

Virtual Reality -Vom Guckkasten zu virtuellen Umgebungen

Thomas Jung

Einleitung

Es existieren zahlreiche Definitionen des Begriffs „Virtual Reality“. Eine weithin akzeptierte Definition erklärt Virtual Reality als „eine mittels Computer simulierte Wirklichkeit oder künstliche Welt, in die man sich mithilfe der entsprechenden technischen Ausrüstung scheinbar hineinversetzen kann.“ [Mey97]

Wenn man die historischen Wurzeln beleuchten will, sind somit drei unterschiedliche Bereiche von Interesse: Bilderwelten, in die ein Betrachter eintauchen kann; Computertechnik zur Erzeugung von interaktiven 3D-Welten und die technische Ausrüstung, die es dem Betrachter ermöglicht, mit der simulierten Wirklichkeit zu interagieren.

Bilderwelten

Das Eintauchen in computergenerierte 3D-Welten übt auf viele Menschen einen großen Reiz aus. Doch schon lange bevor es Computer gab, haben Menschen sich von Bilderwelten faszinieren lassen.

Guckkästen

Bereits im 15. Jahrhundert waren in Italien sogenannte Perspektivkästen bekannt, die die Betrachtung von Bildern durch ein Gucklock ermöglichten. Von Hoogstraaten und Fabricius belebten diese Modeerscheinung noch einmal um die Mitte des 17. Jahrhunderts. Zu dieser Zeit war die Nutzung des Guckkasten¹ aber noch einer elitären Minderheit vorbehalten [Rob95].

Im 18. Jahrhundert begann mit der Ausdehnung des Britischen Empires das Interesse an fremden Ländern und Kulturen zu wachsen². Reisende Schausteller führten auf Jahrmärkten Bilder von fernen Landschaften vor, die mit Hilfe der Camera Obscura erstellt wurden. Die meisten ihrer Zuschauer hatten die dörfliche Umgebung noch nie verlassen und oft auch nur wenige Bilder gesehen.

Die Anzeigergeräte glichen optischen Verzerrungen, die durch die Linse der Camera obscura entstanden waren, oft durch eine entsprechende optische Konstruktion wieder aus. Wie bei heutigen VR-Helmen wurde ein „Eintauchen“ in die betrachtete Welt erreicht, indem die reale Welt außerhalb des Guckkastens praktisch ausgeblendet wurde.



Abbildung 1: (a) Guckkasten für Engelbrechtsche Kulissenstaffagen, ca. 1750 (b) Zograskop, Groß Britanien, um 1900 (c) Laterna Magica, Paris, um 1860 (d) Laternenshow, spätes 19. Jh.

Um 1720 entwickelte Martin Engelbrecht in Augsburg, dem damaligen Zentrum des Druckgewerbes in Deutschland, basierend auf einem Guckkasten ein sogenanntes Perspektivtheater, das die Betrachtung von bis zu sieben hintereinanderliegende Schichten einer Szenerie erlaubte. Die einzelnen Schichten

¹Die englische Bezeichnung für Guckkasten ist Peep show

²In der bildenden Kunst wird diese Strömung als Exotismus bezeichnet.

oder Kulissen nahmen von vorne nach hinten immer mehr Bildanteile ein (siehe Abbildung 1a). Einige Jahre später wurde das Zograskop (Abbildung 1b) entwickelt, das die Betrachtung von Guckkastenbildern ermöglichte, „ohne durch ein Loch sehen zu müssen“³. Durch die minimale Ausstattung (Linse zur optischen Entzerrung, Spiegel zur korrekten Wiedergabe der spiegelverkehrt abgebildeten Objekte) wurde die Außenwelt jedoch nicht mehr abgeschirmt.

Seit Beginn des 19. Jahrhunderts wurden sogenannte Faltperspektiven erstellt. Mehrere Kulissenschichten konnten für die Betrachtung (ähnlich wie bei einer Ziehharmonika) auseinander gezogen werden. Die Verwendung eines Guckkastens wurde überflüssig. Einige Faltperspektiven ließen sogar die horizontale Verschiebung von Kulissenteilen zu.

Laterna Magica

Die Laterna Magica ist die Urform des modernen Diaprojektors. Es ist umstritten, wer sie erfunden hat. Die Projektion von Bildern mittels Licht war schon im 15. Jahrhundert bekannt [Nek98a], eine erste gezeichnete Skizze soll um 1420 von Johannes de Fontana gefertigt worden sein. Die erste gedruckte Darstellung wird gemeinhin Athanasius Kircher zugeschrieben, der von 1601 bis 1680 lebte. Die angegebene Quelle „Ars Magna Lucis et Umbrae“⁴ [Kir45] ist jedoch ebenfalls umstritten.

Die Laterna Magica wurde zunächst zur Projektion von transparenten mit Bildern bemalten Glasplatten benutzt. Tragbare Versionen, in denen das Licht mit Hilfe einer eingebauten Kerze erzeugt wurde, wurden seit ca. 1740 gebaut und neben dem Guckkasten von reisenden Schaustellern für Vorführungen genutzt. Einige Laternen (z. B. die von Pieter van Musschenbroek, um 1740) unterstützten durch Dreh- und Schiebemechanismen sogar manuell veränderbare Projektionen. Ab 1762 konnten auch nicht transparente Bilder oder dreidimensionale Objekte mit Hilfe der Laterna Magica auf Leinwände projiziert werden (Abbildung 1d) [Nek98b].

Panoramabilder

Ab Mitte des 18. Jahrhunderts wurden Panoramadarstellungen von bedeutenden Ereignissen populär. Streifenpanoramen ermöglichen entweder die Bewegung eines Betrachter am Panorama oder die Bewegung eines Panoramas mittels Rollenmechanismen am Betrachter entlang, so daß der Eindruck des Blicks aus einem Kutschen- oder Zugfenster entsteht (siehe Abbildung 2b).

