in VR-Umgebungen einzubinden. Dazu wurde eine spezielle Plattform entwickelt, die jede Bewegung des Rollstuhls an den Rechner überträgt. So kann ein Gebäude vor dem Bau verlässlich auf Rollstuhl-Tauglichkeit getestet werden [30].



Wheelchair VR

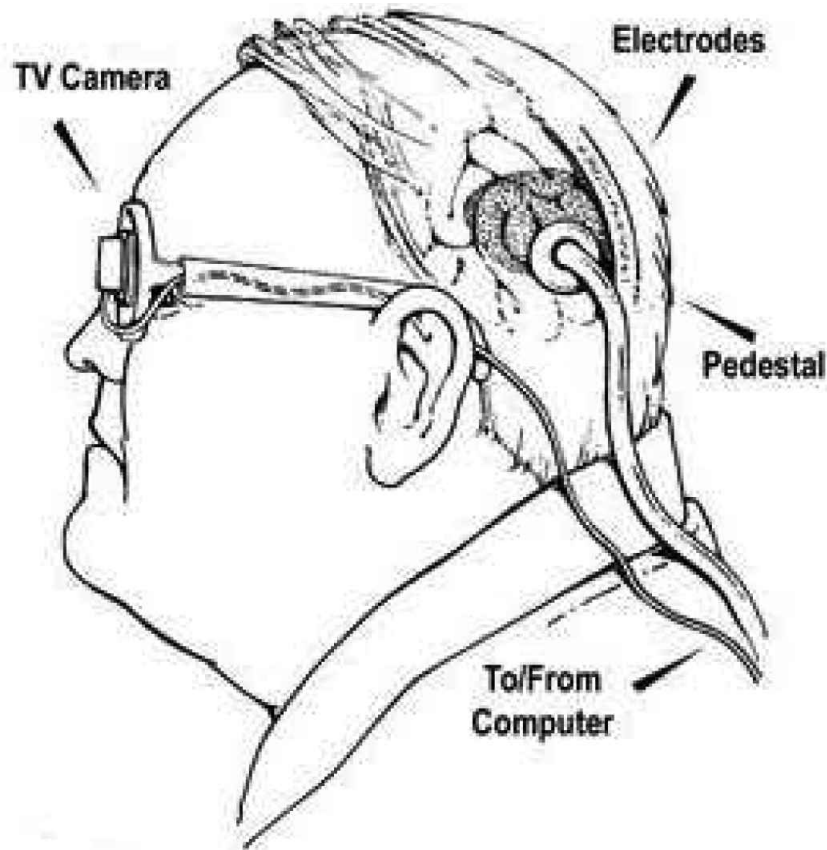
In der Forschung ist Virtual Reality generell sehr wichtig. Virtuelle Welten werden sehr oft zur Visualisierung und Auswertung von großen Datenmengen eingesetzt, doch es gibt auch einige für den Außenstehenden etwas abwegiger wirkende Projekte.

Der Biologe Jack Gray von der University of Saskatchewan wollte herausfinden, wie Insekten ihre Flugrouten wählen oder warum es nicht ständig ungewollte Kollisionen in der Luft gibt. Um diese Fragen zu beantworten, wählte er einen ungewöhnlichen Ansatz: Er baute einen VR-Flugsimulator für Motten. Die Tiere werden an einem Stäbchen festgehalten, bekommen aber durch eine Reihe von Tricks wie einer künstlich erzeugten Windbrise den Eindruck vermittelt zu fliegen. In diesem Zustand lässt sich ihr Flugverhalten besonders leicht erforschen [31].

Ausblick

Man muss sich nicht weit aus dem Fenster lehnen, um der VR eine revolutionäre Zukunft vorherzusagen. Bereiche wie die Fernchirurgie und die Inverse VR zum

Ersatz fehlender Körperfunktionen werden sich weiterentwickeln. Es sind bereits virtuelle Einkaufszentren in Entwicklung. und Science-Fiction-Szenarien wie ein direktes, neuronales Interface zwischen Mensch und Computer oder eine komplexe, persistente Online-Welt, wie sie in der SciFi-Literatur so oft beschrieben wird, sind nicht mehr weit entfernt.



Künstliches Auge

Es stimmt, dass es in den letzten Jahren etwas ruhiger um die VR geworden ist. Das mag zu einem großen Teil daran liegen, dass allgemein mit einem früheren Einzug der VR in den Konsumer-Bereich gerechnet wurde. Viele sahen die VR als nächsten Evolutionsschritt von Fernsehen, Computerspielen, Werbung und Kommunikations-Systemen, doch diese Entwicklung hat nicht stattgefunden. Noch nicht. Zum jetzigen Zeitpunkt kann mit einiger Sicherheit gesagt werden, dass es sich dabei nur um eine Verzögerung handelt – vor allem bedingt durch die noch immer hohen Kosten der nötigen Ausstattung. Wie in dieser Arbeit dargestellt wurde, gibt es schon heute zahlreiche viel versprechende Projekte, die in den unterschiedlichsten Bereichen von VR-Technologie Gebrauch machen. Und die technischen Weichen für einen Siegeszug der VR in vielen weiteren Feldern sind gestellt.



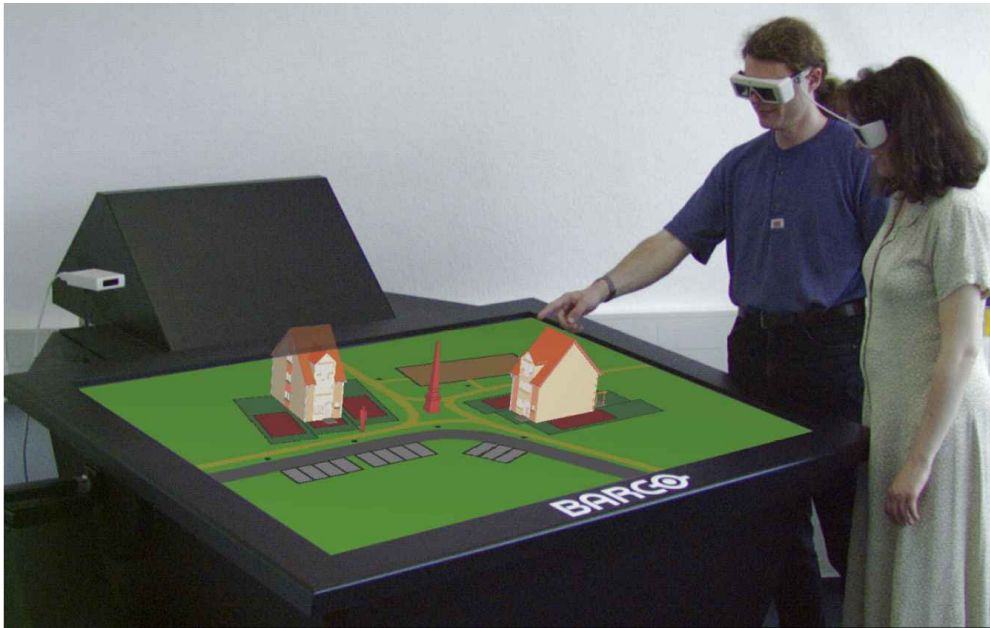
Datenhelm, auch „Head Mounten Display“ genannt.



