

# Autostereoskopische Wiedergabesysteme

Diplomarbeit an der Hochschule der Medien, Fachhochschule Stuttgart  
Fachbereich Electronic Media  
Studiengang Audiovisuelle Medien

vorgelegt von Veronika Fischer  
am 27. April 2007

Erstprüfer Prof. Dr. Johannes Schaugg  
Zweitprüfer Prof. Dipl.-Ing. Uwe Schulz

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.  
Alle Quellen, die wörtlich oder sinngemäß verwendet wurden, sind als solche gekennzeichnet.

München, den 27. April 2007

Veronika Fischer

## Vorwort

Wir leben in einer Zeit rasanter Veränderungen in der Medienwelt. Die Fortentwicklung der Informationstechnologie, die Vernetzung durch das Internet und der Wandel von analogen zu digitalen Arbeitsweisen bilden die Basis für weitere Neuerungen in diesem Bereich.

Eine dieser neuen Technologien, die meiner Meinung nach das Potential in sich trägt neue Standards für die Darstellung und Wahrnehmung von Bildern zu setzen, möchte ich in dieser Arbeit vorstellen:

Autostereoskopische Wiedergabesysteme. Verfahren, die eine dreidimensionale Darstellung und das Betrachten dieser ohne Hilfsmittel wie Polarisations- oder Shutterbrille ermöglichen.

Mein Ziel ist es mit dieser Arbeit einen aktuellen Überblick über dieses sich rasch entwickelnde und bislang noch unübersichtliche Themengebiet herauszuarbeiten.

Einleitend werden in Kapitel 1 die wesentlichen historischen Entwicklungsschritte geschildert. Das 2. Kapitel erläutert die Voraussetzungen für dreidimensionales Sehen, das 3. Kapitel autostereoskopische Lösungsansätze unterschiedlicher Hersteller und Projektgruppen. In Kapitel 4 wird beispielhaft das weite Spektrum von Einsatzmöglichkeiten autostereoskopischer Systeme in den Bereichen Unterhaltung, Industrie und Medizin aufgezeigt. Das letzte Kapitel behandelt Fragen zur Produktion von 3D Content und der Konvertierung von 2D zu 3D.

Um zusätzlich neben der theoretischen Betrachtung auch praktische Erfahrungswerte mit einfließen zu lassen, war es mir wichtig neben der Quellenrecherche Meinungen und Standpunkte von Personen einzuholen, die bereits in ihrer beruflichen Praxis mit diesem Themengebiet in Berührung gekommen sind.

So möchte ich an dieser Stelle Frau Dr. med. Eva U. Braun M. Sc. und Herrn Dr. med. Paul Libera vom Deutschen Herzzentrum München, Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie sowie Josef Kluger, Geschäftsführer der KUK Filmproduktion GmbH für die aufschlussreichen Gespräche und das bereitgestellte Material danken.

## Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	S. 2
Vorwort	S. 3
Inhaltsverzeichnis	S. 4
<b>KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung</b>	
1.1 Eine Entwicklungsgeschichte des Abbildes	S. 5
1.2 Die dritte Dimension	S. 10
<b>KAPITEL 2 Grundlegende Aspekte der Tiefenwahrnehmung</b>	
2.1 Monokulare Tiefenkriterien (pictorial cues)	S. 21
2.2 Bewegungsinduzierte Tiefenkriterien	S. 24
2.3 Okulomotorische Tiefeninformationen	S. 24
2.4 Querdissipation und Stereopsis	S. 25
2.5 Anwendung der Erkenntnisse in der Stereoskopie	S. 28
<b>KAPITEL 3 Autostereoskopische Wiedergabesysteme und deren Funktionsprinzip</b>	
3.1 Parallaxenbarriere und Linsenrasterverfahren	S. 31
3.2 Anwendung der Verfahren bei autostereoskopischen Monitoren	S. 33
3.3 Volumetrische, multiplanare Darstellungstechniken	S. 42
<b>KAPITEL 4 Einsatzbereiche autostereoskopischer Wiedergabesysteme</b>	
4.1 Einsatz in der Industrie	S. 47
4.2 3D Technik in der Medizin	S. 49
4.3 Einsatz im Unterhaltungssektor	S. 52
<b>KAPITEL 5 Produktion von 3D Content</b>	
5.1 2D-3D Konvertierung	S. 55
5.2 Stereoskopische Produktion von 3D Content	S. 56
<b>KAPITEL 6 Persönliche Einschätzung</b>	S. 66
Literaturverzeichnis	S. 70
Abbildungsverzeichnis	S. 75
<b>ANHANG</b>	
1 Interview Dr. med Eva U. Braun M. Sc.	S. 80
2 Interview Dr. med Paul Libera	S. 83
3 Interview Josef Kluger	S. 86