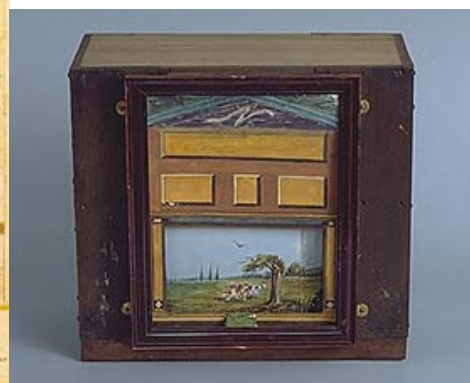
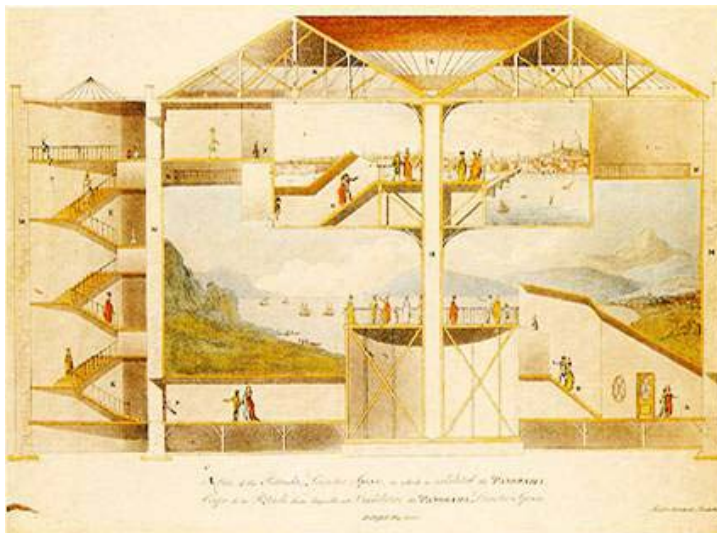


Abbildung 2: (a) Robert Barkers Panorama, Leicester Square, London, 1789
(b) Panoramatheater, ca. 30 cm. breit, Frankreich, spätes 19. Jh.

Rundpanoramen ermöglichen hingegen die Betrachtung der abgebildeten Umgebung von einem bestimmten Standpunkt aus. 1787 erhielt Robert Barker ein Patent auf eine Bildmaschine, das die drei Elemente Rundumbild, Ausstellungsgebäude und Beleuchtungsanordnung gleichermaßen schützte. Elf

³Dem Guckkasten haftete eine gewisse Verruchtheit an[Rob95], wie fast alle visuellen Medien wurde er teilweise auch zur Präsentation erotischer Motive genutzt

⁴Die große Licht- und Schattenkunst

Jahre später errichtete Barker am Londoner Leicester Square (siehe Abbildung 2a) eine Ausstellungsrotunde, in der 50 Jahre lang jedes Jahr ein neues ca. 900 qm großes Rundbild (meist Darstellungen berühmter Schlachten, bedeutender Städte oder interessanter Landschaften) ausgestellt wurde. Die Rundbilder wurden oft zwischen Ausstellungsrotunde in unterschiedlichen Städten ausgetauscht. Aufgrund des großen Erfolgs dieser Ausstellungen entstand der Wunsch kleinere Panoramen (Cosmorama, Zimmerpanorama) als Andenken mit nach Hause nehmen zu können [Lös97]. Während Gemälde bis dahin für einzelne Auftraggeber oder Kunden produziert wurden, waren die Panoramen für einen großen Zuschauerkreis zugänglich und können somit als das erste visuelle Massenmedium⁵ betrachtet werden[Oet95]. Bis Mitte des 19. Jahrhunderts erfreuten sich Panoramaausstellungen in ganz Europa großer Beliebtheit. Nachdem das Medium zwischenzeitlich an Bedeutung verlor, erlebte es im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts noch einmal eine Renaissance, bevor es endgültig, unter anderem vom Kino, verdrängt wurde[Oet95].

Fotografie

Die Erfindung der Fotografie wird in der Regel auf das Jahr 1839 datiert. Sie ist das Ergebnis der Integration zahlreicher wissenschaftlicher Erkenntnisse. Sie bildet außerdem die Basis für die Entwicklung der Stereoskopie und von Animationen.

Um 1800 begann Thomas Wedgwood mit der Belichtung von mit Silbernitrat befeuchtetem weißem Leder oder Papier. Seine so genannten „Sonnendrucke“ waren jedoch flüchtig und konnten somit nur bei Kerzenlicht betrachtet werden. Nicéphore Niépce gelang es circa 1827 eine mit einem Asphaltüberzug versehene Zinnplatte in der Camera obscura zu belichten und anschließend zu fixieren. Daguerre konnte die Qualität der ersten Positiv-Fotographien durch die Verwendung Jod-beschichteter Silberplatten 1837 wesentlich verbessern. Die Belichtungszeit seiner „Daguerreotypen“ reduzierte sich auf wenige Minuten.

Die heutige Fotografie basiert auf der Kalotypie. Dieses von Talbot 1840 entwickelte Verfahren nutzt Papier als Bildträger⁶, das mit Silbernitrat, Essig- und Gallussäure präpariert ist. Da es einerseits ähnliche Bildqualitäten und Belichtungszeiten wie die Daguerreotypie und andererseits die Vervielfältigung über Negative ermöglichte, setzte es sich gegenüber den anderen Verfahren durch.

Dreidimensionale Bilder

Unter stereoskopischem Sehen wird die menschliche Fähigkeit verstanden, aufgrund der Unterschiede (Querdisparation), die beide Augen wahrnehmen, Tiefen und Formen zu erkennen.

