

ten zur Interaktion sind abhängig von der Leistungsfähigkeit der Software.

3.0 Das Virtuelle Eintauchen, Melanie Läge

Die Möglichkeit vollkommen in eine künstliche Welt eintauchen zu können ist ein wesentlicher Aspekt der Virtuellen Realität und wird als Immersion bezeichnet. Im Cyberspace soll nicht das Gefühl aufkommen, Bilder wie beim Ansehen eines Filmes von außen zu betrachten, sondern das Gefühl, sich selbst in dieser künstlichen Welt zu befinden. Beim virtuellen Eintauchen sind drei Aspekte grundlegend, die genau den drei vorherigen Ebenen (der passiven, aktiven und interaktiven) entsprechen. Wichtig im Cyberspace sind Dreidimensionalität, Lage- und Richtungsbestimmung und Interaktivität.

Um Virtuelle Realität möglichst glaubhaft erscheinen zu lassen, müssen verschiedene Sinnesreize geschaffen werden, die auf den Reizen der realen Welt aufgebaut sind. Bewegt man sich in einem Raum und nähert man sich einem Bild, so muß dieses auch proportional zur Bewegung größer werden. Ähnlich verhält sich die Akustik. Ein Ton kann von rechts oder links kommen oder sogar wandern. Interessant ist auch das taktile¹³ „Feedback“, z.B. das Gewicht oder die Struktur eines Gegenstandes.

Virtuelle Welten lassen sich auf drei Arten sinnlich erfahren: durch das Sehen, das Hören und das Fühlen.

13. taktil = den Tastsinn betreffend

3.1 Das Sehen, Melanie Läge

Das Sehen ist für die meisten Menschen der wichtigste der fünf Sinne, denn visuelle Muster nimmt der Mensch besonders gut und schnell auf. Jedes VR-System ist heutzutage so angelegt, daß es einen drei bzw. n-dimensionalen Raum darstellt. Hierfür müssen die grundlegenden Eigenschaften des räumlichen Sehens berücksichtigt werden. Essentiell hierfür sind die statischen, die beweglichen sowie die physiologischen Tiefenhinweise.

3.1.1 Räumliches Sehen, Melanie Läge

3.1.1.1 *Statische Tiefenhinweise, Melanie Läge*

Statische Tiefenhinweise findet man in einem unbewegten Bild (z.B. einem Foto). Die folgenden sechs Tiefenanzeiger verleihen der virtuellen Umwelt mehr Realität:

1. **Relative Lage** – Die Wirkung der relativen Lage von Gegenständen ist eine der wichtigsten Hilfen zur Tiefenabschätzung. Überdeckt ein Objekt ein dahinterliegendes teilweise, so wird es als näheres Objekt empfunden. Diese Abschätzung überwiegt oft auch dann, wenn andere Tiefenanzeiger widersprüchliche Informationen bieten.
2. **Schattierung** – Ähnlich verläuft die Abschätzung der Tiefe durch die Schattierung; ein entferntes Objekt ist dunkler, ein nahes heller. Die Schattierung bietet auch Informationen über die physikalische Eigenschaften eines Objekts. Ein Beispiel: Ein Hell-Dunkel-Übergang an einem runden Objekt ist fließend an einem eckigen dagegen geradliniger.
3. **Konturenschärfe** – Nahe Gegenstände erscheinen schärfer und klarer als entfernte Gegenstände. Dies liegt an der atmosphärischen Luft, die Teilchen und Wasserdampf enthält. Daher nimmt die Klarheit des Lichts, das in das Auge einfällt, mit steigender Entfernung der Lichtquelle ab.

- 4. Größe** – Die Größe ist ein weiterer wichtiger Tiefenanzeiger. Ein Gegenstand erscheint immer kleiner, je weiter er vom Auge des Betrachters entfernt ist. Der Betrachter sollte die Größe des Gegenstandes in etwa kennen.
- 5. Perspektive** – Lineare Perspektive¹⁴ ist ein gängiger Faktor zur Vermittlung von Tiefe. Betrachtet man z. B. ein Haus, so scheinen die Geraden von Front und Dach näher aneinander zu rücken; je spitzwinklicher die Geraden zusammen laufen, desto tiefer erscheint das Haus.
- 6. Oberflächenstruktur** – Weniger offensichtlich ist die Oberflächenstruktur. Schaut man in ein weitläufiges Objekt (wie z.B. einem Kornfeld), so erscheinen die naheliegenden Teile weitaus strukturierter und weniger dicht, als die entfernteren Teile.

3.1.1.2 Bewegliche Tiefenhinweise, Melanie Läge

Relative Lage und Perspektive vermitteln nur bedingt Information zur Raumtiefe. Ein wichtiger Faktor ist die Parallaxe: Bewegt man den Kopf seitwärts oder auf und ab, bewegen sich nahe Gegenstände schneller als entfernte, ebenso wenn sich der Betrachter nicht bewegt, statt dessen aber das Objekt. Dies liegt daran, daß nahe Objekte auf der Netzhaut größer abgebildet werden.

3.1.1.3 Physiologische Tiefenhinweise, Melanie Läge

Die Tiefenanzeiger dieser Gruppe unterteilen sich in Akkommodation¹⁵ und Konvergenz¹⁶. Beide wirken durch die Bewegung

14. Vgl. Wahrnehmung und Visuelles System, Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1986, S. 104.

15. Vgl. „dtv -Atlas zur Biologie“, Band 3, Deutscher Taschenbund Verlag GmbH & Co. KG, München, 1984, S. 353.

16. Vgl. „dtv -Atlas zur Biologie“, Band 3, Deutscher Taschenbund Verlag GmbH & Co. KG, München, 1984, S. 353.

beider Augen und sind daher äußerst wichtig für das räumliche Sehen auf kurze Entfernung und in statischen Szenen.

Akkommodation – Akkommodation bedeutet Anpassung und beruht darauf, daß der Muskel um die Linse des Auges entspannter ist, desto weiter das fixierte Objekt entfernt ist. Das Gehirn registriert die Stärke der Akkommodation und verwertet sie.

Konvergenz – Konvergenz bedeutet Zusammenlaufen. Die Konvergenz mißt, wie weit die Augen sich einwärts drehen müssen, um einen nahen Gegenstand zu betrachten.

3.1.1.4 Stereopsis, Melanie Läge

Statische Tiefenanzeiger sind nützlich für räumliches Sehen, viel wirkungsvoller ist aber die Stereopsis¹⁷ (vgl. Abbildung 1 auf Seite 12). Man könnte eine dreidimensionale Welt schaffen, wenn es gelingen würde, zweidimensionale, sich bewegende Stereogramme¹⁸ zu entwickeln. Mit einer recht einfachen Methode werden stereoskopische Bilder auf den Monitor projiziert: Zuerst wird das Bild für das linke Auge, dann das Bild für das rechte Auge und dann wieder für das linke Auge usw. gezeigt. Dies geschieht sehr schnell¹⁹ und erzeugt auf dem Monitor ein flackerndes Bild. Mit einer Spezialbrille wird jeweils eines der Bilder blockiert. Diese Spezialbrillen werden meist LCD²⁰-Brillen genannt und enthalten Leicht-Flüssigkristallanzei-

17. Stereopsis: Der Mensch sieht mit beiden Augen gerade aus. Indem die Bilder beider Augen verglichen werden, kann Tiefe abgeschätzt werden. Beide Augen liefern ein, um den Augenabstand, versetztes Bild von demselben Objekt. „Die Fähigkeit des räumlichen Tiefsehens durch Verschmelzen der beiden Bilder nennt man Stereopsis...“ (Vgl. Wahrnehmung und Visuelles System, Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1986, S. 96-97.)