Datenhandschuh, auch „Dataglove“ genannt.

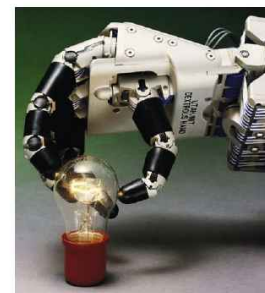
Virtual Table

Beim Virtual Table wird das stereoskopische Bildpaar, abhängig von der Betrachterposition, auf eine transparente Projektionsebene in Form einer Tischfläche projiziert.



Kraftrückkopplung

Beispiel eines Hand/Armsystems mit Kraftrückkopplung von SARCOS Research Corp.: Der Bediener fühlt den Hammerstiel und das Gewicht des Hammers bzw. der Getränkedose. Die Bewegungen des Hand/Armsystems (Master-System) werden simultan von einem Roboterarm mit einem realen Hammer ausgeführt.



Datenanzug (DataSuit)



Datenanzug in aktion.



Studien der "Advanced Design Group" der Fa. NEC, wie PCs und VR-Systeme zukünftig Bestandteil unserer Alltagskleidung werden könnten.

Game Seats



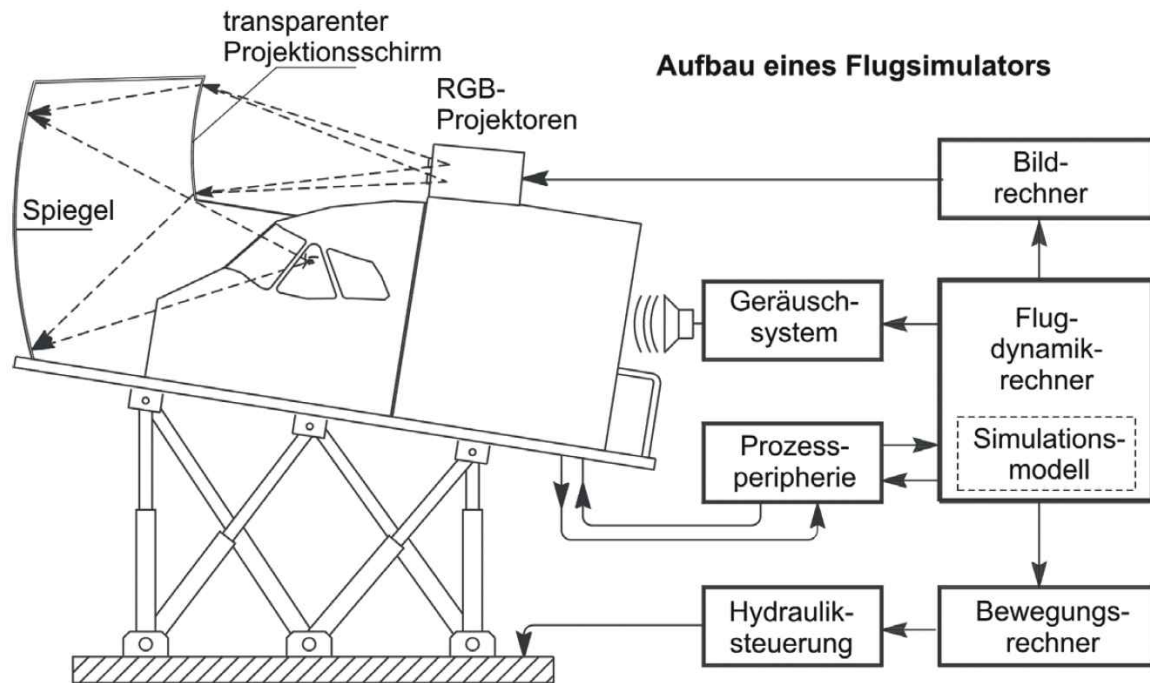
Game Seat von „Imerson“
Schüttelsitz mit eingebauten
Lautsprechern



Game Seat von „Rock´n´Ride“

Flugsimulator

Flugsimulatoren sind aus ökonomischen und sicherheitstechnischen Gründen von größter Bedeutung. 90% der fliegerischen Einweisung eines Piloten findet im Simulator statt.



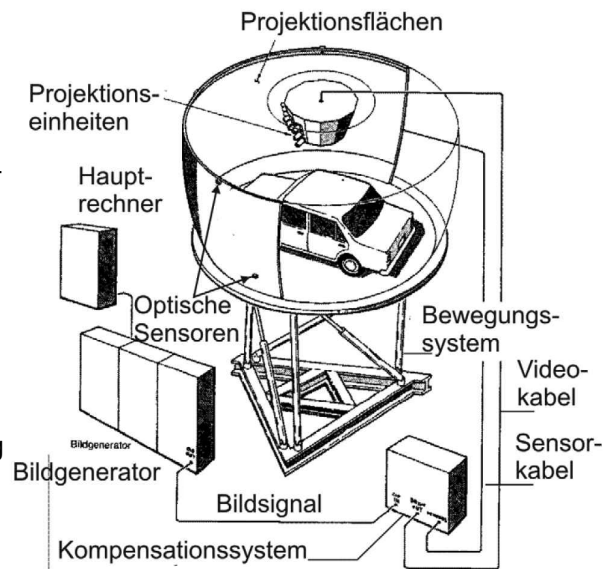
Aussenansicht eine A340-Simulators der der Lufthansa



Cockpit eines A340-Simulators

Fahrsimulator

Der Fahrsimulator ist ein computergesteuertes Hilfsmittel zur Untersuchung des Zusammenspiels zwischen Fahrer und Fahrzeug unter nachgebildeten Verkehrsbedingungen. Er ermöglicht eine kontrollierbare, reproduzierbare und kostengünstige Optimierung von Fahrzeugparametern bis in die Grenzbereiche aktiver Sicherheit unter gefahrlosen Bedingungen. Er ermöglicht auch die Mitwirkung des Fahrers bei der Beurteilung der Fahrzeughandling-Eigenschaften und bei der Einschätzung des "Gefühls" der Lenkung, Radaufhängung, Bremsen und Kraftübertragung einschließlich der Umgebung des Fahrers von den ersten Konstruktionsstadien des Fahrzeugs an.