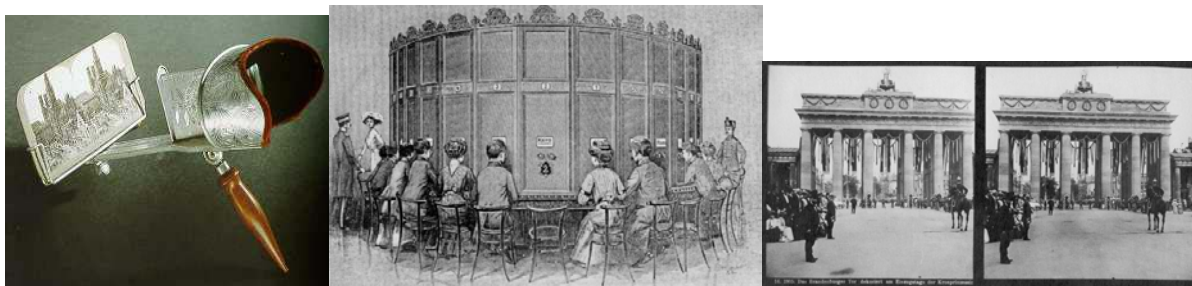


Abbildung 3: (a) Amerikanisches Handstereoskop, ca. 1905, Museum für Verkehr und Technik, Berlin (b) Kaiserpanorama zur Betrachtung kolorierter Glasstereobilder, handkoloriert (c) Hintermaltes Glasstereobild für Kaiserpanorama, ca. 1900

Erste theoretische Überlegungen zu stereoskopischen Sehen werden schon Leonardo da Vinci zugeschrieben. Charles Wheatstone begründete 1838 mit seiner ersten Abhandlung über körperliches Sehen die Stereoskopie und entwickelte im Anschluss einen ersten Apparat zur stereoskopischen Betrachtung von Bildern (ähnlicher Apparat in Abb. 3a). In seiner zweiten Abhandlung um 1852 erwähnte er die Vorteile der Fotografie für seine stereoskopischen Untersuchungen. In Deutschland

⁵ Präsentationen mit dem Guckkasten oder der Laterna Magica waren nur für einen kleinen Zuschauerkreis geeignet. Seit dem 17. Jahrhundert gibt es zwar bereits Tageszeitungen, diese waren der „breiten Masse“ aber nicht zugänglich. Dies änderte sich erst im 19. Jahrhundert.

⁶ Auch Hippolyte Bayard entwickelte ungefähr zur gleichen Zeit ein Positiv-Verfahren zur Photographie auf Papier, sein Verfahren fand aber wenig Anerkennung

sollen erste Stereo-Daguerrotypien 1842 von Ludwig Moser angefertigt worden sein [Sen89], Stereofotographien (wie z. B. in Abbildung 3c) wurden seit Mitte des 19. Jahrhunderts erstellt. Das Anaglyphen-Verfahren zur Quellentrennung durch zwei unabhängige Farbkanäle (z.B. rot und grün), 1853 von W. Rollmann in Leipzig entwickelt, ermöglicht schließlich die Stereoprojektion auf Leinwände.

Animation

Unter Animation wird gemeinhin die Erstellung von Bildserien verstanden, die bei hinreichend schneller Betrachtung den Eindruck von kontinuierlicher Bewegung hervorrufen. Animation ist auch die Voraussetzung für interaktive 3D-Anwendungen.



Abbildung 4: (a) Phänakistiskop-Scheibe, (b) Zoetrop im Museum of Moving Images, London, (c) Praxinoskop, England, spätes 19. Jh.

Der Bewegungseindruck entsteht durch die Trägheit des menschlichen Auges. Nachdem Peter Mark Roget 1924 diesen Umstand erkannte, wurden zahlreiche optische Spielzeuge entwickelt.

Die Bewegung des Bildträgers zwischen zwei Bewegungsphasen stört den Bewegungseindruck, wenn das Bild zwischen den Phasen nicht abgedunkelt wird. Das von Joseph Plateau 1833 entwickelte Phänakistiskop⁷ (siehe Abbildung 4a) war das erste Gerät⁸, das dieser Überlegung Rechnung trug. Da Löcher und Bildphasen in gleichen Abständen auf einer Scheibe angeordnet waren, wurden bei geeigneter Betrachtung der Rückseite der rotierenden Scheibe durch Schlitze über einen Spiegel die Zwischenphasen ausgeblendet.

Beim Zoetrop⁹, das 1867 patentiert wurde, sind die Bilder gegenüber den Schlitzen in einem Zylinder angeordnet, so dass die Betrachtung über einen Spiegel entfällt (Abbildung 4b). Im Praxinoskop ist der Spiegel hingegen integriert (Abbildung 4c).

Die so genannte Nebelbildlaterne erlaubt seit circa 1840 durch die Kombination zweier Laterna Magicas zwei Bilder allmählich ineinander zu überblenden. Franz von Uchatius kombinierte um 1850 ein Phänakistiskop mit einer Laterna Magica, so dass nun auch bewegte Bilder projiziert werden konnten. Die Fotografie bewegter Objekte galt zunächst als schwierig. Eadweard Muybridge gelang es durch einen speziellen Kameraverschlussmechanismus 1877 die Belichtungszeit so stark zu reduzieren, dass er scharfe Aufnahmen eines galoppierenden Pferds machen konnte. Mittels nebeneinander aufgebauter Kameras, die in kurzen Abständen ausgelöst wurden, gelang es ihm zwölf Bewegungsphasen aufzunehmen, die sich in einem Zoetrop betrachten ließen.

O. Anschütz erfand 1887 den so genannten elektrischen Schnellseher, ein Gerät bei dem kranz- oder scheibenförmig angeordnete Bilder durch Lichtblitze einer Geißler-Röhre beleuchtet werden.

Nachdem 1882 C.-E. Reynaud ein Gelantineband mit noch gezeichneten Bildern mit seinem verbesserten „Projektionspraxinoskop“ vorführen konnte, führte Thomas Alva Edison bereits 1893 das heute noch gebräuchliche perforierte 35mm-Filmformat ein.