18. Stereogramme: Wenn in zwei nebeneinander liegenden Bildern eine bestimmte Netzhautdisparität nachgebildet wird, dann ist es möglich das visuelle System so zu überlisten, daß es in zweidimensionalen Bildern Tiefe wahrnimmt. Solche Bildpaare heißen Stereogramme und lassen sich durch Spezialkameras oder durch den Computer erstellen. (Vgl. Wahrnehmung und Visuelles System, Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1986, S. 96.)

19. Der Computer zeigt jedes Bild etwa ein Sechzigstel Sekunde lang an.

gen. Die Synchronisation von Brille und Bildschirm geschieht mit Hilfe von Infrarotsignalen, welche vom Bildschirm gesendet und von der Brille empfangen werden.

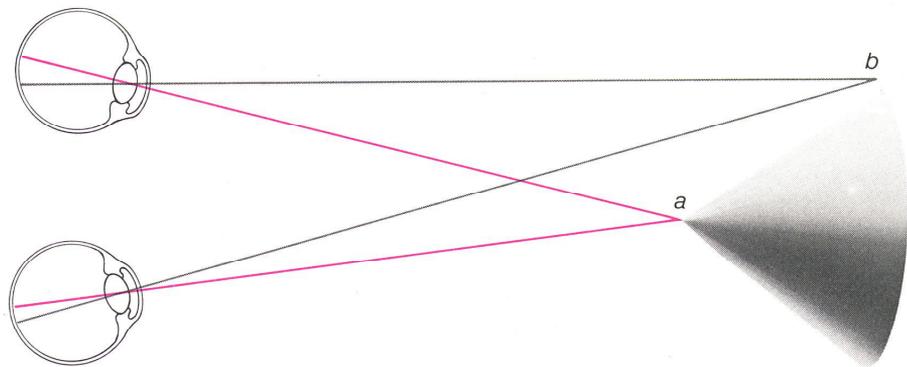


ABBILDUNG 1.

Stereosehen

3.1.2 Visuelles Eintauchen, Melanie Läge

Um ein Gefühl des Eintauchens in die Virtuelle Welt zu entwickeln, sind für die Wahrnehmung drei wichtige Faktoren maßgebend: das Gesichtsfeld, die Bildwechselrate und die Blickortung.

3.1.2.1 Das Gesichtsfeld, Melanie Läge

Das Gesichtsfeld eines Menschen beträgt 180° Grad, wenn er geradeaus schaut. Dies bedeutet demnach 90° Grad für jedes Auge. Dazu kommt, daß beide Augen außerdem um 45° Grad nach rechts und nach links drehen können, also weitere 90° Grad. Dies ergibt ein Gesichtsfeld von ca. 270° Grad. Der Mensch kann zwar nicht auf dem gesamten Gesichtsfeld scharf

20.LCD = Liquid-Crystal Display

sehen, trotzdem sind diese Randwahrnehmungen bedeutend für die räumliche Orientierung.

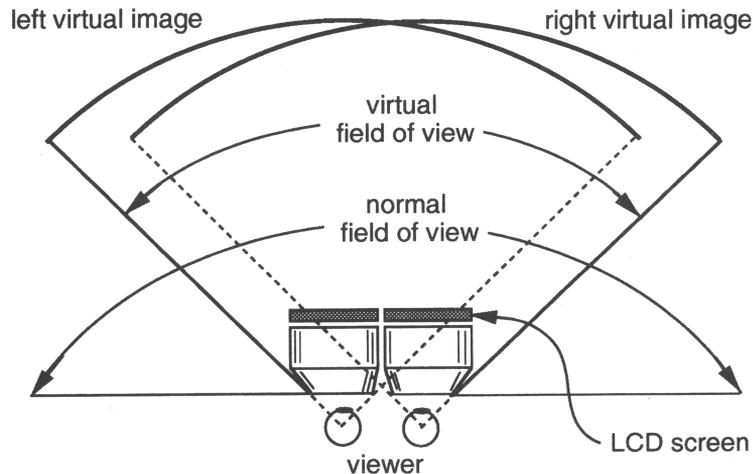


ABBILDUNG 2.

Gesichtsfeld und virtuelles Gesichtsfeld

Es geht beim virtuellen Eintauchen darum, möglichst das gesamte Gesichtsfeld abzudecken (siehe auch 3.1.3 „Hardware zur optischen Wahrnehmung“).

3.1.2.2 Die Bildwechselrate, Melanie Läge

Bei dem heutigen Stand der Technik sind Computer in der Lage durch Richtungsbestimmung²¹ eine Bildfolge in Echtzeit darzustellen. Dies bedeutet, daß Bilder zur gleichen Zeit in der sie im Computer entstehen, an die LCDs des HMDs weiter gegeben werden können. Sie können jederzeit der Richtungsänderung angepaßt werden. Es ist jedoch noch nicht möglich alle Bilder in Echtzeit zu erstellen. Die Anzahl der Bilder, die ein Computer in einer gewissen Zeit erzeugen und darstellen kann, nennt man

21. Richtungsbestimmung: siehe Gliederungspunkt 8.0 „Lage- und Richtungsbestimmung,“

Bildwechselrate²². Ist diese hoch genug (bei Videofilmen beträgt sie 30 Bilder [NTSC] bzw. 25 Bilder [PAL] pro Sekunde²³), so verschwimmen die Bilder vor dem Auge zu einem ununterbrochenem Ablauf. Die Zahl der Bilder pro Sekunde hängt bei den VR-Systemen hauptsächlich von der Komplexität der Bilder ab²⁴. Die Systeme schaffen heute zwischen zwei und dreißig Bildern pro Sekunde.

3.1.2.3 Die Blickortung, Melanie Läge

Da ein Benutzer i. d. R. in die Richtung schaut, die ihn am meisten interessiert, spielt die Ortung seiner Blickrichtung gegenüber der eigentlichen Kopfbewegung eine übergeordnete Rolle. Es ist daher sinnvoll die Blickrichtung des Benutzers laufend zu verfolgen. Da die Rechenlast eines Computers direkt mit der Bildauflösung gekoppelt ist, würde eine Blickortung den Rechner deutlich entlasten: Anvisierte Objekte würden scharf, die entfernten Objekte hingegen mit weniger Detail dargestellt. Der Computer würde nur den fixierten Bildausschnitt hochaufgelöst darstellen und den Hintergrund mit geringerer Auflösung.

Die meisten Geräte zur Blickortung arbeiten mit schwacher Infrarotbestrahlung des Auges. Die Pupille erscheint hell und reflektiert einen Punkt auf der Cornea²⁵. Diese Reflexe werden durch eine Videokamera eingefangen und durch bildverarbeitende Software analysiert. Das System weiß nun, wohin der Benutzer schaut und gibt diese Daten an den Rechner weiter. Mit Hilfe der Blickortung können im Cyberspace daher auch Aktionen ausgelöst werden, wie z. B. das Öffnen einer Türe, wenn der Benutzer auf diese schaut.