Schiffssimulator



Schiffssimulator des maritimen Simulationszentrum Warnemünde (MSCW)



Brücke 1 des Schiffssimulators am maritimen Simulationszentrum Warnemünde

Interaktive Spielfilme

Mit Hilfe der Computergraphik ist es uns heute möglich, fotorealistische, hochauflösende virtuelle Sequenzen in Filme einzubringen, ohne dass sie bemerkt werden. Filme wie „The Matrix“ oder „Titanic“ machen uns dies deutlich und die Computeranimation wird auch in Zukunft weiter in den Produktionsprozess von Spielfilmen integriert werden. Missglückte Aufnahmen können heute schon in einem Prozess der Nachbearbeitung gerettet werden und teure Nachaufnahmen sind vermeidbar indem man eine Tageslichtaufnahme nachträglich in eine Nachtaufnahme verwandelt. George Lucas hat das Potential des Computers für die Filmproduktion schon früh erkannt. Mit dem Geld aus seinen ersten großen Film „StarWars“, baute er sich ein Studio und begann seine Idee zu realisieren.. LucasArts wurde seit dem zu einen Sammelbecken für die fähigsten Special-Effects-Spezialisten. Inzwischen finden sich darunter auch zahlreiche Fachleute für Computeranimation und eine Tochterfirma von LucasArts, die Industrial Lights and Magic Company, war verantwortlich für die Effekte zum Beispiel in „Hulk“. Das Engagement von LucasArts kommt nicht von ungefähr. Das Ziel ist es, interaktive Spielfilme mit Filmqualität für mehrere Spieler zu entwerfen. Um den Spielern ein spontanes Mitspielen zu ermöglichen, soll allerdings auf das vollständige Eintauchen mit dem Datenhelm verzichtet werden. Ein umständliches Anlegen der VR-Ausrüstung ist nach Adam Grosser, Geschäftsführer von RebelArts & Technology, einer weiteren Tochter von LucasArts, ungeeignet, um dem Spieler von VR zu begeistern. „Wer bezahlt

schon gerne die ersten Minuten um den Umgang mit der Technik zu lernen.“¹² Virtuelle Umgebungen werden nach Grosser vor allem für Spiele geeignet sein, bei denen die Reise bereits das Ziel ist. Nächstes Ziel der Entwickler ist es, virtuelle Schauspieler zu entwerfen und diese autonom agieren zu lassen. In einem Verfahren werden die typischen Bewegungsabläufe bekannter Schauspieler benutzt, um künstliche Darsteller zu kreieren. Dazu werden die Filme digitalisiert und die für die Bewegung charakteristischen Punkte, wie beispielsweise Gelenke, markiert. Diese Punkte werden dann auf ein Computermodell übertragen, welches anschließend eine dem Original-Darsteller entsprechende Bewegung ausführt. Für die Simulation intelligenten Verhaltens der künstlichen Darsteller und einer dramatischen Ablaufgestaltung in der Virtuellen Welt ist das sogenannte „Oz-Projekt“ der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh ein Vorreiter. Das Oz-Projekt beschäftigt sich mit virtuellem Theater. Dabei wird ein interaktives Drama entwickelt bei welchem der Zuschauer zu einem Teil der Handlung wird. Als Gegenpart und handlungstreibende Kraft dienen sogenannte Agenten. Diese Agenten sind virtuelle Schauspieler die von einem Steuerungsprogramm namens „Drama Master“ kontrolliert werden. Die Herausforderung für die Programmierer des Oz-Projektes besteht darin diese Agenten besonders glaubwürdig erscheinen zu lassen um die Täuschung für das Publikum aufrecht zu erhalten. Eines der großen Probleme dabei ist die emotionale Glaubwürdigkeit der virtuellen Schauspieler. Der Erfolg eines virtuellen Theaterstücks hängt unter anderem davon ab, ob die VR-Performance detailgetreu die Wirklichkeit nachstellen kann und ob sie es dem Zuschauer erlaubt, die Emotionen der künstlichen Schauspieler zu fühlen. Für die Entwickler des Oz-Projektes geht es also um die Erschaffung glaubwürdiger virtueller Figuren, die lebendig erscheinen und deren Handlungen sinnvoll sind. Joseph Bates, Professor der schönen Künste und Computerwissenschaften der Carnegie Mellon Universität, schreibt hierzu: „Anstatt von unseren Agenten zu verlangen, besonders aktiv und intelligent zu sein, erwarten wir nur, dass sie nicht offensichtlich dumm und unwirklich sind. Ein Agent, der sich zurückhaltend verhält, kann klug erscheinen, während ein Agent, der seine Möglichkeiten überschreitet, höchstwahrscheinlich jegliche Illusion zerstören wird.“¹³ Die Entwickler des Oz-Projektes kamen zu dem Schluss das es besser sei, die Figuren eher an Comic und Cartoon anzulehnen als menschliche Formen zu kreieren. „Eine glaubwürdige Figur ist eine, die lebendig erscheint, ... Das ist nicht dasselbe wie Realismus. Bugs Bunny ist eine glaubwürdige, aber keine realistische Figur.“¹⁴ Bei der Entwicklung virtueller Spielhandlungen werden sehr hohe Anforderungen an die Entwickler gestellt. Es stellt sich heraus, dass die Gestaltung virtueller und vor allem interaktiver Szenarien, im Vergleich zu wissenschaftlichen VR-Anwendungen, sehr viel aufwendiger, komplexer und vor allem nicht linear ist.

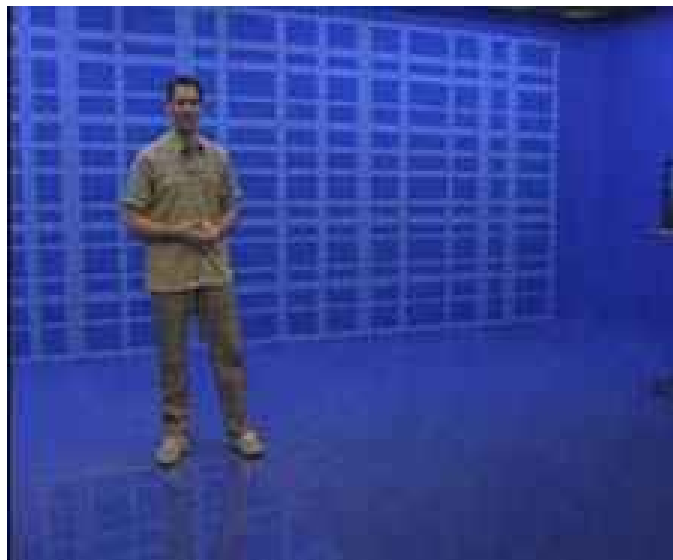
Blue-Box-Studios und Virtuellen Studios

Der Begriff „Blue- bzw. Green-Box-Studio“ bezeichnet eine sehr spezielle Form von Produktionsumgebung, zur Herstellung audiovisueller Beiträge. Er kann übersetzt werden als „scheinbare Wirklichkeit“, wobei das reale Szenenbild oder das reale Studio durch virtuelle Bestandteile ergänzt wird, die für den Zuschauer „scheinbar“ vorhanden sind.

Die meisten Nachrichtensendungen (Tagesschau, Tagesthemen, n-tv, Sat-1, RTL), aber auch andere Sendungen (Focus u.a.) sowie die Präsentation der Wetterkarte werden heutzutage in einem Blue-Box-, teilweise auch in einem Green-Box-Studio erstellt.

Blue-Box-Verfahren

In einem Blue-Box-Studio, d.h. in einem Studio in dem die überwiegende Zahl der Wände und auch der Fußboden in einem speziellen Blau gestrichen sind, oder die blaue Wand durch eine hinterleuchtete Opera-Folie mit blau eingefärbten Leuchtstofflampen erzeugt wird, werden reale Teile eines Szenenbildes, wie Kulissenteile oder Dekorationen durch computergenerierte Bilder, ersetzt. Die Kamerabilder mit dem/der Moderator/in bzw. Sprecher/in und eventuell vorhandene reale Gegenstände, können mit den im Rechner erzeugten Bildern mittels Stanztechnik zusammengefügt werden. Für den Zuschauer zu Hause am Bildschirm entsteht dabei ein einheitliches, scheinbar reales Bild.