⁷Lebensrad

⁸Das von John Ayrton Paris 1826 entwickelte Thraumatrop ermöglichte das Verschmelzen von zwei verschiedenen Bildern, die auf Vor- und Rückseite einer rotierenden Scheibe abgebildet wurde, ein Bewegungseindruck sollte nicht erreicht werden.

⁹Stroboskopzylinder, Wundertrommel

Kino

Um 1895 bauten die Brüder Lumière den so genannten Cinematographen, der mit ausreichend hoher Bildfrequenz Bildstillstand bei Aufnahme- und Wiedergabe sowie abgedunkelten Filmtransport ermöglichte. Nachdem Filme zunächst vorrangig auf Jahrmärkten gezeigt wurden, setzten sich ab ca. 1905 ständige Film-Vorführäume durch.

Seit der Jahrhundertwende wurden Zeichentrickfilme entwickelt, 1908 schuf Émile Cohl die abstrakte Animation „Fantasmagorie“. Die Zellophantechnik, bei der mehrere Ebenen übereinander gelegt wurden, wurde von Earl Hunt 1915 erfunden. Viele weitere technische Fortschritte wurden seit 1920 von Walt Disney entwickelt, der die Trickfilmtechnik schließlich bis zur Kinoreife weiterentwickelte.

1921 wurde mit „Teleview“ auch der erste Stereofilm mit Hilfe des Anaglyphen-Verfahrens gezeigt. Die Idee des Tonfilms wurde schon 1903 von Messter beschrieben, die ersten Aufführungen fanden jedoch erst 1927 (z. B. „The Jazz Singer“ von A. Crossland) statt. Filme wurden schon seit der Anfangszeit des Films handkoloriert, gedruckte Farbfilme ermöglichte das Technicolor-Verfahren ab 1930. Verfahren zur Produktion von Dreischichten-Farbfilmen wurden 1935 von Kodak und 1936 von Agfa entwickelt.

Interaktive Bilderzeugung

Die grundlegenden Fortschritte bei der Entwicklung von Computertechnologien wurden aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten häufig in Projekten erreicht, die staatlich finanziert wurden. Die Entwicklung interaktiver computergrafischer Systeme ist zunächst eng mit der Entwicklung von Flugsimulatortechnik für den militärischen Bereich verwoben.

Flugsimulatoren

Seit Beginn der Flugzeugentwicklung gab es Bestrebungen, Teile des Flugzeugs zu simulieren. Erste Flugsimulatoren modellierten jedoch nur physikalische Aspekte. Piloten konnten in Trainingsumgebungen Geräte wie z. B. Höhenmesser ablesen, die zunächst durch Operateure während des Trainings manuell gesteuert wurden.

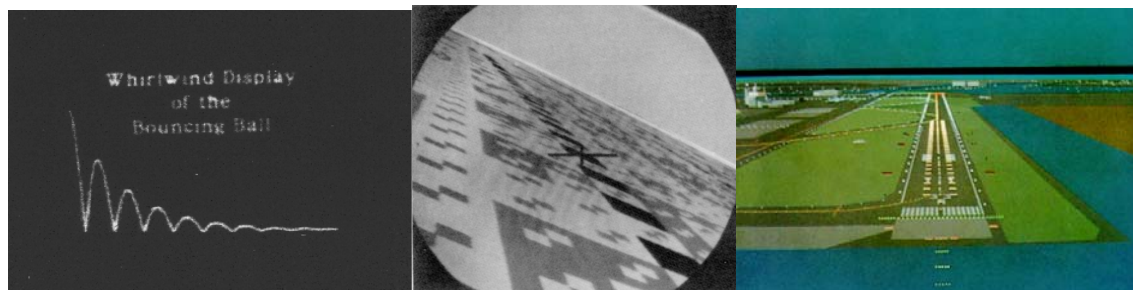


Abbildung 5: (a) Grafische Ausgabe auf dem Whirlwind Computer (b) Früher Flugsimulator der Firma General Electric (ca. 1963), (c) Flugsimulator der Firma Evans und Sutherland, 1977

Die ersten grafischen Anzeigergeräte baute Reddifusion 1940, wobei wichtige Landmarken und militärische Zielgebiete dargestellt werden konnten [Moo98]. Im Jahr darauf wurden größere operationelle Trainingsumgebungen der Royal Airforce mit einem visuellen Projektionssystem von A. M. Uttley ausgerüstet. Das Bild wurde auf ein hemisphärisches Zyklorama vor den Testpiloten projiziert. Es zeigte neben dem Nachthimmel einen in der Helligkeit variierbaren Boden und eine Silhouette des Hecks eines Bombers. Das projizierte Bild des Bombers veränderte sich gemäß der Relativbewegungen zwischen den beiden Flugzeugen [Moo98].

Die ersten programmgesteuerten Rechner wurden in den vierziger Jahren entwickelt (Konrad Zuses Z3, fertig gestellt 1941; Harvard Mark I, fertig gestellt 1943). Im Anschluss wurden dann die ersten Plotter und Drucker entwickelt.

Das größte Projekt in den Anfangsjahren der Computerentwicklung war wohl das vom US-Amerikanischen Militär initiierte Whirlwind-Projekt am Massachusetts Institute of Technology. Es sollte ein Flugsimulator basierend auf analoger Technologie entwickelt werden, ab 1946 wurde dann digitale Computertechnologie eingesetzt [Edw94]. Der Whirlwind I besaß 1949 als erster Computer magnetischen Kernspeicher und ab 1950 auch als erster eine computergesteuerte Kathodenstrahlröhre (siehe Abbildung 5a) zur Datenausgabe [McC93].

Ebenfalls 1950 wurde im Elektroniklabor der Firma General Electrics ein kalligraphisches Anzeigegerät gebaut, das es mittels analoger Schaltkreise erlaubte, ein sich wiederholendes Muster zu generieren [Sch83].