22. Vgl. C'T Magazin 10/1992.

23. Vgl. C'T Magazin 10/1992.

24. Komplexität bedeutet in diesem Zusammenhang, daß mit einer steigenden Anzahl von dargestellten Objekten der Rechenaufwand ebenfalls steigt.

25. Hornhaut

3.1.3 Hardware zur optischen Wahrnehmung, Melanie Läge

3.1.3.1 Bilderzeugende Geräte, Melanie Läge

Die vorigen Absätze bieten nur einen kleinen Einblick in die Komplexität des virtuellen Eintauchens. Es handelt sich hier nicht nur um komplexe mehrdimensionale Räume oder genaue Blickortung. Wichtig ist vor allem den Cyberspace so glaubwürdig wie möglich zu gestalten und damit dem Auge möglichst realistische Bilder zu präsentieren. Dies geschieht mit Hilfe von bilderzeugenden Geräten. Fernseher und Computerbildschirme zählen zu diesen, sie erzeugen Bilder durch eine Kathodenstrahlröhre oder einer Flüssigkristallanzeige (LCD).

Kathodenstrahlröhren sind weit verbreitet, sie werden in Fernsehern und Computerbildschirmen verwendet. Ein schmaler Elektronenstrahl wird durch eine Vakuumröhre gelenkt und auf einem phosphorbeschichtetem Schirm als Leuchtpunkt sichtbar gemacht. Kathodenstrahlröhren produzieren also ihr eigenes Licht. Der Elektronenstrahl wird rasend schnell projiziert, dadurch werden die Bilder so rasch aufgebaut, daß kein erkennbares Flimmern auftaucht. Die Röhren bieten eine extrem hohe Bildauflösung, da die Elektronen so winzig sind. Sie haben außerdem noch weitere Vorteile: Ihre Kontrastfähigkeit ist viel höher, weshalb die von ihnen produzierten Bilder angenehmer zu betrachten sind. Die Bilder wirken weicher und besser konstruiert, da sie in der Regel mehr Graustufen und Zwischentöne enthalten, als die im Folgenden beschriebenen LCDs.

Flüssigkristallanzeigen (LCDs) funktionieren anders als die Bildröhren: Sie produzieren kein eigenes Licht, sondern blockieren einfallenden Lichtstrahlen den Weg. LCDs bestehen aus zwei Glasscheiben zwischen denen Pixels, die aus einer Flüssigkristallsubstanz bestehen, liegen. Fließt kein Strom um die Pixel, so richten sich die Kristalle so aus, daß sie Lichteinfall blockieren, somit bleibt der Pixel dunkel. Wird jedoch ein Stromstoß gesandt, verändern die Kristalle ihre Ausrichtung und Licht kann

passieren. LCDs sind zwar billiger²⁶, lassen sich einfacher verwenden und brauchen weniger Energie, als die Kathodenstrahlröhren, aber ihre Auflösung ist um einiges schlechter²⁷.

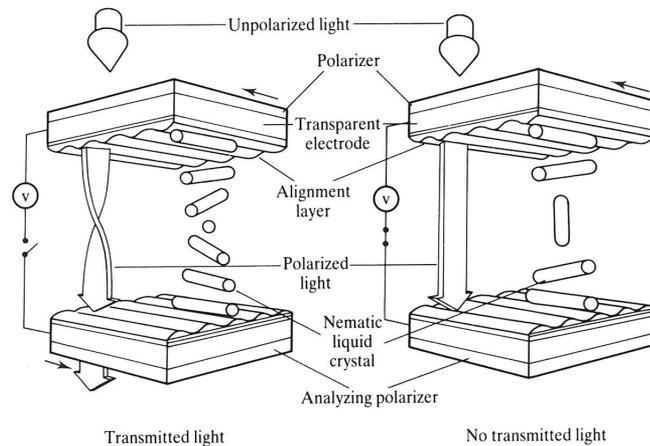


ABBILDUNG 3.

Funktionsweise eines LCDs

3.1.3.2 Optische Geräte, Melanie Läge

Für die Authentizität der Wahrnehmung des Cyberspace spielt auch die Größe des Gesichtsfeldes eine Rolle. Zum virtuellen Eintauchen ist ein Gesichtsfeld von mindestens 90° Grad nötig. Um dies zu ermöglichen entwickelte die amerikanische Firma LEEP System/POP-Optix Labs²⁸ einen stereoskopischen Weitwinkel-Linsensatz (LEEP)²⁹. Dieser besteht aus je drei Linsen für jedes Auge, welche ein Bild mit 6,5-facher Vergrößerung aufnehmen und es über 120° Grad ausbreiten. Dadurch entsteht ein binokulares³⁰ Gesichtsfeld von 90° Grad.

26. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S.111.

27. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S.111.

28. LEEP System Inc., 241 Crescent St., Waltham, MA 021154

29. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 106 -109.

30. beidäugiges

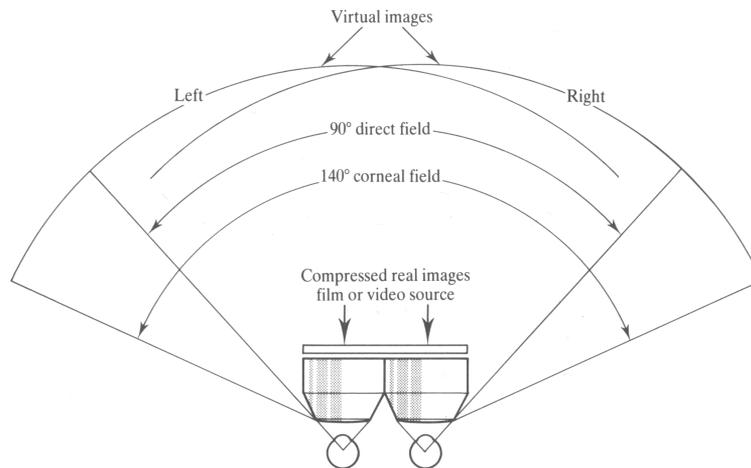


ABBILDUNG 4.

LEEP Weitwinkel-Linsensatz

3.1.3.3 Head Mounted Displays, Attila Suiçmez

Die Immersion des Benutzers stellt eines der Hauptkriterien eines VR-Erlebnisses dar. Um in die vom Computer generierte Wirklichkeit eintauchen zu können, bedarf es der audiovisuellen Projektion der virtuellen Welt auf Augen und Ohren des Users, sowie der audiovisuellen Abschottung von der realen Welt. Die Hardware die dieses leistet wird als Head Mounted Display (kurz: HMD) bezeichnet. Synonym haben sich in Deutschland hierfür die Begriffe Datenbrille und Stereoskopischer Monitorhelm eingebürgert³¹. Head Mounted Displays bestehen im wesentlichen aus einem Helm, an dessen Vorderseite sich zwei Mini-LCDs befinden. Links und rechts sind Kopfhörer angebracht. Außerdem befindet sich noch ein Ortungssystem – der Polhemus-Sensor – auf dem Helm. Stereopsis und Stereophonie erlauben dem Benutzer die audiovisuelle räumliche Wahrneh-

31. Gerade im High-Tech Bereich werden hierzulande oft die zumeist in den USA geprägten Begriffe und Bezeichnungen für Produkte, ohne weitere Übersetzung ins Deutsche, übernommen.

mung im Cyberspace. Der Polhemus-Sensor liefert dem Computer die nötigen Daten über Lage und Bewegung (Blickrichtung) des Benutzers. Diese Daten werden vom Computer in Echtzeit benötigt, um den jeweiligen Bildausschnitt, die der Blickrichtung des Anwenders entspricht, errechnen und darstellen zu können.