Moderator im Blue-Box-Studio (Virtuelles Studio) des Fachbereiches Medientechnik, ohne Dekoelemente (Quelle: Grunert + König)

Typische Beispiele dafür sind die Tageschau, Tagesthemen oder andere Nachrichtensendungen, sowie die typische Wetterkarte mit einem/einer Moderator/in. Bei der herkömmlichen Blue-Box-Technik, d.h. statischen Technik, sind keine Kamerafahrten erlaubt. Würde die Kamera bewegt, d.h. vor allem geschwenkt werden, würden die perspektivischen Veränderungen zwischen Vordergrundobjekten (Moderator/in) und virtuellem Hintergrund nicht mehr übereinstimmen, die erwünschte Täuschung wäre so nicht realisierbar.



„On-Air-Bild“ für den Fernsehzuschauer (Quelle: Grunert + König)

Virtuelles Studio

Virtuelles Studio (VS) steht im weiteren Sinne für die Erzeugung künstlicher Szenen als Kombination realer Vordergrundobjekte (z.B. Moderator/in) mit nur scheinbare echten Hintergrundbildern, in der Art, dass die Kombination echt wirkt und die Täuschung nicht auffällt.

Der Bereich des Virtuellen Studios ist eine Weiterentwicklung der Blue-Box-Technik, in dem professionelle Studioteknik und Computergrafik zusammenwachsen und Kamerabewegungen (Schwenks theoretisch bis zu 360 Grad) möglich sind. In einem virtuellen Studio ist die charakteristische blaue Wand weiterhin ein wesentlicher Bestandteil, jedoch erweitert um die Möglichkeit, dass das Hintergrundbild eine dreidimensionale Kulisse sein kann, welche vom Computer, korrespondierend mit jeglicher Kamerabewegung, berechnet und dargestellt wird. Die künstliche Szene wird interessant, wenn sich die Kameraperspektive ändern kann oder ein Akteur im Vordergrund auf Veränderungen im Hintergrundbild reagiert – z. B. Wenn ein Auto in der Hintergrundszene auf den Akteur zufährt und er ausweicht. Beim virtuellen Studio werden belebtere Bilder durch die Änderungen der Kameraperspektive erzeugt. Dabei muss bei jeder Positionsveränderung die Perspektive des

Hintergrundbildes angepasst werden, damit die Illusion eines zusammengehörigen Bildes nicht zerstört wird.

Das virtuelle Studio beruht auf den üblichen videotechnischen Geräten. Diese werden schon seit längerem nicht nur zur Abbildung der realen Umwelt eingesetzt, sondern auch zur Erzeugung bestimmter Atmosphären und künstlicher Umgebungen. Bei vielen Videoproduktionen wird zudem mit Elementen wie Studiodekorationen, Rückprojektionen, Bildeinblendungen etc. gearbeitet, um das Bild interessanter, ansprechender oder informativer zu gestalten. Typische Beispiele sind Nachrichtensendungen und Wahl- und Sportberichterstattungen bei denen Fakten und Zahlen ansprechend präsentiert werden sollen. In einer Show bewegen sich Akteure in einer Studiodekoration, bei Nachrichtensendungen befindet sich ein Moderator oder die Nachrichtensprecherin vor einem festen Hintergrund, in dem Informationen eingeblendet werden. Das Hintergrundbild zeigt hier nicht die Dekoration, sondern kommt von einer Videoquelle (eingeblendet in der Regie von einer Band- oder Bildfestplatten-Quelle). Die Kombination von Vorder- und Hintergrundbild geschieht mit der Chroma Key-Technik. Die Person im Vordergrund befindet sich vor einer gleichmäßig ausgeleuchteten Wand, deren Farbe im Vordergrund nicht vorkommt (bei Hauttönen im Vordergrund meist Blau). Eine Key-Einheit ersetzt Flächen von dieser Farbe durch die externe Videoquelle.

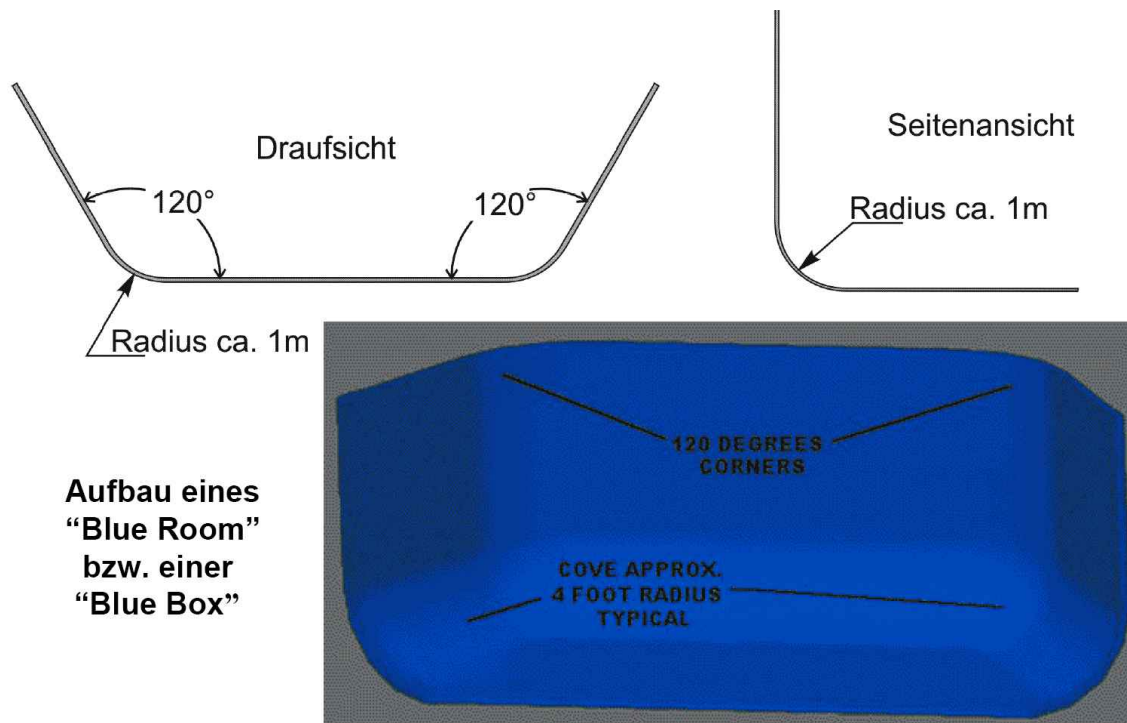
Virtuelle Studios machen Studiodekorationen fast gänzlich überflüssig und führen zu völlig neuartigen Präsentationsformen. Künstliche Hintergrund-Szenen werden komplett in Echtzeit (Realtime) in einem hochleistungs Grafikrechner erzeugt, in Abhängigkeit von der Kameraposition. Dieses Verfahren nennt man auch Online-Produktion. Die Sehgewohnheiten verändern sich, die Präsentationen können lockerer und dynamischer wirken, was z. B. Der Darstellung trockener Daten (Sportergebnisse) zugute kommen kann.