Die Entwicklung der zweiten Generation computerbasierter Flugsimulatoren begann 1962. Ab Mitte der sechziger Jahre konnten texturierte Bodenflächen generiert werden (siehe Abbildung 5b). Zwar konnten perspektivisch korrekte Darstellungen generiert werden, viele visuelle Artefakte mussten jedoch in Kauf genommen werden.

Kalligraphische Anzeigegeräte für Computer fanden ab Mitte der sechziger Jahre Verbreitung. Ein Anzeigeprozessor musste eine Anzeigeliste ca. 30-mal pro Sekunde traversieren, um die Anzeigeprogramme ohne Flackern auf den Phosphor der Kathodenstrahlröhre zu zeichnen. Da Speicherelemente zu dieser Zeit sehr teuer und Prozessoren relativ langsam waren, konnten nur wenige Grafikprimitive dargestellt werden. In den späten sechziger Jahren entwickelte Textronix die so genannte Direct-view storage tube, die es erlaubte, mittels eines relativ langsamen Elektronenstrahls ein Speichermedium zu beschreiben, in das der Phosphor eingebettet war. Die beschriebene Stelle leuchtete von alleine, bis sie explizit gelöscht wurde. Diese Anzeigetechnologie ermöglichte es, kostengünstige Terminals für Timesharing-Systeme zu entwickeln.

Ivan Sutherland entwickelte 1961 sein Sketchpad-System. Mit einem Lichtgriffel konnten interaktive 3D-Szenen manipuliert werden. Der Student Steve Russell schuf im gleichen Jahr am M.I.T. Spacewar, das erste Videospiel.

Die dritte Generation von Flugsimulatoren wurde bei General Electric ab 1972 entwickelt. Das „Advanced Development Model“ erlaubte es, maximal 500 Kanten darzustellen. Das Nachfolgemodell „Advanced Simulator for Undergraduate Pilot Training“ erlaubte 1974 die Darstellung von bis zu 2500 in horizontaler Richtung geglätteter Kanten. Durch Integration mehrerer Projektoren konnte ein geschlossenes Blickfeld von 220 mal 150 Grad erreicht werden; 1978 konnten bereits 4000 Kanten und 2000 Lichtpunkte dargestellt werden. Neben General Electrics entwickelten zur gleichen Zeit zahlreiche andere Unternehmen Flugsimulatoren. Evans und Sutherland entwickelten seit 1973 Geräte, die es erlaubten kontinuierlich schattierte Polygone darzustellen. Das erste Gerät erlaubte es, bis zu 400 Polygonen darzustellen, ein Nachfolgesystem generierte 1975 bis zu 1200 Polygone [Sch83] (siehe Abbildung 5c).

Rastergrafik

Mitte der siebziger Jahre wurden Rastergrafiksysteme für Computer entwickelt, die kostengünstige Fernsehentechnologie verwendeten. Da die Kosten für Speicherbausteine sanken, wurde es möglich so genannte Bildspeicher zu benutzen, die das anzuzeigende Bild in Form eines Rasters von Bildelementen (Pixel) speichern. Ein Anzeigeprozessor überträgt den Bildspeicher zeilenweise auf den Bildschirm. Nachdem ab 1972 bereits zahlreiche Videospiele produziert wurden (als bekanntestes ist vielleicht Pong zu nennen, eine einfache zweidimensionale Abbildung des Tennisspiels auf den Bildschirm) wurden mit der Verfügbarkeit von Rastergrafiktechnologie begonnen, kostengünstige Computer für den Endanwender zu entwickeln (Apple I, 1976; TRS-80 I, Commodore PET, 1977; Apple II, 1978, etc.). Etwa zur gleichen Zeit begann IBM den so genannten „Personal Computer“ zu entwickeln. Der erste kostengünstige Heimcomputer mit einer leistungsfähigen Farbgrafikanzeige war der Commodore C64, der 1982 auf den Markt kam und von dem mehr als eine Million Geräte verkauft wurden.



Abbildung 6: (a) Bildschirmausgabe beim Spiel Pacman (b) Bildschirmausgabe beim Spiel Wolfenstein 3D, (c) Bildschirmausgabe beim Spiel Descent

Ende der siebziger Jahre begannen mehrere Hersteller so genannte Workstations für den professionellen Anwender zu produzieren. Mitte der achtziger Jahre wurden Systemkomponenten entworfen, die

speziell die Darstellung von dreidimensionalen Grafiken beschleunigten. Zyda, McGhee, et al. [ZMR88] beschrieben 1988 einen Flugsimulator, der auf einer Workstation der Firma Silicon Graphics basiert, 1500 bis 2000 Polygone bei drei bis vier Bildern pro Sekunde darstellen konnte und weniger als 100.000 Dollar kosten sollte.

Multimedia

Bis zum Beginn der neunziger Jahre waren interaktive Darstellungen dreidimensionaler Welten nur einem Kreis professioneller Anwender vorbehalten. Das Einstiegsmodell der 3D-Grafikworkstation der Firma Evans und Sutherland ESV5 konnte 1990 zwar schon ca. 20.000 Polygone pro Sekunde darstellen, kostete aber auch um die 100.000 DM.

Dies änderte sich drastisch, als ab 1992 interaktive 3D-Spiele für Personal Computer entwickelt wurden. Wesentlicher Bestandteil dieser Spiele waren so genannte Software-Rendering-Engines, die Bilder von texturierten dreidimensionalen Szenen in Echtzeit generieren konnten. Wolfenstein 3D (Id Software) war das erste Spiel dieser Art (siehe Abbildung 7b), das mit Hilfe des Raycasting-Verfahrens Wände darstellen konnten, die im rechten Winkel zueinander standen. Den Durchbruch für interaktive 3D Grafik brachte jedoch erst das Spiel Doom. Die Entwickler von Id Software reimplementierten die Rendering-Engine und unterstützte die Darstellung von Wänden in beliebigen Winkeln und Höhen. Neben Depth-Cueing wurden auch Multi-User-Szenarien unterstützt, indem sich die Spieler über Modems verbinden konnten [Sie98]. Id Software schätzte, dass 15 Millionen Kopien des Spiels installiert wurden [SoFri98].