### 1 Faszination der realen Darstellung und deren Entwicklung

Der Prozess der realen Darstellung entwickelte sich über einen langen Zeitraum der Menschheitsgeschichte: Vom reinen Abbilden des visuell Wahrgenommenen bis zum Bewusstwerden von Perspektive und wahrnehmungspsychologischen Grundsätzen, über den naiven Realismus hin zur Fotografie, vom schwarz-weißen Laufbild zur Farbe, vom flachen Bild zur dreidimensionalen Darstellung.

**Was treibt Menschen zu diesen Entwicklungen?  
Welche Faszination geht davon aus?**

#### 1.1 Eine Entwicklungsgeschichte des Abbildes

Seit Anbeginn seines Daseins strebt der Mensch nach einer möglichst realistischen Darstellung seiner Umwelt. Bis heute hat es nie an Versuchen gefehlt, das Gesehene in irgendeiner Form festzuhalten, wobei sich neben neuen technischen Erkenntnissen und Möglichkeiten auch der Sinn und Zweck dieser Darstellungen änderten.

#### Anfänge der Darstellung

Die ältesten aller erhaltenen Bilder stammen aus der Eiszeit und sind „beinahe so alt, wie die ersten Spuren menschlichen Könnens überhaupt“ (Gombrich 1995, S. 41).



ABB. 1.1 Höhlenmalerei, Lascaux, Frankreich

Diese Höhlenmalereien (15000 bis 10000 v. Chr.) in Altamira, Spanien und Lascaux, Südfrankreich zeigen Tiere wie Mammuts, Rentiere und Pferde. Es wird angenommen, dass die Jäger sich durch das Abbilden ihrer mit Speeren attackierten Beute erhofften, dass Ihnen die wirklichen Tiere „auch zum Opfer fallen“ (Gombrich 1995, S. 42).

Diese Bilder zählen in Forscherkreisen zu den eindrucksvollsten Abbildungen der vorgeschichtlichen Kunst. Dennoch sind diese Zeichnungen erste „primitive Versuche, die Wirklichkeit darzustellen“ (Kluth 1955, S. 8).

Ebenso wie diesen Höhlenmalereien haftete dem Abbild in der ägyptischen Kunst eine magische Wirkung an. So glaubten die Ägypter, dass „die Seele in dem Bild und durch

## KAPITEL 1 Faszination der realen Darstellung und deren Entwicklung

das Bild fortdauere." (Gombrich 1995, S. 58).

Demnach wurden die Mächtigen des Landes mumifiziert und in reich ausgeschmückte, mit Abbildern versehene Grabstätten gebettet. Die Zeichnungen an den Wänden der Pyramiden stellten eine Art illustrierten Lebenslauf der dort begrabenen Person dar. Hierbei ist bemerkenswert, dass die Künstler nicht nur das zeichnen, was sie sahen, sondern auch die Bedeutung der Personen unterstrichen. So wurden die Diener natürlich kleiner gezeichnet wie die verstorbene Person selbst.

Die abgebildeten Menschen und Tiere beschränkten sich auf das Wesentliche. Sie wurden aus geometrischen Formen zusammengesetzt, ausschließlich im Profil gezeigt und wiesen keinerlei Plastizität oder Tiefenillusion auf. Es sollte noch einige Zeit vergehen, bevor der „dekorativ-lineare Charakter von einer malerischen Auffassung abgelöst wird“ (Kluth 1955, S. 9).