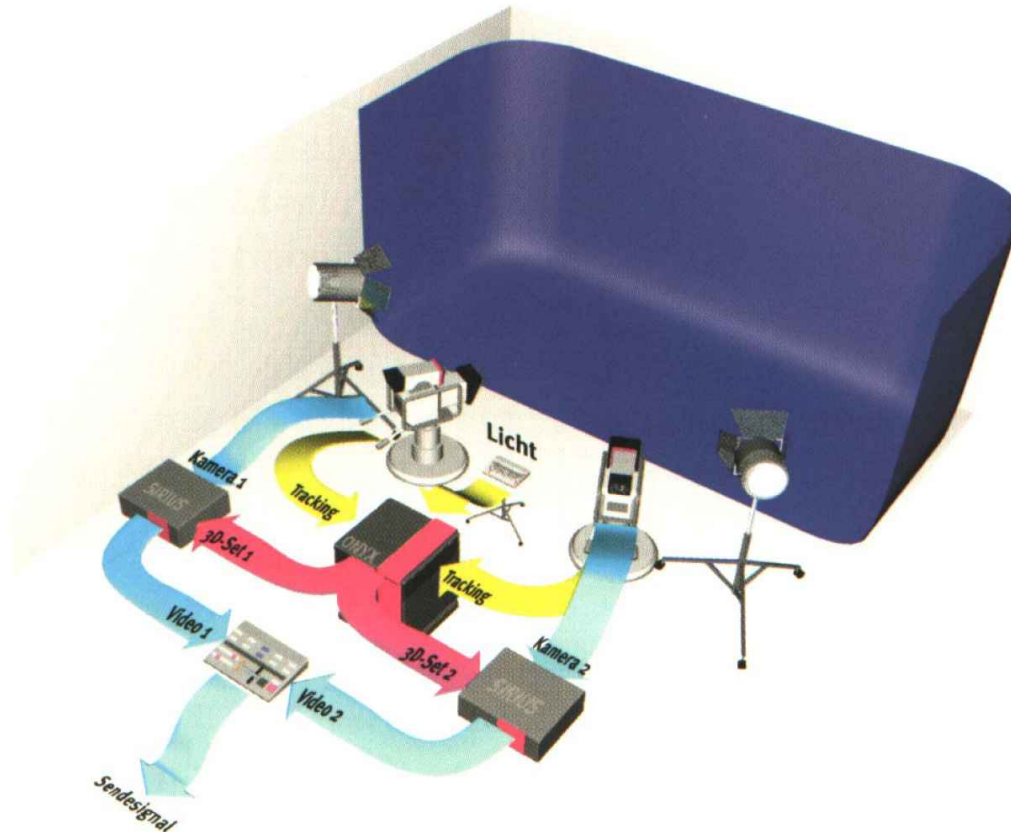
Das Studio

Der Kern des virtuellen Studios ist der Hochleistungsrechner mit einer speziellen Software zur Echtzeitberechnung der Hintergründe, die Besonderheiten der weiteren Ausstattungen beziehen sich vor allem auf die Verfahren zur Bestimmung der Kameraposition, die als „Tracking“ bezeichnet werden. Die Studiokamera ist meist wie üblich bedienbar, sie ist aber mit speziellen Sensoren ausgestattet, die die Positionsdaten für die Schwenk- und Neigungswinkel, Zoom- und Fokuseinstellung sowie die Kameraposition im Raum in Echtzeit erfassen und an den Grafikrechner weitergeben. Videotechnische Grundlage ist weiterhin das Chroma Key-Verfahren. Die Moderatoren können sich relativ frei in einem großen Raum bewegen, der einfarbig ausgekleidet und gleichmäßig ausgeleuchtet ist.

Das typische virtuelle Studio ist ein Raum der meist als Blue Box großflächig in Blau ausgekleidet ist und bei dem Ecken und Kanten durch Hohlkehlen möglichst

unsichtbar gemacht werden. Wenn diese Voraussetzung erfüllt ist, ergibt sich die Größenwirkung des virtuellen Raums nur aus dem Set-Design im Rechner. Die absolute Größe des Studios ist dann allein in Relation zur Bluesreen-Fläche, zu den Beleuchtungseinrichtungen und der Größe der Vordergrundobjekte relevant. Eine besondere, aber bisher kaum eingesetzte Blue Box-Variante verwendet hochreflektierende Materialien anstelle des Blue Screen. Das blaue Licht des Hintergrunds kommt von einem Kranz blauer Leuchtdioden, die um das Kameraobjektiv angebracht sind und das an dem Hintergrundmaterial reflektiert wird. Das Verfahren erlaubt eine flexiblere Ausleuchtung des Studios und ein einfacheres Keying in schwierigen Situationen. Das Problem der starken Winkelabhängigkeit derartiger Reflexionen wurde gelöst: die BBC ließ ein Material entwickeln, das auch bei einem Winkel von 60° zur Vertikalen mehr als 60% des Lichts reflektiert (siehe Grafik nächste Seite).