Während die ersten 3D-Spiele die Navigation innerhalb der Szene, aufgrund von Einschränkungen im Texturierungsalgorithmus, auf Bewegungen beschränkten, bei denen der Betrachter aufrecht bleibt, erlaubte das Spiel Descent (siehe Abbildung 7c), das 1994 vertrieben wurde, bereits die freie Navigation des Betrachters innerhalb der Szene. Varianten des Spiels erlaubten die Integration eines „Head-Mounted Displays“ (i-glasses), das 1995 in Deutschland bereits für weniger als 2000 DM angeboten wurde. Seit ca. 1996 sind Grafikkarten für PCs erhältlich, die 3D-Grafikdarstellungen beschleunigen; seit 1998 ist diese Funktionalität auf den meisten PCs verfügbar.

Immersive Systeme

Unter Immersion versteht man die Illusion des „Eintauchens“ in eine künstliche Umgebung. Dieser Effekt wird in der Regel durch das Ansprechen mehrerer Sinnesmodalitäten erreicht. Die dazu erforderlichen technischen Hilfsmittel werden schon lange nicht nur in Flugsimulatoren sondern auch in der Unterhaltungsindustrie eingesetzt.

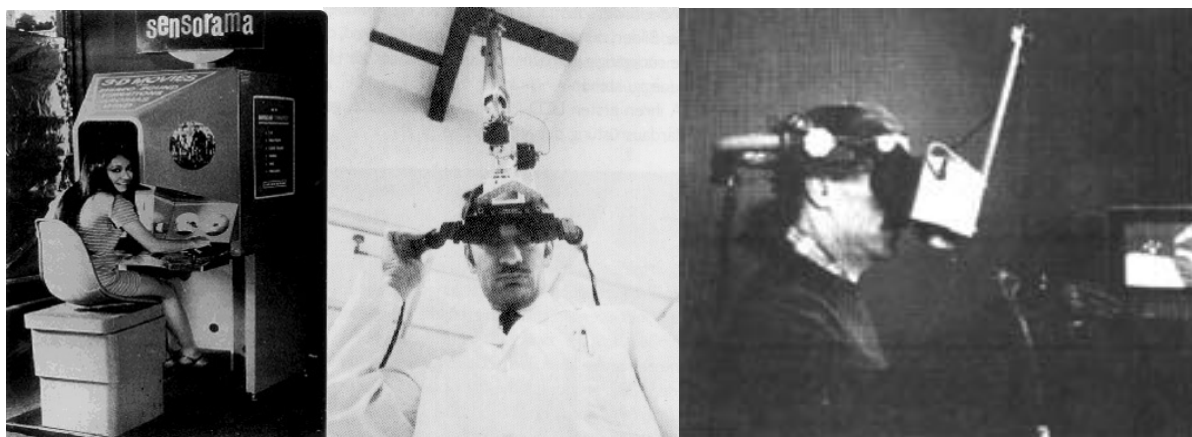


Abbildung 7: (a) Sensorama-System (b) HMD von Ivan Sutherland (c) VIVED-System

Als Beispiel sind hier das Cinerama: ein Kino mit großem Blickfeld durch die Kombination mehrerer Projektoren um 1952 sowie das Sensorama um 1962 zu nennen. In letzterem sollte eine Motorradfahrt für den Benutzer so realistisch wie irgend möglich simuliert werden. Als technische Hilfsmittel schlug Heilig die Projektion von 3D-Filmen, Stereosound sowie die Erzeugung von Geräuschen vor. Letztlich konnte aber nur ein vereinfachter Prototyp realisiert werden (siehe Abbildung 7a) [Lef01].

Der Begriff „Virtual Reality“ wurde vermutlich 1982 von Jaron Lanier erstmals verwendet. Er entwickelte zusammen mit Tom Zimmerman den Datenhandschuh, eines der beiden bekanntesten

technischen Geräte, die in Zusammenhang mit dem Begriff „Virtual Reality“ genannt werden. Das andere Gerät, das sogenannte Head-Mounted-Display (HMD) wurde bereits 1968 von Ivan Sutherland entwickelt. Es besaß bereits ein mechanisches Headtracking-System sowie Kathodenstrahlröhren zur Bildanzeige (siehe Abbildung 7b) [Sut68].

Nachdem weitere wichtige Basistechnologien wie das erste magnetisches Tracking-System der Firma Polhemus 1979 entwickelt waren, wurde am NASA AMES Research Center 1985 das erste VR-System realisiert. Das Virtual Visual Environment Display (VIVED) (siehe Abbildung 7c) besaß einen 3D-Headtracker von Polhemus, ein HMD mit LEEP-Optik und ein 3D-Audio-System Convolvotron der Firma Crystal River. Als Basisrechner wurde eine PDP 11-40 der Firma DEC, als Graphiksystem das „Picture System 2“ von Evans and Sutherland verwendet, das lediglich Wireframe-Darstellungen erzeugen konnte. 1986 wurde schließlich ein Datenhandschuh der Firma VPL integriert [Gre00]. Leistungsfähige Grafikrechner zu Beginn der 1990iger Jahre ermöglichten die Entwicklung von Räumlich-Immersiven Display-Systemen. Statt die Bilder wie beim HMD nur einem Betrachter zu präsentieren, sollte die Anzeige von Stereobildern auf großen Projektionsflächen das gemeinsame Arbeiten in immersiven Umgebungen ermöglichen.

An der University of Illinois wurde 1992 die erste sogenannte CAVE¹⁰ entwickelt (siehe Abbildung 8a) [CSD93]. Auf drei Seitenwänden und dem Boden wurden synchron gemäß der Kopfposition eines Betrachters Bilder projiziert. Weitere Personen konnten die projizierten Bilder betrachten, jedoch ohne dass deren Betrachterposition berücksichtigt werden konnte. Mit der Responsive Workbench wurde 1994 ein ähnliches System bestehend aus einem liegenden und einem vertikalen Bildschirm entwickelt, das die Anordnung der Betrachter um ein virtuelles Objekt herum ermöglichte [KF94].