Die Anzahl der auf dem Markt befindlichen HMDs war bis in das Jahr 1994 recht überschaubar und die Preise für diese Geräte waren sehr hoch. Vor dem Hintergrund eines langsam entstehenden Massenmarktes für VR-Systeme tauchen in letzter Zeit immer wieder Neuentwicklungen von HMDs auf, die selbst für Privat-Anwender erschwinglich sind. Niedrigpreisige HMDs sind einerseits durch den generellen Preisverfall bei technischen Produkten und andererseits durch Verwendung von einfacheren, weniger leistungsfähigen Komponenten möglich geworden. Bei den sogenannten Low-Cost-Modellen müssen i. d. R. Kompromisse hinsichtlich der Auflösung der LCDs, des projizierten Winkels (Gesichtsfeld), der Klangqualität und der Effektivität der Abschottung von der realen Welt hingenommen werden. Ein weiteres Unterscheidungskriterium stellt der Tragekomfort dar. Viele HMDs erweisen sich für längere VR-Erlebnisse durch ihr hohes Gewicht³² als unbequem. Die Preisspanne reicht von ca. 1.000,- DM für ein Low-Cost HMD bis hin zu sechsstelligen Beträgen.

In Folge werden einige Modelle von HMDs exemplarisch vorgestellt, deren erste Vertreter bereits Ende der 60er Jahre entwickelt wurden³³. Anhand der gewählten Beispiele kann die technologische Weiterentwicklung nachvollzogen werden.

32. Ironischer Weise sind gerade qualitativ höherwertige HMDs relativ unbequem zu tragen. Der Nachteil des höheren Gewichts wird zugunsten einer besseren Abschottung und damit einer Verbesserung der Immersion bewußt in Kauf genommen.

33. Käuflich zu erwerben sind HMDs erst seit einigen Jahren. Bei den Modellen davor, handelte es sich um Prototypen aus der Forschung für die NASA und das Militär.

Sutherland's Damoklesschwert .

Ivan Sutherland entwickelte als Erster im Jahre 1966 am MIT Lincoln Laboratory³⁴ ein HMD und führte seine Forschungen später an der Universität von Utah³⁵ fort. Der Helm erhielt den Spitznamen „Damoklesschwert“ auf Grund seines gewaltigen Gewichts. Er wäre ohne weitere Hilfe nicht zu tragen gewesen und wurde deshalb von einem an der Decke befestigten Metallarm gehalten. Ein mechanischer Apparat stellte die Blickrichtung des Teilnehmers fest. Sutherland reflektierte über Glaslinsen einfache geometrische Figuren und befestigte dazu zwei kleine Kathodenstrahlröhren am Helm. Als Sutherland 1970 der Universität von Utah beitrug, entwickelte er das erste voll funktionierende HMD. Dort unternahm er zahlreiche Verbesserungen des Hard- und Software-Verbunds. So schuf er sein erstes Stereoskopisches HMD³⁶ und stattete den Computer mit Grafik-Beschleunigern aus. Dieses HMD sollte als Vorlage für zukünftige Entwicklungen von HMDs in die Geschichte eingehen³⁷. Generell gab es kaum einen Unterschied zwischen diesem von Sutherland entwickelten Gerät und denen, die NASA viele Jahre später entwickelte.

34. Während die Autoren Ken Pimentel & Kevin Teixeira in Ihrem Buch „Virtual Reality Through the new looking glass“ auf Seite 33 behaupten, Ivan Sutherland hätte sein erstes HMD am MIT entwickelt, behauptet Roy S. Kalawsky in seinem Werk „The Science of Virtual Reality and Virtual Enviroments“ auf Seite 20, Sutherland hatte sein erstes HMD als Student der Harvard University entwickelt.

35. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 33.

36. Bei seinem ersten HMD { vor 1968 } handelte es sich um ein monoskopisches HMD.

37. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 33.

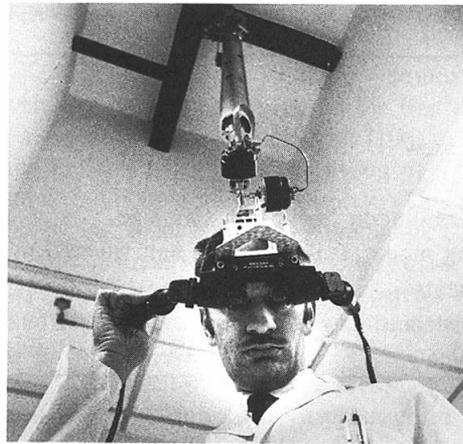


ABBILDUNG 5.

Sutherland's Damoklesschwert

Sichtgeräte der NASA .

Die NASA³⁸ begann 1984³⁹ mit der Entwicklung stereoskopischer Sichtgeräte, die in der Telerobotik und in Weltraumstationen eingesetzt werden sollten. Für die Herstellung des ersten VR-Monitorhelms der NASA wurden die LCDs und Lichtquellen aus zwei handelsüblichen Mini-Schwarzweiß-Fernsehern ausgebaut. Die Kristallanzeigen verbrauchten sehr wenig Energie – besaßen aber anfänglich nur eine Auflösung von 100x100 Pixel. Allerdings waren sie sehr preiswert und erfüllten ihren Zweck. Die LCD-Monitore wurden nun an einer Art „Taucherbrille“ befestigt, welche um den Kopf gebunden wurde. Speziallinsen der Firma LEEP⁴⁰ fokussierten und vergrößerten die Darstellung. Diese Verbesserungen wurden zusammen mit der stereoskopischen Weitwinkeloptik als großer Durchbruch bei der Entwicklung von HMDs gewertet⁴¹.

38. NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA 94035

39. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 45.

40. Vgl. Gliederungspunkt 4.3.2 Optische Geräte

41. Vgl. Kalawsky, Roy S.: „The Science of Virtual Reality and Virtual Environments“, Addison-Wesley Publishing Company, Cambridge, 1994, S. 27.



ABBILDUNG 6.

Sichtgerät der NASA

UNC-Monitore .