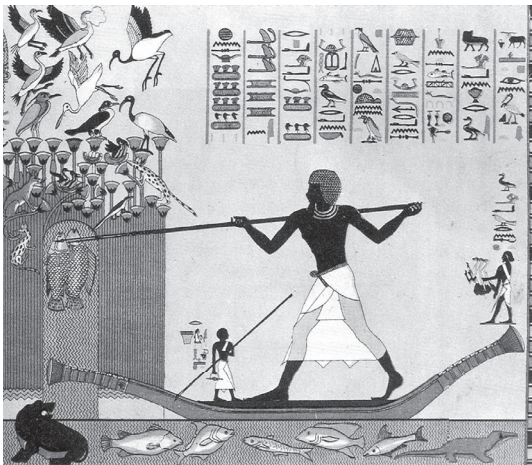


ABB. 1.2 Wandgemälde aus dem Grab von Chnemhotep, etwa 1900 v. Chr.

Zu Zeiten des Imperium Romanum dienten Wandmalereien vor allem dem Verschönerungszweck. Demnach veränderten sich nicht nur die Motive, sondern auch die Art und Weise der Malerei.



ABB. 1.3 Landschaft, Wandgemälde Villa Albani, Rom, 1. Jahrhundert n. Chr.

Dieses Wandgemälde in der römischen „Villa Albani“ zeigt eine Landschaft, welche auf

## KAPITEL 1 Faszination der realen Darstellung und deren Entwicklung

den ersten Blick durchaus realistisch zu sein scheint. Doch bei genauerem Betrachten fällt auf, dass zwar entfernte Gegenstände kleiner und nähere größer gezeichnet sind, doch spiegeln ihre Verhältnisse und Beziehung zueinander nicht die Realität wieder. Dies ist nicht verwunderlich, denn im 1. Jahrhundert nach Christus, in welchem dieses Wandgemälde entstand, waren die genauen Gesetzmäßigkeiten einer perspektivisch korrekten Darstellung noch nicht bekannt.

### Die Zentralperspektive

Erst in der Renaissance stellte der Architekt Filippo Brunelleschi (1377-1446) die mathematischen Gesetze der Perspektive auf, die für uns heute selbstverständlich sind. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde selbst neben der symbolistischen Kunst das imitiert was gesehen wurde, ohne perspektivische Gesetzmäßigkeiten zu kennen. Dies gelang zum Teil sehr gut. Gerade die hellenistischen Maler bewiesen „großes Geschick in der Erzeugung einer Illusion der Tiefe“ (Gombrich 1995, S. 229).

Erst die Entdeckung der Zentralperspektive lieferte das Werkzeug, die „genaue Anordnung der Dinge innerhalb der Natur“ (Zec 1987, S. 27) auf einer flachen Leinwand wiederzugeben. Zudem wurden sich die Künstler immer mehr des Raumes und dessen Tiefe bewusst. Während die sakralen Bilder des Mittelalters auf Goldgrund gemalt waren, entdeckten die Maler der Renaissance die unendliche Tiefe ferner Landschaften als Hintergründe ihrer Portraits und religiösen Motive (vgl. ABB. 1.4-1.6).



ABB. 1.4 Giotto di Bondone  
Thronende Madonna



ABB. 1.5 Piero della Francesca  
Federigo da Montefeltre



ABB. 1.6 Raffaello Santi  
Madonna im Grünen

Eine weitere Erklärung für die Zunahme der Tiefenillusion in der Kunst liefert der Psychologe Lloyd Kaufmann:

„One factor in the development of three dimensional space in paintings was the need for a more adequate and lifelike representation of those who paid for the paintings (...) painters had to create lifelike images of their patrons“ (Kaufmann 1974, S. 215).

Die Säkularisation der Kunst setzte langsam ein und immer mehr reiche Kaufleute



## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

schmückten ihre Anwesen mit Skulpturen und Gemälden, die, um den Ansprüchen des Auftraggebers zu genügen, immer präziser und realistischer wurden.

### Die Camera Obscura

Die folgenden Epochen reizten die Möglichkeiten der Tiefenillusion und der daraus resultierenden Plastizität voll aus. Wissenschaftliche Studien, wie die Leonardo da Vinci's (1452-1519), legten den Grundstein um „die sichtbare Welt besser verstehen und sie im Bilde festhalten zu können“ (Gombrich 1995, S. 296).

Wissenschaftler wie Künstler waren von nun an auf der Suche nach neuen technischen Verfahren, die das Anfertigen perspektivisch genauer Zeichnungen vereinfachen sollten. Einer dieser Apparaturen gilt als Vorläufer der Fotografie: Die Camera Obscura. Ein lichtdichter Kasten war mit einer kleinen Öffnung versehen, durch welche die herein tretenden Lichtstrahlen ein auf dem Kopf stehendes, seitenverkehrtes Abbild auf die Wand der dunklen Kammer projizierten.