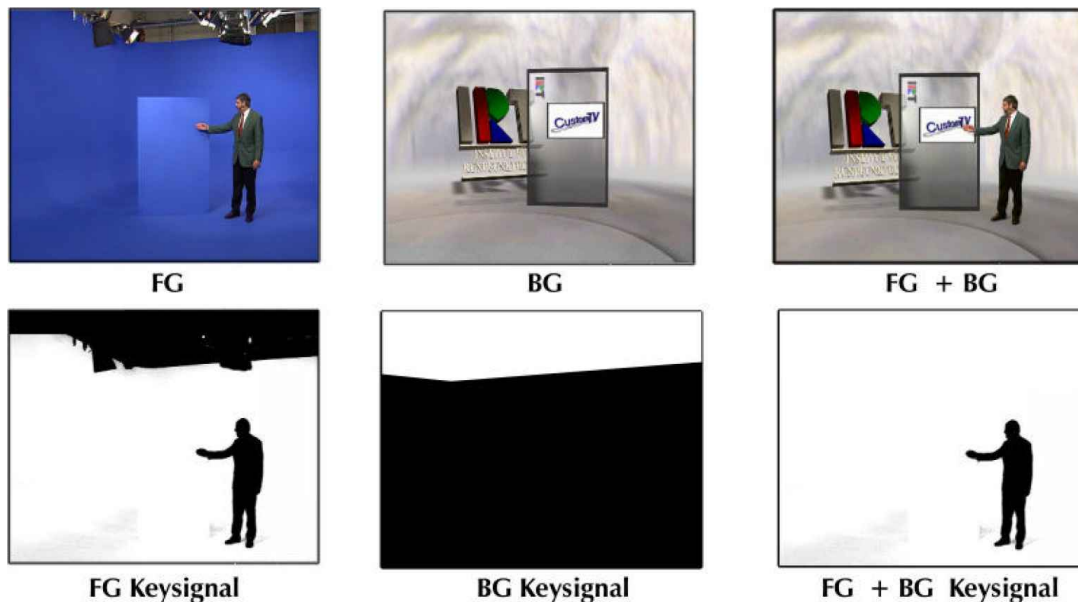


Chroma Key

Der videotechnische Trick des virtuellen Studios ist das Stanzverfahren. Um hohen Ansprüchen gerecht werden zu können, kommen oft Chromakeyer der Firma Ultimatte zum Einsatz. Beim Ultimatte-Verfahren werden Masken für den Vorder- und Hintergrund gebildet, die separat bearbeitet werden können und am Schluss kombiniert werden. Beim Chroma-Keying wird das Transparenzsignal aus den Farbsignalen gewonnen. In der Regel wird hierzu die Farbe Blau verwendet, die ungefähr komplementär zur menschlichen Hautfarbe ist. Wichtig ist bei dieser sehr häufig verwendeten sog. Blue-Room-Technik ist, daß die blaue Referenzfarbe nur im Hintergrund auftreten darf. Damit können Schatten und auch teiltransparente Objekte wie z.B. Glas in die Szene einbezogen werden. Mit diesem Verfahren können neben Transparenzen und Reflexionen viele weitere kritische Bildvorlagen verarbeitet werden, wie z.B. Rauch, Wasser, feine Haare etc. Moderne Ultimatte-Systeme arbeiten vollständig digital mit RGBA-Signalen und Abtastratenverhältnissen von 4:4:4:4, um eine maximale Farbaufösung zu erhalten. Das A steht in diesem Zusammenhang für den Alphakanal, in dem der Grad der Transparenz durchscheinender Objekte codiert wird. Neuerdings kann das System mit dem Automatic Background Defocusing auch dazu eingesetzt werden, realistischere Bilder durch Unschärfe zu erzeugen, wie sie bei geringer Schärfentiefe z. B. Im Hintergrund auftreten. So muss der Grafikkomputer mit

dieser Funktion nicht belastet werden. Hochwertige Chromakeyer sind einerseits erforderlich, um die Illusion eines Gesamtbildes möglichst perfekt erscheinen zu lassen, andererseits auch, um Schattenwürfe auf virtuelle Objekte zu realisieren. Schattenwürfe geben dem Bild nicht nur Tiefe, sondern steigern die Echtheit der Illusion und unterstreichen das Gefühl für den Zuschauer, dass es einen festen Bezug zwischen virtuellem Raum und einer agierenden Person gibt und sie nicht im Raum schwebt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Schattenwurf im Vordergrundbild nicht mit dem im virtuellen Set im Widerspruch steht.

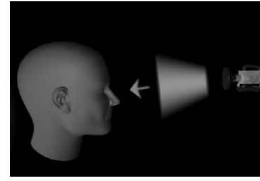
Chromakey-Prinzip (virtuelles Studio der IRT)



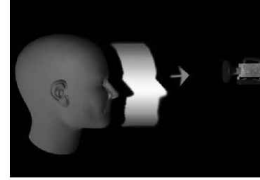
Die Chroma Key-Technik zur Unterscheidung von Vorder- und Hintergrundobjekten könnten zukünftig überflüssig werden, denn mit ZCAM wurde ein System entwickelt, das mit Hilfe einer pulsierenden Lichtquelle für jeden Bildpunkt nicht nur die RGB-Werte, sondern auch einen Tiefenwert (Z) in Echtzeit erfasst. Dafür werden eigene CCD-Sensoren eingesetzt, die über die Laufzeit der Lichtimpulse, die von den Objekten im Raum reflektiert werden, die Entfernung der Objekte von der Kamera bestimmt, so dass mit einem speziellen Rechner Vorder- und Hintergrund ohne Stanzvorgang separiert werden können (Grafik nächste Seite).

Zcam

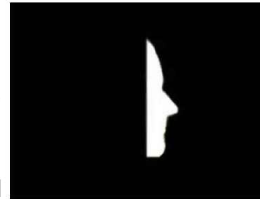
Die Szene wird durch einen IR-Laserimpuls mit steilen Flanken beleuchtet.



Dem reflektierten Licht ist das Profil der aufgenommenen Szene aufgeprägt.

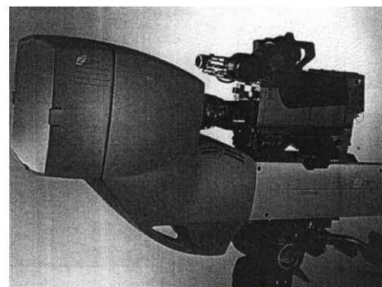


Durch einen synchron gesteuerten Ultra-Kurzzeit-Verschlussmechanismus kann aus der Belichtung die Tiefe ermittelt werden.



[7]

Verschiedene Baureihen der Zcam
(Unterschied: ca. zwei Jahre)



[8]

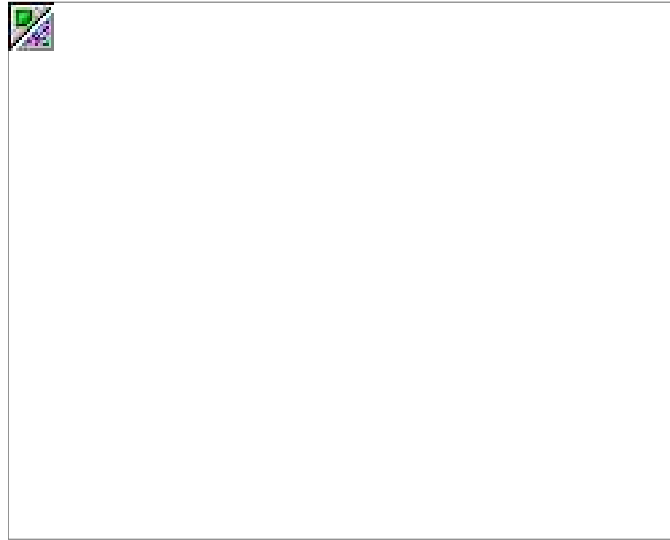


[7]

Extern Key

Gute Chromakeyer wie Ultimatte erlauben die Verarbeitung eines Extern Key-Signals, mit dem sich die Funktionalität des Virtuellen Studios erheblich erweitern lässt und der virtuelle Raum durch Tiefe besonders echt erscheint. Mit dem 3D-Programm des Grafikrechners werden dazu separate Objekte im Raum erzeugt, für die ein Extern Key Signal ausgegeben wird. Der Grafikrechner generiert dann nicht nur ein Backgroundsignal (Fill), sondern daneben ein sog. Matte Out-Signal welches dem Matte-In oder Extern Key-Eingang des Chromakeyers zugeführt wird. Auf diese Weise gelingt es auch Akteure auf der

Bühne scheinbar um virtuelle Objekte herumgehen zu lassen (siehe Grafiken unten).



Moderator vor dem virtuellen 3D-Objekt (Erdkugel)

Moderator hinter dem virtuellen 3D-Objekt (Erdkugel)

Ausleuchtung des virtuellen Studios

Beim Einsatz des Chroma Key-Verfahrens ist darauf zu achten, dass der Hintergrund möglichst gleichmäßig farbig erscheint, da so der Stanzvorgang erleichtert wird. Die Lichtgestaltung für die Ausleuchtung von Personen und Objekten muss dagegen zurücktreten, d.h. es muss ein Kompromiss zwischen technisch notwendigem und künstlerisch anspruchvollem Licht gefunden werden. Für den Hintergrund werden oft Flächenleuchten und Diffusoren verwendet, die Personen und Objekte werden mit üblichen Stufenlinsen-Scheinwerfern ausgeleuchtet. Um interessante Bilder zu erzielen, sollten sie eine Tiefe durch Schatten enthalten, jedoch sind Schattenwürfe auch bei hochqualitativen Keyern nicht unproblematisch.