UNC⁴² steht für die Universität von North Carolina, wo man seit Anfang der 80er Jahre Monitorhelme entwickelt. 1989 entwickelten die UNC-Forscher gemeinsam mit dem Technologischen Institut für Luftwaffe⁴³ einen Monitorhelm, der aus einem umgerüsteten Fahrradhelm bestand. Vorne am Helm wurde ein Gehäuse mit zwei LCDs, fluoreszierender Beleuchtung und Speziallinsen befestigt. Am hinteren Teil des Helmes befand sich die elektronische Steuerung. Offensichtlich großer Wert wurde auf die Gewichtsbalancierung gelegt, damit der Helm nicht herunterfällt oder während der Benutzung hin und her rutscht. Ein weiteres Problem war die Umgehung der Nase. Liegen die beiden Monitore zu weit vom Auge entfernt, so befindet sich die Bild-

42. University of North Carolina, Dept. Computer Science, Chapel Hill, NC 27599

43. AFIT = Air Force Institut of Technology

mitte nicht mehr auf der Sehachse. Die LCDs wurden leicht nach innen gewinkelt montiert und, um keine schiefe Darstellung zu bieten, optisch korrigiert. Die Farbmonitore der UNC haben eine Bilddiagonale von ca. 7,5 Zentimetern. Die Forscher benutzten einen LEEP-Weitwinkellinsen-Satz zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes⁴⁴.

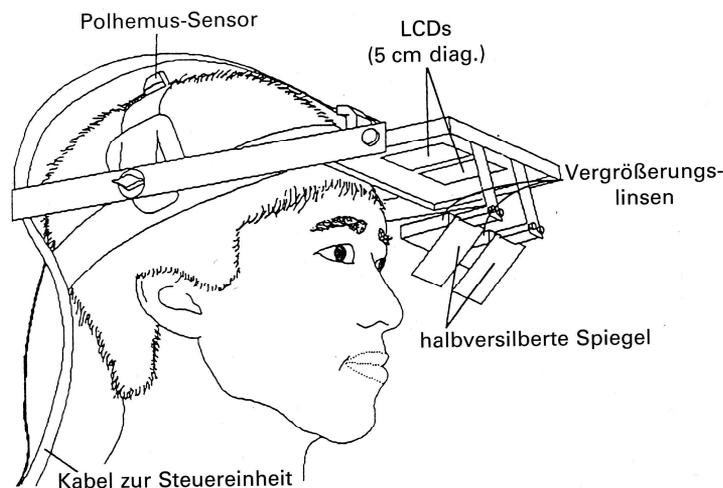


ABBILDUNG 7.

UNC Monitore

Außerdem haben sich die UNC-Wissenschaftler auf Sutherland's Konstruktion besonnen und darauf aufbauend ein eigenes Modell entwickelt. Hierbei werden die LCDs waagrecht (und nicht mehr senkrecht oder schräg) vor den Augen justiert. Diese Bildschirme stammten aus zwei Seiko-Fernsehern mit 5 Zentimetern Diagonale und einer Auflösung von 320 x 220 Pixel. Die Monitorbilder wurden (durch eine Vergrößerungslinse) abwärts auf einen Spiegel projiziert, der im 45° Grad Winkel vor dem Auge des Benutzers angebracht wurde. Hierdurch kann der Benutzer nicht nur die reflektierten Bilder, sondern auch die Außenwelt sehen. Das waagrechte Gesichtsfeld beträgt etwa

44. Durch diese Vergrößerung des Gesichtsfeldes wird das immersive Erlebnis gesteigert.

25° Grad. Der Helm war relativ leicht, da die Elektronik, statt auf dem Helm, in einer Gürteltasche untergebracht wurde.

Das VPL–EyePhone.

Die Firma VPL–Research wurde 19985 von Jaron Lanier und Jean-Jaque Grimaod gegründet⁴⁵. Das VPL-EyePhone⁴⁶ (siehe Abbildung 8 auf Seite 23) war der erste kommerzielle Monitorhelm für VR-Anwendungen. Es bietet farbige LCDs mit einer Auflösung von 360 x 240 Pixel und bietet mit Hilfe der LEEP-Weitwinkellinse ein waagerechtes Gesichtsfeld von 100° Grad. Damit kein diffuses Licht eindringen kann, ist der Helm, wie bei einer Tauchermaske, mit einem Gummiband am Kopf befestigt. Das Gesamtgewicht liegt bei ca. 2 Kilo.



ABBILDUNG 8.

VPL - EyePhone

Außerdem gibt es noch zwei modernere Systeme von VPL-Research: Das EyePhone LX und das EyePhone HRX. Sie sind vollkommen neu gestaltet und bieten daher höheren Tragekomfort

45. Vgl. Kalawsky, Roy S.: „The Science of Virtual Reality and Virtual Environments“, Addison-Wesley Publishing Company, Cambridge, 1994, S. 35.

46. VPL Research inc., 950 Tower Lane, 14 th Floor, Foster City, CA 94004

und eine höhere Pixel-Auflösung ihrer Farbmonitore (LX: 422 x 238 Pixel; HRX: 720 x 480 Pixel). Neue Fresnel-Linsen⁴⁷ ersetzen die herkömmlichen LEEP-Linsen. Sie bieten zwar auch nur ein Gesichtsfeld von 109° Grad, sind dafür aber fast um die Hälfte leichter, als der Prototyp⁴⁸.

Visette.

Im Jahre 1987 gründete Dr. Jon Waldern die Firma W-Industries, die 1990 mit einem Virtuality System den Markt betrat, welches aus drei Hauptkomponenten⁴⁹ besteht. Eine dieser Hauptkomponenten bildet die „Visette“, ein HMD mit zwei niedrig auflösenden⁵⁰ (low resolution) LCDs, die ein Gesichtsfeld zwischen 90° und 120° Grad⁵¹ bieten. „Die „Visette“ war vermutlich das erste allgemein erhältliche VR-Monitorssystem.“⁵² Darüber hinaus ist das HMD mit einem head position sensor, einem 4-Kanal Audio-System und einem Mikrophon ausgestattet. Wahrscheinlich nicht zuletzt wegen ihres ansprechenden Designs und ihrer Robustheit, findet die „Visette“ Einsatz in vielen Cyberspace-Cafés und Spielhallen. In diesem Marktsegment ist das gesamte VR-System von W-Industries wahrscheinlich marktführend⁵³.

47. Vgl. Aukstakalnis, Steve, Blatner, David: „Cyberspace, die Entdeckung künstlicher Welten“, vgs verlagsgesellschaft, Köln, 1994, S. 88.

48. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 12, 52-56.

49. Vgl. Kalawsky, Roy S.: „The Science of Virtual Reality and Virtual Environments“, Addison-Wesley Publishing Company, Cambridge, 1994, S. 40.

50. 276 x 372 Pixel

51. Durch den User einstellbar.

52. Aukstakalnis, Steve, Blatner, David: „Cyberspace, die Entdeckung künstlicher Welten“, vgs verlagsgesellschaft, Köln, 1994, S. 88.

53. Aukstakalnis, Steve, Blatner, David: „Cyberspace, die Entdeckung künstlicher Welten“, vgs verlagsgesellschaft, Köln, 1994, S. 88.

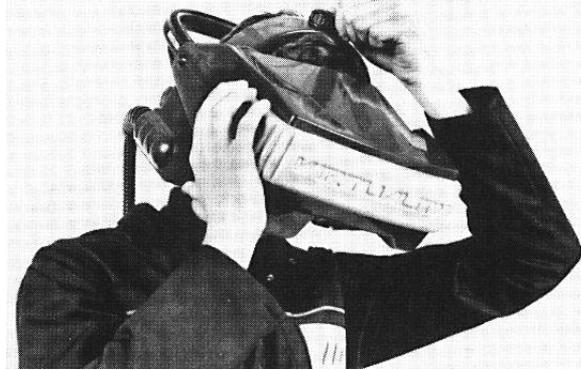


ABBILDUNG 9.