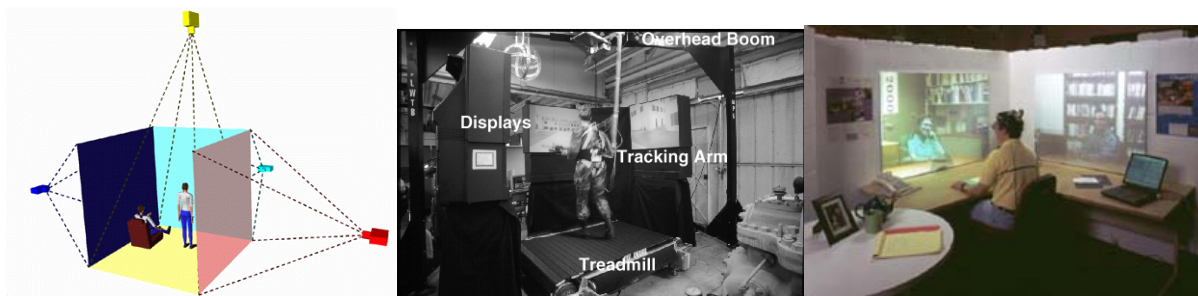


Abbildung 8: (a) CAVE-System (b) Omni-Directional Treadmill (c) Teleimmersionstestbett, 2000 (Office Of The Future-Projekt)

Die neue Bewegungsfreiheit in virtuellen Umgebungen begünstigte die Entwicklung sogenannter Locomotion Interfaces. Benutzer können sich in ausgedehnten virtuellen Umgebungen durch Bewegung auf lokal installierten Geräten fortbewegen. Als Beispiel seien die Omni-Directional Treadmill (siehe Abbildung 8b) [DCC97], ein in zwei Richtungen bewegliches automatisch gesteuertes Laufband 1997, der Individual Soldier Mobility Simulator der Firma SARCOS 1997 oder der Walkthrough Simulator zu nennen [IM92].

Seit Mitte der 1990iger Jahre werden unter anderem am Heinrich-Hertz-Institut in Berlin Autostereoskopische Systeme entwickelt, die ohne besondere Brillen 3D-Eindrücke erzeugen sollen. Die Quellentrennung wurde dabei durch Linsenraster realisiert. 1990 stellte die Firma ICE Ölsnitz einen Prototypen vor, der die Betrachtung einer 3D-Szene für mehrere Betrachter auf einem allerdings relativ kleinen monochromen 6''-Display ermöglichte. Weitere Systeme folgten wie zum Beispiel 2001 das Volumetric Display der Firma Actuality Systems, das einen 3D-Eindruck für mehrere Betrachter durch eine schnell rotierende Scheibe als Projektionsfläche bietet.

Ausblick

Zunehmend ist nicht mehr allein die Entwicklung von Basistechnologien sondern auch von Applikationen Gegenstand der Forschung. Als Beispiel ist hier das Office Of The Future [RWC98] zu nennen, eine zukünftige immersive Büroumgebung (siehe Abbildung 8c), die unterschiedliche Techniken aus den Bereichen 3D-Grafik und Computer Vision kombiniert.

Der Einsatz von Laser-Technologie wird bestehende Ansätze verbessern. Laser-Projektoren besitzen

¹⁰ Das Akronym CAVE steht für CAVE Automated Virtual Environment.

ein größeres Farbspektrum bei nahezu unbegrenzter Tiefenschärfe, das Retinal Display, das 2001 von der Firma Microvision entwickelt wurde, erlaubt die direkte Projektion von Bildern auf die menschliche Retina.

In fernerer Zukunft werden Neuronale Interfaces an Bedeutung gewinnen: Brain-Computer-Interfaces erlauben mittels ElektroEnzyphalographen bereits die interaktive Cursor-Steuerung durch Gehirnströme; Muskelsignale können nicht nur verwendet werden, um Prothesen zu steuern. Die Verbindung von Computersystemen mit dem menschlichen Nervensystem durch sogenannte Neuroprothetik-Implantate ist bereits Stand der Technik. So ist es sicher nur eine Frage der Zeit -ob man diese Entwicklung begrüßt oder nicht- bis virtuelle Umgebungen direkt durch die Stimulation des menschlichen Nervensystems realisiert werden können.