Computer und Software

In den meisten Fällen sollen die Hintergrundbilder im virtuellen Studio nicht als 2D-Grafiken, sondern auf Basis von 3-dimensionalen Modellen ermittelt werden. Es werden 50 Vollbilder pro Sekunde (fps) mit 720 H x 576 V Pixeln berechnet, denn bei 50 Halbbildern würde die Bildqualität aufgrund des erforderlichen starken Antialiasing (Kantenglättung von im Computer generierten Grafiken) erheblich leiden. Damit die 50 fps in Echtzeit erzeugt werden, sind hochleistungsfähige Rechner erforderlich die gegenwärtig meist von der Firma Silicon Graphics stammen und mit dem Unix-Derivat Irix als Betriebssystem arbeiten. Als Grafikbeschleuniger kommt die Reality Engine 2 zum Einsatz. Dieser Rechner ist mit einem Geometrie Engine Board versehen, das die Polygone des 3D-Drahtgittermodells, welches den virtuellen Objekten zugrunde liegt, in leichter handbare Dreiecke zerlegt. Das Rastermanagerboard teilt den einzelnen Bildpunkten die RGBA-

Werte zu (Rendering) und bietet Texture Mapping und Antialiasing, während der Display Manager verschiedene Bildformate und -auflösungen verwaltet. Einem Videoboard im Grafikrechner können ein oder mehrere Videosignale zugeführt werden, die in das virtuelle Set integriert werden, so dass z. B. In ein Fenster im virtuellen Set ein Gesprächspartner für die reale Person im Set eingeblendet werden kann. Die Software für das virtuelle Studio nutzt die Daten des Kamera-tracking, um in Echtzeit perspektivisch angepasste Bilder der virtuellen Welt zu berechnen. Dabei stellen die meisten Programme Werkzeuge für die Erstellung der virtuellen Welt direkt zur Verfügung. Bekannte Softwarepakete sind Everest von Peak-Systems, Vapour, Frost von Discreet Logic, Cyberset (ORAD), sowie RT-SET (Larus, Otus) und ELSET (Accom).

Software Everest von Peak-Systems für das virtuelle Studio

Kamera und Objektiv

Im virtuellen Studio werden die üblichen Studiokameras eingesetzt. Sie können aus konventionellen Studios übernommen werden. Üblicherweise sind sie mit Zoomobjektiven ausgestattet und Zoomfahrten werden auch bei der Produktion eingesetzt. Diesbezüglich ergibt sich das Problem, dass kein linearer Zusammenhang zwischen der mechanischen Einstellung am Objektiv und dem resultierenden Öffnungswinkel besteht. Das Objektiv muss daher einmalig exakt vermessen und der nichtlineare Zusammenhang muss bei der Berechnung des Bildes der virtuellen Kamera berücksichtigt werden. Dazu gibt es besondere Kalibrierungssysteme für das optische System, welche meist auf einer Bilderkennungssoftware beruhen. Dabei werden bekannte Muster in allen Zoom- und Fokusstellungen analysiert und die Kalibrierungsparameter in einer Datenbank abgelegt, wobei auch Objektiv-Verzeichnungen korrigiert werden. Ein zweites Problem ist der Knotenpunktversatz, der sog. Nodal Point Shift. Gerade bei Zoomobjektiven kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Knotenpunkt für die Dreh- und Neige-Bewegung (Pan und Tilt) mit einem festen Punkt des Objektivs zusammenfällt. Um eine Veränderung der Perspektive bei Drehbewegungen zu vermeiden, muss aber der Knotenpunkt auf der objektseitigen Hauptebene des Objektivs liegen. Die Lage der Hauptebene verändert sich jedoch bei der Zoomfahrt und dem entsprechend muss der Versatz rechnerisch für die virtuelle Kamera berücksichtigt werden. Falls die Software nicht in der Lage ist, den Nodal Point Shift auszugleichen, kann er auch in die Kalibrierungsdaten eingerechnet werden.

Kameratracking

Kritischer Punkt im virtuellen Studio und damit Ansatz für die meisten Weiterentwicklungen ist neben der Rechenleistung die Erfassung der veränderlichen Kameraperspektive. Diese Erfassung muss sehr genau sein,

damit die in der Software etablierte virtuelle Kamera exakt der realen Kamera folgen kann und das virtuelle Set immer als Einheit erscheint. Andernfalls scheinen Objekte oder Personen bei einer Kamerabewegung im virtuellen Raum zu schweben oder befinden sich nach einer Kamerafahrt und zurück an einem anderen Ort als vor dem Start. auch in zeitlichen Dimensionen unterscheidet sich reale und virtuelle Räume, denn es dauert in der Regel einige Zeit, bis die Trackingdaten bestimmt und dann das entsprechende Hintergrundbild berechnet ist. Das Problem wird gelöst, indem durch eine Hardwareeinheit auch das Vordergrundsignal verzögert wird. Dieses Delay darf die Dauer einiger Frames (meist Werte zwischen 2 und 8 Frames) jedoch nicht überschreiten, da sonst die Produktion zu sehr erschwert wird.

Trackingsysteme sind in den meisten Fällen so konstruiert, dass die üblichen Studiokameras verwendet werden können. Die Perspektive der realen Kamera ist durch verschiedene Freiheitsgrade bestimmt. Sie kann in die inneren Parameter Zoom, Focus und Blende und die äußeren Parameter der ortsfesten Kamera Schwenk-, Neige- und Rollwinkel (Pan, Tilt und Roll) aufgeteilt werden. Hinzu kommen die drei Raumkoordinaten der beweglichen Kamera. Nicht alle Freiheitsgrade werden von den verschiedenen Trackingsystemen erfasst. Die Positionserkennung und Verfolgung der Kameraparameter ist ein Problem, das in ähnlicher Form in vielen technischen Bereichen auftritt und sich meist auf Winkel- und Längenmessung zurückführen lässt. Kameraspezifisch sind lediglich die inneren Parameter wie Zoom und Fokus. Es gibt bereits viele Lösungsansätze zur Lage- und Orientierungsbestimmung, denn ähnliche Probleme gibt es auch im Bereich der virtuellen Realität, bei der Entwicklung mobiler Roboter oder in der Regelungstechnik und bei der Werkkontrolle. Allgemein lassen sich berührungslose Entfernung- und Richtungsmessung mittels Ultraschall oder elektromagnetischer Wellen von Weg- und Winkelmessung durch mechanische Verbindung oder Trägheitssysteme unterscheiden. Als dritter Bereich kommen bildbasierende, videometrische Verfahren hinzu, die die Lage von Referenzpunkten an Objekten auswerten. Die Ansätze, die auf akustischen, magnetischen oder elektrischen Feldern beruhen, scheiden aus Gründen mangelnder Genauigkeit oder fehlender Praktikabilität aus. Für den Einsatz im virtuellen Studio haben sich sensorgestützte Systeme und optische Systeme etabliert sowie so genannte Hybridsysteme, bei denen die Vorteile beider Verfahren kombiniert werden.