Visette

3.2 Das Hören, Melanie Läge

Für viele Menschen ist die visuelle Wahrnehmung der wichtigste menschliche Sinn. Das Hören wird meist nur mit Sprache oder Musik assoziiert. Denkt man jedoch an Situationen, wie das Klingeln eines Telefons oder das Hupen eines Autos, so wird einem bewußt, daß der Mensch ohne das Gehör in vielen Fällen nicht angemessen reagieren kann. Erst in den letzten Jahren beschäftigt sich auch die VR-Forschung mit der akustischen Information, die den User um eine Sinneswahrnehmung im Cyberspace bereichert.

3.2.1 Akustische Richtungsbestimmung, Melanie Läge

Es ist erstaunlich, wie genau das menschliche Gehör arbeitet. Es ermittelt nicht nur, wie laut oder wie hoch ein Ton wahrgenommen wird, sondern vor allem *woher* er kommt. Fällt zum Beispiel ein Buch hinter einem zu Boden, so wird man genau dorthin schauen. Diese Gehörfunktion nennt sich „akustische Richtungsbestimmung“ und spielt eine wichtige Rolle für den Einsatz akustischer Signale in VR-Anwendungen⁵⁴. Der Mensch

leitet die Schallrichtung vor allem aus drei wichtigen Faktoren ab: dem Zeitunterschied, der Lautstärke und dem Schallschatten⁵⁵.

3.2.1.1 Interauraler Zeitunterschied, Melanie Läge

Betrachtet man den Schall in Form von Wellen, so ist leicht zu erkennen, daß schräg eintreffender Schall das entfernte Ohr etwas später trifft, als das nähere. Kommt ein Ton von rechts, so trifft er zunächst auf das rechte Ohr. Dieses Phänomen nennt man interauralen⁵⁶ Zeitunterschied. In sehr seltenen Fällen kommt der Schall von oben oder unten und trifft dann auf beide Ohren gleichzeitig. In diesem Fall ist es nicht möglich die Schallrichtung zu Orten.

3.2.1.2 Interaurale Lautstärke, Melanie Läge

Die Intensität, d. h. die Lautstärke, eines Schalls nimmt mit der Entfernung ab. Ein schräg eintreffender Schall wird demnach von beiden Ohren unterschiedlich laut wahrgenommen. Kommt der Schall von rechts, klingt er im rechten Ohr lauter als im linken. Es ist zu beachten, daß tiefe Töne weitaus weniger Lautstärkedifferenz als hohe Töne aufweisen⁵⁷.

3.2.1.3 Schallschatten, Melanie Läge

Hohe Töne haben eine weitere interessante Eigenschaft: Sie lassen sich leicht den Weg versperren. Es genügen schon sehr kleine Objekte, um kurzweiligen Schall abzulenken. Der Schall

54. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 20.

55. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 120.

56. zwischen den Ohren

57. Vgl. „Der Große Knauer“, Band 16, Lexikographisches Institut, München, 1983, S. 7005.

scheint der interauralen Lautstärkenschwankung sehr ähnlich, trotzdem verwendet das Gehirn unterschiedliche Kriterien, um die abnehmende Intensität entweder auf die Entfernung oder auf ein Hindernis zurückzuführen.

3.2.2 Weitere Faktoren der Richtungsbestimmung, Melanie Läge

Um virtuelle Räume möglichst real zu gestalten, gibt es neben den eben vorgestellten Methoden der Raumortung noch andere audiovisuelle Faktoren.

3.2.2.1 Visuelle Signale, Melanie Läge

Der Mensch tendiert zu glauben, was er sieht, selbst wenn dies nicht wahr sein kann. Diese Eigenschaft ist eine große Hilfe für die Richtungsbestimmung einer Schallquelle. Sehen wir etwas, das einen Ton wahrscheinlich verursacht hat, dann hören wir den Ton auch aus dieser Richtung. Visuelle Signale helfen dort weiter, wo akustische Meldungen mehrdeutig sind.

3.2.2.2 Klangerkennung, Melanie Läge

Bekannte Klänge sind leichter zu orten als unbekannte. Ein Beispiel für einen audiovisuellen Zusammenhang sind schlecht synchronisierte Filme, in denen der Abstand eines sprechenden Schauspielers zur Kamera viel größer ist als seine Stimme dies wiedergibt. Da der Mensch sich oft zuerst nach visuellen Signalen richtet, erzeugt dies einen Widerspruch.

3.2.2.3 Echo-Ortung, Melanie Läge

Echos bieten Informationen über die Umgebung. Indem die reflektierten Schallwellen ausgewertet werden, ist es möglich

Angaben über Größe und Beschaffenheit eines Raumes zu erfahren. Ein leerer Lagerraum hallt anders, als ein Wohnzimmer. In einem Cyberspace können akustische Signale durch falsche Daten in die Irre führen, läßt man die Echo-Ortung außer acht. Ein Architekt, der die Wirkung einer Konzerthalle virtuell durchwandert, muß die Wirkung des Echos berücksichtigen.

3.2.3 Klangerzeugung, Melanie Läge

Benutzt ein VR-Designer die gleichen Instrumente, die auch ein Musiker verwendet, um Töne zu kreieren, so hat er fast unbeschränkte Flexibilität im Umgang mit den Tönen. Die bekannteste Methode zum Kontrollieren und Umwandeln von Tönen ist der MIDI⁵⁸ Standard. Töne werden erst digital aufgenommen bzw. von einem analogen in ein digitales Format gewandelt, um dann mit Hilfe eines Sequencers⁵⁹ abgespielt werden zu können.

Jeder Ton kann gesampelt⁶⁰ werden: Stimmen, Musikinstrumente und spezielle Effekte. Beim Abspielen lassen sich viele Modifikationen vornehmen z. B. das Ändern der Frequenz oder Echo-Effekte. Abhängig von der Komplexität des Sequencers lassen sich die Töne in vielen verschiedenen Eigenschaften verändern.

In der virtuellen Welt schickt der Designer einfach einen Befehl wie: „Spiele Note 14 auf Kanal 1“ an den Computer. Bei der Benutzung eines externen MIDI-Sequencer ist zu beachten, daß dieser vorher mit allen, für die Simulation nötigen, Dateien geladen werden muß.

58. MIDI= Musical Instruments Digital Interface

59. Sequencer: Software zur Sound-Editierung, -Aufnahme und Wiedergabe für elektronische Musikinstrumente, die mit einer MIDI-Schnittstelle ausgestattet sind. Die Funktionsweise ähnelt einem Mehrspur-Rekorder. Jedoch ist die Flexibilität und die Geschwindigkeit, mit der Veränderungen vorgenommen werden können, auf Grund des Vorhandenseins der Information in digitaler Form wesentlich größer.

60. Analog-/ Digital-Wandlung (A/D-Wandlung)

Benutzt man den MIDI-Standard, so kann der Computer hunderte verschiedener musikalischer Mittel ausschöpfen. Fast alle elektronischen Musikgeräte unterstützen MIDI. Es existieren außerdem viele verschiedene Geräte, die das Kreieren einzigartiger Töne ermöglichen.