Literaturverzeichnis

- [Alb35] Leon Battista Alberti. *Della Pittura*. nach [Fri98], 1435.
- [Ann97] Enrico Annoscia. Die prähistorische Kunst. In *Kunst: Die Weltgeschichte*, pages 16–21, Köln, 1997. DuMont.
- [Bre91] Sonja Brentjes. Physikalisch-technische Kenntnisse in islamischen Reichen. In W. Schreier u. a., *Geschichte der Physik*, pages 105–107. Deutscher Verlag der Wissenschaften GmbH, Berlin 1991.
- [CSD93] C. Cruz-Neira, D.J.Sandin, T.A. DeFanti, *Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*, Proceedings of SIGGRAPH '93, pp. 135-142.
- [DCC97] Rudolph P. Darken, David Carmein, William R. Cockayn, *The omni-directional treadmill: a locomotion device for virtual worlds*, Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology, Banff, Alberta, Canada, pp 213 - 221, 1997
- [Edw94] Paul N. Edwards. From „impact“ to social process: Computers in society and culture. In Sheila Jasanoff et al., editor, *Handbook of Science and Technology Studies*, Beverly Hills, CA, 1994. Sage Publications.
- [Fri98] Michel Frizot et al. *Neue Geschichte der Fotografie*. Könemann, Köln, 1998.
- [FNS95] G. Füsslin, W. Nekes, W. Seitz, K. Steckelings, and B. Verwiebe. *Der Guckkasten*. Füsslin-Verlag, Stuttgart, 1995.
- [Gre00] McGreevy, M. W. (1990). The Virtual Environment Display System, in Proceedings of the 1st Technology 2000 Conference, vol. 1, pp. 3-9. NASA, Washington, D.C.
- [GK84] K. Gaa and B. Krüger. *Das Original-Kaiser-Panorama*. Berliner Filmfestspiele GmbH, Berlin, 1984.
- [IM92] H. Iwata and K. Matsudi. Haptic walkthrough simulator. In ICAT 92 Proceedings, 1992.
- [k8989] Stereoskopie. Museum für Verkehr und Technik, 1989.
- [Kir45] Athanasius Kircher. *Ars Magna Lucis et Umbrae*. nach [Fri98], Rome, Amsterdam, 1645.
- [KF94] W. Krüger, B. Fröhlich: The Responsive Workbench, IEEE Computer Graphics and Applications, pp 1215, May 1994
- [Lav78] Johann Kaspar Lavater. *Physiognomische Fragmente zur Beförderung der Menschenkenntnis und Menschenliebe*. Leipzig, Winterthur, 1778.
- [Lef01] Eric Lefcowitz, <http://www.retrofuture.com/sensorama.html>, 2001
- [Lös97] W. Löschburg. *Panorama der Straße Unter den Linden*. Koehler und Amelang Verlagsgesellschaft mbH, München/Berlin, 1997.
- [McC93] Jeffery J. McConnell. Computer graphics. In Julian E. Gomez, editor, *Encyclopedia of Computer Science*, pages 294–303, New York, 1993. Van Nostrand Reinhold.
- [Mey97] Meyers Lexikonverlag, 1997
- [MG80] G. W. Meyer and D. Greenberg. Perceptual color spaces for computer graphics. *SIGGRAPH Proceedings, Computer Graphics*, pages 254–261, 1980.
- [Moo98] Kevin Moore. A brief history of aircraft flight simulation, part 5. <http://www.bleep.demon.co.uk/SimHist5.html>, 1998.
- [Nek98a] Werner Nekes. Teil 1: Durchsehekunst, 10.8.1998. Dokumentarreihe auf ARTE, 1998.
- [Nek98b] Werner Nekes. Teil 3: Klapp- und verwandlungsbilder, 24.8.1998. Dokumentarreihe auf ARTE, 1998.
- [Oet95] Stephan Oettermann. Imperiale blicke - panoramen in berlin. Begleitbuch zur Ausstellung: Berlin 2005, erhältlich über Aedes-STERN-Verlag, 1995.
- [Por53] Giovanni Batista Della Porta. *Magiae Naturalis*. nach [Fri98], Neapel, 1553.
- [RWC98] Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake, Lev Stesin, Henry Fuchs The Office of the Future:

A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays, pp. 179-188, SIGGRAPH Proceedings 1998

- [Rob95] David Robinson. *Der Guckkasten*. Füsslin-Verlag, Stuttgart, 1995.
- [s8686a] Canaletto. *Maler; Leben, Werk und ihre Zeit*, (34), 1986.
- [s8686b] Giotto di bondone. *Maler; Leben, Werk und ihre Zeit*, (36), 1986.
- [s8686c] Paolo Ucello. *Maler; Leben, Werk und ihre Zeit*, (34), 1986.
- [Sch83] Bruce Schachter. Computer image generation systems. In *Computer Image Generation*, pages 47–124. John Wiley & Sons, 1983.
- [Sen89] Erhard Senf. Entwicklungsphasen der Stereophotographie. Museum für Verkehr und Technik, 1989.
- [Sie98] Jan Sier. History of the 3d-game. <http://www.easy-soft.demon.nl/3d.htm>, 1998.
- [SoFri98] Id Software. What id is. <http://www.idsoftware.com/corporate/index.html>, 1998.
- [Sut68] I.E. Sutherland, *A head-mounted three-dimensional display*, 1968 Fall Joint Computer Conference, AFIPS Conference Proceedings, 33, 757-764, 1968.
- [Whi80] T. Whitted. An improved illumination model for shaded display. *Comm. ACM*, 26(6):342–349, 1980.
- [WREE67] C. Wylie, G. W. Romney, D. C. Evans, and A. C. Erdahl. *Halftone Perspective Drawings by Computer*. FJCC 67, Thomson Books, Washington DC, 1967.
- [WW92] Alan Watt and Mark Watt. *Advanced Animation and rendering Techniques, Theory and Practice*. Addison Wesley, 1992.
- [ZMR88] M. Zyda, R. McGhee, R. Ross, D.B. Smith, and D.G. Streyle. Flight simulators for under 100000 dollars. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 19–27, January 1988.

Bildquellen

- Abb. 1: (a) [FNS95] (b) <http://info.ex.ac.uk/fac/arts/bill.douglas/zogscope.html>
(c) <http://info.ex.ac.uk/fac/arts/bill.douglas/lanterns.html>
(d) <http://info.ex.ac.uk/fac/arts/bill.douglas/paul.html>
- Abb. 2: (a) <http://www.funorama.de/panorama.php> (b) <http://info.ex.ac.uk/fac/arts/bill.douglas/panthtr.html>
- Abb. 3: (a) [k8989] (b) [GK84] (c) [GK84]
- Abb. 4: (a) <http://www.rfl.de/fuesslin/os.htm> (b) fotografiert vom Autor
(c) <http://www.gemmary.com/add/p874.html>
- Abb. 5: (b) [Sch83] (c) [Sch83]
- Abb. 6: (b) <http://www.easy-soft.demon.nl/3d.htm> (c) <http://www.easy-soft.demon.nl/3d.htm>
- Abb. 7: (a) <http://www.unites.uqam.ca/AHWA/Meetings/2000.CIHA/Grau.html>
(c) <http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/orthesen>
- Abb. 8: (a) [DCC97] (c) <http://www.cs.unc.edu/Research/stc/>