Die erforderliche Genauigkeit der Positionierung ergibt sich aus dem Bildeindruck. In Abhängigkeit vom Bildinhalt können Abweichungen zwischen realer und virtueller Perspektive mehr oder weniger auffallen. Als strenger Richtwert kann gelten, dass Verschiebungen von maximal 1 Pixel erlaubt sind. Die daraus resultierende Winkelgenauigkeit hängt vom Blickwinkel und damit von der Zoomstellung ab. Für eine Horizontalauflösung von 720 Pixeln heißt das bei einer Abbildung mit 40° Öffnungswinkel, dass eine Genauigkeit von $0,05^\circ$ erforderlich ist. Wird die Forderung von $1/720$ auch für die seitliche lineare Verschiebung erhoben, so ergibt sich bei einer Bildbreite von 3m eine maximale Abweichung von ca. 4 mm. Grob lässt sich sagen, dass für Standardproduktio-

nen mit Videoauflösung und Personen im virtuellen Studio eine Ortsgenauigkeit besser als 0,5 mm und eine Winkelgenauigkeit von weniger als 1/10 Grad gefordert werden muss. Generell ist die Winkelgenauigkeit kritischer als die Translationsgenauigkeit. Neben der absoluten Abweichung kann auch das Rauschen zum Problem werden, das den Trackingdaten überlagert sein kann. Bei nicht ausreichender Glättung kann dies im Extremfall zu einem instabilen, ständig schwankenden Bildeindruck führen.

Schienengestütztes Kameratracking infrarotgestütztes Kameratracking

Sensorgestützte Systeme

Als Sensoren zur Bewegungserfassung kommen verschiedene Varianten in Frage, sie können induktiv, kapazitiv, magnetisch (Hallsensor) oder optisch arbeiten. Seit Beginn der Entwicklung wird die Bewegungserfassung mittels mechanischer Bewegung von Winkelcodierern verwendet, die meist optisch arbeiten. Diese Methode ist etabliert und bietet im Vergleich mit anderen eine hohe Betriebssicherheit, so dass sie mehr als 90% aller Live-Produktionen im virtuellen Studio eingesetzt wird.

Die sensorgestützten Systeme können in aktive und passive Typen unterschieden werden. Bei den aktiven Systemen werden die beweglichen Elemente mit Motoren getrieben. Der Antrieb muss sehr exakt sein, die Antriebsimpulse werden zum Motor und auch zum Rechner geschickt und liegen dort vor, bevor die Bewegung ausgeführt wird. Damit kann die Berechnung des Hintergrundbildes sehr schnell beginnen, so dass eine Verzögerung des Vordergrundbildes, die bei anderen Verfahren unumgänglich ist, hier ggf. vermieden werden kann. Ein Beispiel für ein aktives System ist der Ultimatte Memory Head, der ursprünglich für die Reproduktion von Kamerafahrten zur Realisierung von Filmtricks konzipiert wurde. Das System ist aber nicht mit schweren Kameras belastbar und die Steuerung ist für die Kameraleute gewöhnungsbedürftig. Daher wird es kaum noch verwendet - ebenso wie andere Roboterstative (z.B. Radamec), die fast nur dort eingesetzt werden, wo sie aus anderen Gründen bereits vorhanden sind.

Bei den passiven mechanischen Sensorsystemen ermittelt ein mechanisches Zahn- oder Reibrad den Wegunterschied zwischen festen und beweglichen Supportelementen sowie die Drehung der Zoom- und Fokusringe am Objektiv. Dabei werden lineare Bewegungen in Drehbewegungen umgesetzt, so dass für alle Parameter Winkelcodierer zum Einsatz kommen können. Bei jeder Bewegung werden an der Drehachsen Impulse erzeugt, die Winkel ergeben sich

aus der Impulszählung. Bei ortsfesten Kameras wird meist mit 4-Achsen-Systemen (Zoom, Focus, Pan, Tilt) gearbeitet. Bewegliche Kameras sind an eine Schiene gebunden, hier werden zusätzlich Stativhub und Schienenstrecke erfasst.

Häufig werden optische Impulse gezählt. Optische Winkelcodierer bestehen aus einer lichtdurchlässigen Scheibe mit einem Muster, welches kontinuierlich einfallendes Licht rhythmisch unterbricht. Man unterscheidet dabei absolute und inkrementelle Arbeitsweise. Die einfache inkrementelle Systeme haben gleichmäßig aufgebrauchte Streifen, und die Rotationsgeschwindigkeit folgt direkt aus der Frequenz der Lichtimpulse am Detektor. Zur Feststellung der Rotationsrichtung werden zwei Sensoren verwendet, die um eine halben Streifenbreite gegeneinander versetzt sind. Die Drehrichtung lässt sich durch Vergleich mit der Referenz daran feststellen, welcher Kanal bei einer gegebenen Position als nächstes den Zustand wechselt. Bei der absoluten Codierung werden auf der Scheibe mehrere konzentrische Segmente in der Art aufgebracht, dass sich für jede Position eine eindeutige Impulskombination bzw. ein eindeutiges Bitmuster, z.B. nach dem Cray-Coder ergibt. Da für hohe Auflösungen eine Vielzahl von Ringen verwendet werden muss, werden die absoluten Codierer recht groß und haben geringe Toleranz gegenüber Erschütterungen, so dass bei dem in der Praxis am häufigsten eingesetzte Thoma-Verfahren mit inkrementellen Gebern gearbeitet wird.

Beim Thoma-System wird die Studiokamera auf ein gewöhnliches Stativ montiert und an den Drehachsen werden die Impulsgeber angebracht. Die Übertragung an der Schiene arbeitet per Reibrad, mit Lichtschranken- oder Magnetimpulsen. Die addierten oder subtrahierten Impulse werden einem separaten Tracking PC zugeführt, wo sie in serielle, 33 Byte umfassende Datenblöcke umgerechnet und dann über serielle Schnittstellen (RS 485) dem Grafikrechner übergeben werden. Die beschriebenen Inkrementalgeber liefern dabei relative Werte, was eine aufwändige Kalibrierung des Systems erfordert, bei dem ein frei definierter Bezugspunkt (Home-Point) im realen Raum mit dem Bezugspunkt im virtuellen Raum in festen Bezug gebracht wird. Die Kalibrierung ist entscheidend für die Übereinstimmung von Vorder- und Hintergrund und muss vor und teilweise auch während der Produktion erneut durchgeführt werden. Die ermittelten Verläufe können in lineare und nichtlineare unterschieden werden. Letztere müssen eigens vernessen werden.

Der Nachteil sensorbasierter Systeme ist die nicht frei bewegliche Kamera und die fehlende feste Verkopplung zwischen realem und virtuellem Bild, mit der Gefahr, dass diese nach längerer Betriebszeit auseinanderlaufen. Sensorbasierte Systeme sind alltagstauglich, aber aufgrund der Stativbindung sperrig und unflexibel. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wird mit bildbasierten Systemen versucht, Positionsdaten aus der Bildveränderung aufgrund der Änderung der Perspektive zu ermitteln.

absolute Winkelcodierung

inkrementelle Winkelcodierung

Bildbasierte Trackingsysteme

Die Änderung der Kameraperspektive ist mit einer Änderung des Bildinhalts verbunden. So rücken z.B. Linien im Bild näher zusammen, wenn