Natürlich ist es auch möglich andere, nicht den MIDI-Standard unterstützende Geräte, in den virtuellen Welten zu verwenden. Computer, wie Amiga, Macintosh und Next haben bereits relativ kraftvolle Tongenerationen in ihre Systeme eingebaut.

3.2.3.1 Einschränkungen, Melanie Läge

Töne unterscheiden sich von visueller Information in einem weiteren wichtigen Punkt, sie benötigen eine relativ stark fixierte Wiedergabegeschwindigkeit. Hat das Abspielen der Töne erst begonnen, so kann dies nicht mehr unterbrochen werden ohne den Ton nachweisbar zu unterbrechen.

Dies gilt nicht für visuelle Information. Es ist möglich einen Film schneller, oder langsamer abzuspielen und ihn sogar zu unterbrechen ohne dabei den Kontext des Filmes nicht zu verstehen. Eine Tonaufnahme, die schneller oder langsamer abgespielt wird, ist meist nicht zu verstehen.

Dieser Unterschied ist extrem wichtig, denn in virtuellen Umgebungen wechselt die Bildrate, je nach dem was der Anwender betrachtet, von Moment zu Moment. Würde man den Ton mit Bildern synchronisieren, so würde er ständig schwanken. Daraus ergibt sich, daß Töne unabhängig von den Bildraten kreiert werden müssen.

Dies bedeutet auch, daß filmähnliche Musical-Soundtracks, bei denen visuelle Aktionen mit bereits aufgenommenen Tönen synchronisiert werden müssen, in einer virtuellen Welt fast unmög-

lich zu gestalten sind, da es keinen einfachen Weg gibt die Synchronisation permanent zu erhalten. Statt dessen müssen Töne direkt auf Aktionen oder Dinge abgestimmt sein. So können zum Beispiel einige Noten abgespielt werden, wenn man einen Plattenspieler passiert, oder man hört die Tür knallen nachdem man sie durchschritten hat.

Eine andere Lösung wäre es virtuelle Welten zu gestalten, die mit festen Bildraten laufen. Sehr teure Computer sind dazu in der Lage⁶¹, doch es wird noch eine Weile dauern, bis preiswerte Systeme dies anbieten.

3.2.4 3-D-Ton, Melanie Läge

Im Rahmen der üblichen Aufnahme- und Wiedergabetechniken, wie in den meisten Stereoaufnahmen, beschränkt sich die Schallortung auf rechts und links. Bei der dreidimensionalen Schallortung gibt es kaum einen Unterschied zwischen Klangfeldern im Kopf und Klangfeldern von allen Seiten. Es ist sehr schwierig Klang zu schaffen, der von einer ganz bestimmten Stelle zu kommen scheint. All die feinen Signale, wie interauraler Zeitunterschied, interaurale Lautstärke, Schallschatten, visuelle Hilfen, Klangerkennung und Echo-Ortung müssen in die beiden Tonkanäle integriert werden, die unsere Ohren erreichen.

3.2.4.1 Erzeugung von 3-D-Ton, Melanie Läge

Ein typischer Versuch zur Erzeugung von 3-D-Ton würde wie folgt durchgeführt. Eine Versuchsperson⁶² (kurz: VP) befindet sich in einem echofreien Raum. Tief im Ohr, nahe am Trommelfell, stecken kleine Mikrophone. Um die VP sind ca. 144 Laut-

61. Im Workstation-Markt dominiert besonders bei graphischen Anwendungen (wie VR) der Hersteller Silicon Graphics Inc. (kurz: SGI) mit einem Marktanteil von etwa 65%.

62. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 122.

sprecher angeordnet, die nacheinander einen Ton abspielen, der durch die Mikrophone aufgenommen wird. Die Aufnahme erfaßt also den Ton, *nachdem* er bereits von den Schädelknochen, der Ohrmuschel und dem Gehörgang vorverarbeitet wurde. Ein Ton nach dem anderen wird aufgenommen. Anschließend werden der VP die Mikrophone entfernt und die aufgenommen Töne über Kopfhörer vorgespielt. Sie erscheinen dreidimensional. Solange die Aufnahmen aus dem eigenen Ohr abgespielt werden, erzeugt die Raumerkennung keine Probleme. Handelt es sich jedoch um fremd aufgenommene Töne, so wird die Raumerkennung sehr ungenau.

Leider ist zu bemerken, daß ebenso wie 3-D-Filme, ein Tonband niemals dreidimensional und interaktiv sein kann. Töne aus dem Kopfhörer kommen immer nur aus einer Richtung, nämlich aus der sie aufgenommen wurden. Es spielt keine Rolle, wie man sich wendet und dreht. Wirklich interaktiven Klang kann man daher nicht mit aufgenommenen Tönen schaffen, sondern nur mit einem Computer, der Töne in Echtzeit hervorbringen kann.

3.2.4.2 Sound Software, Melanie Läge

Convolvotron.

Umfangreiche Arbeiten auf dem Gebiet der Tonerzeugung hat das Forschungszentrum der NASA in Zusammenarbeit mit dem kalifornischen Unternehmen Crystal River Engineering geleistet. Sie entwickelten einen Satz Computer-Steckkarten mit dem Namen Convolvotron. Es handelt sich hier um einen äußerst leistungsstarken Prozessor digitaler Akustiksignale, der eine analoge Tonquelle mittels mathematischen Funktionen so konvolviert, daß ein dreidimensionaler Klangeffekt entsteht.⁶³

63. Vgl. Kalawsky, Roy: „The Science of Virtual Reality and Virtual Environments,, Wokingham, Addison-Wesley Publishing Company, 1993, S. 184.

Töne von einer CD, aus einem Computer oder von einer anderen äußeren Quelle, durchlaufen den Convolvotron und werden dann an den Raum um den Hörer abgegeben. Eine Trommel könnte in der einen Ecke, eine Flöte in der anderen spielen. Die akustischen 3-D-Signale kommen aus den Filtern des Convolvotron und werden durch Computer-Software gesteuert.⁶⁴

Der Convolvotron kann vier statistische oder bewegliche Schallquellen simulieren. Ein Magnetortungssystem (siehe auch Gliederungspunkt 8.3) verfolgt die Bewegungen des Benutzers, und der Computer paßt die Töne den Bewegungen an.

Virtual Audio Processing System.

Das Virtual Audio Processing System⁶⁵ kurz VAPS genannt, bringt die nicht-interaktiven Stereoaufnahmen und digitale Signalverarbeitung, wie beim Convolvotron, zusammen und erzeugt 3-D-Klangfelder. Doch diese aufgezeichneten 3-D-Klänge sind immer noch nicht interaktiv. Das akustische Umfeld bleibt, relativ zur Position, stabil.

3.3 Das Fühlen, Melanie Läge

Bis jetzt hat sich die Interaktion in virtuellen Welten auf das Sehen und das Hören beschränkt. Doch Interagieren im Cyberspace heißt auch anfassen und berühren. Dazu braucht man Geräte, die Körperbewegung in Computerbefehle umwandeln. Es scheint sehr unwahrscheinlich Geräte zu entwickeln, die so realistisch, wie die visuellen und akustischen Geräte, funktionieren. Die Komplexität ein Gerät zu entwickeln, das den Unter-

64. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 50.

65. Vgl. Kalawsky, Roy: „The Science of Virtual Reality and Virtual Environments,, Wokingham, Addison-Wesley Publishing Company, 1993, S. 187.

schied zwischen dem Gefühl von Samt und Frottee verdeutlicht, ist weit über dem heutigen Entwicklungsstand. Das Problem liegt nicht nur bei der Entwicklung von mechanischen Geräten, die den Feedback generieren, sondern auch darin dem Computer den Unterschied dieser beiden Stoffe zu erklären.

3.3.1 Rückkopplungsgeräte, Melanie Läge

Um virtuelles Berühren möglichst glaubhaft zu simulieren, haben Forscher Geräte zur Übertragung taktiler und Krafrückkopplung entwickelt. Diese Geräte sind einfach zu verstehen. Sie drücken gegen Arme und Hände, um Rezeptorsignale⁶⁶ auszulösen. Wie bereits erwähnt, erweist sich die Entwicklung von Technologien, die mehr als nur die einfachsten Tastempfindungen simulieren, als äußerst schwierig.

Es gibt einen Unterschied zwischen taktiler und Krafrückkopplung. Taktile Empfindungen werden meistens durch die Signale der Mechanorezeptoren hervorgerufen. Krafrückkopplung hingegen kann man sich als Widerstand oder Kraft vorstellen, die auf die Hand wirkt. Diese Empfindungen werden in den Muskeln, Sehnen und Gelenken registriert und verursachen taktile Signale.

3.3.1.1 Argonne Remote Manipulator, Melanie Läge

Der Argonne Remote Manipulator⁶⁷, kurz ARM genannt, hat seinen Ursprung nicht in der VR-Forschung. Schon Jahre bevor die Virtuelle Realität die High-Tech-Szene betrat, gab es viele Aufgaben, die nach taktilen - oder Krafrückkopplungssignalen verlangten. Ein Beispiel dafür sind Roboterarme, die radioaktives Material bewegen. Für eine solche Anwendung wurde der ARM E3 entwickelt. Der ARM ist ein langer, mehrgelenkiger Arm, der

66. Rezeptorsignale= Sinneszellensignale

67. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 42-43.

von der Decke herabhängt. Entlang der drei Achsen X, Y und Z und dreier Drehrichtungen gibt das Gerät einfache Rückkopplungssignale an die Hand, das Handgelenk, den Ellenbogen und die Schultern des Bedieners. Zur Zeit wird der ARM an der Universität von North Carolina eingesetzt. Hier können Chemiker richtig „fühlen“, wie gut Moleküle zueinander passen.

3.3.1.2 Das TeleTact-Rückkopplungssystem, Melanie Läge

Das TeleTact-Rückkopplungssystem⁶⁸ überträgt taktile Reize mittels winziger Luftpolster. Die kleinen Luftpolster füllen und leeren sich sehr schnell. Das System, kurz TeleTact genannt, besteht aus zwei Kunststoffhandschuhen: einem Datenaufnahme-Handschuh (DAH) und einem TeleTact-Handschuh. Der DAH enthält 20 kraftempfindliche Widerstände an der Hand und am Fingeransatz. Greift man nun mit übergezogenem Handschuh einen realen Gegenstand, so registriert er spezielle Kraftmuster. Diese werden in 20 proportionale elektrische Werte umgesetzt und im Computer gespeichert. Aus den vorhandenen Daten werden sogenannte Schablonen angefertigt, die verschiedenen Objekten verschiedene Kraftmuster zuordnen. Die Daten werden über den TeleTact-Handschuh wiedergegeben. Dieser besteht ebenfalls aus Luftpolstern, denen die entsprechenden gespeicherten Widerstände des DAH zugeordnet sind. Ein Kompressor pumpt Luft in die Polster und zwei Magnetpulenventile, für Luftzufuhr und Druckausgleich, regulieren die Füllung jeder Kammer. Somit wird eine entsprechende Tastempfindung erzeugt.

68. Vgl. Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin: „Virtual Reality. Through the new looking glass.“ Intel/Windcrest/McGraw-Hill, Inc., New York, 1993, S. 124.



ABBILDUNG 10.

TeleTact - Rückkopplungssystem

3.3.1.3 *Das TiNi Alloy-Rückkopplungssystem, Melanie Läge*

Ein weiteres interessantes System wurde von der kalifornischen Firma TiNi-Alloy⁶⁹ entwickelt. Es arbeitet mit Gedächtnismetallen. Dies sind Legierungen, die sich Formen merken können. Diese Metalle nehmen im kalten oder warmen Zustand verschiedene Formen an. Wird es verformt und über eine bestimmte Temperatur hinaus erwärmt, so erhält es seine ursprüngliche Form zurück. Wickelt man einen solchen Draht z. B. um einen Bleistift, so erinnert er sich nach dem Erhitzen an die Form. Mit Hilfe dieses Phänomens können verschiedene Materialformen und physikalische Eigenschaften simuliert werden.

69. Vgl. Aukstakalnis, Steve, Blatner, David: „Cyberspace, die Entdeckung künstlicher Welten“, vgs verlagsgesellschaft, Köln, 1994, S. 138.

Beim TiNi Alloy-System wird ein aus Nitinol⁷⁰ bestehender Draht an einem halbflexiblen Metallblech angebracht. Dieses Blech ist an einem Ende rechtwinklig abgebogen. Es wird als Taktor bezeichnet. Die ersten Prototypen bestanden aus 30 Taktoren, die sich beim Erhitzen des Nitinol-Drahts durch dessen Kontraktion vom Boden abheben. Am Gehäuse sind kleine Löcher angebracht, durch die die abgewinkelten Enden der Taktoren beim Erwärmungsvorgang hindurchdringen und somit ein taktiler Feedback, der auf dem Gehäuse aufliegenden Hand des Benutzers, ermöglichen⁷¹.

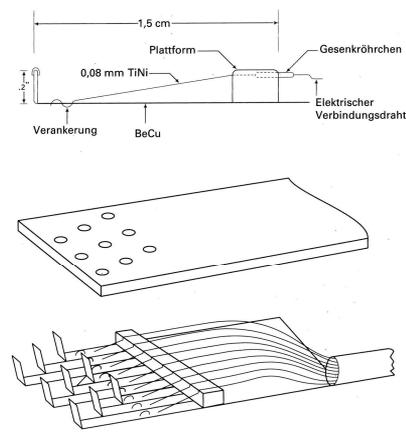


ABBILDUNG 11.

TiNi Alloy Rückkopplungssystem

4.0 Interaktion, Melanie Läge

In den vergangenen Jahren wurden Computer mit Hilfe der unterschiedlichsten Geräte gesteuert: angefangen mit Schaltern und Wählscheiben, über Lochstreifen, Tastaturen und Mäuse. Bei 2-D Anwendungen hat sich die Maus als intuitives Steue-

70. Spezielle Legierung, die den beschriebenen Memory-Effekt besitzt.

71. Vgl. Aukstakalnis, Steve, Blatner, David: „Cyberspace, die Entdeckung künstlicher Welten“, vgs verlagsgesellschaft, Köln, 1994, S. 139ff.