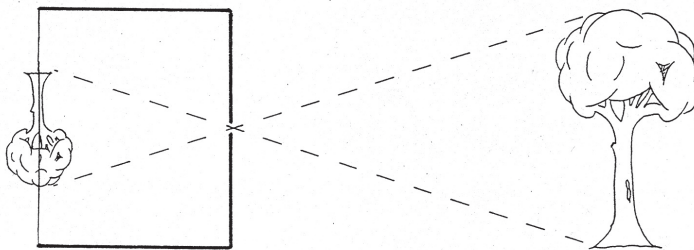


ABB. 1.7 Abbildungsprinzip der Camera Obscura

Als zeichnerische Hilfe beschreibt sie Daniele Barbaro (1513-1570) in seiner 1568 erschienenen Schrift „La pratica della prospettiva“ wie folgt: „Verfolgt man die Umrisse der Gegenstände dann auf dem Blatt mit einem Stift, so kann man das Bild perspektivisch richtig zeichnen. Weiter lässt sich das Bild schattieren und kolorieren, so wie es die Natur dir zeigt, dabei darf das Blatt nicht von seiner Stelle bewegt werden bis zur Beendigung der Zeichnung.“ (Zec 1987, S. 33).

Die Camera Obscura war also, wie von Barbaro beschrieben, das erste nützliche Hilfsmittel zur genauen Abbildung der Natur. Folgende Zeichnung von Athanasius Kircher (1602-1680) zeigt eine Lochkamera, in welcher ein Maler auf transparenten Wänden die Natur nachzeichnen konnte.

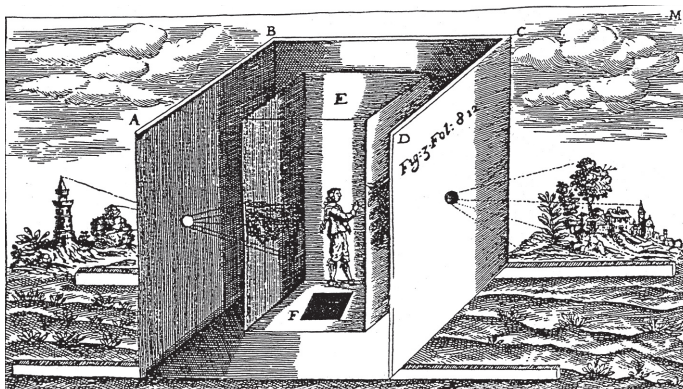


ABB. 1.8 Camera Obscura nach Athanasius Kircher, 1646

## KAPITEL 1 Faszination der realen Darstellung und deren Entwicklung

Während im 16. Jahrhundert die Erforschung der Funktionsweise und die Verbesserung der Optik dieser Apparatur im Vordergrund standen, wurde ein Jahrhundert später viel Aufwand betrieben, um kleine mobile Camerae Obscurae zu bauen. Durch deren Verbreitung wurde die Kamera nicht mehr ausschließlich von Künstlern und Wissenschaftlern genutzt, sie diente letztendlich auch der Unterhaltung, „da mit ihrer Hilfe die Herstellung von Bildern für jedermann um ein Vielfaches erleichtert wurde.“ (Zec 1987, S. 36).

### Die Fotografie

Im Jahre 1822 gelang es Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833) mit der Camera Obscura erstmals ein sich selbständig abbildendes Lichtbild aufzunehmen. Dieses Verfahren wurde von Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) weiter verbessert. Er hatte durch Zufall entdeckt, dass jodierte Silberplatten sich als Träger „für Lichtbilder von einer erstaunlich hohen Qualität und Genauigkeit“ (Zec 1987, S. 37) eigneten.

Durch die Weiterentwicklung des Aufnahmematerials war es nun tatsächlich möglich ein zweidimensionales Abbild der Realität zu schaffen. Diese Möglichkeit beeinflusste die bildende Kunst ungemein. Nicht nur dass sie ihren Zweck des reinen Abzeichnens verlor und andere Ziele wie die der absolut realistischen Abbildung verfolgte, ihre bisher gezeichnete Realität wurde sogar berichtigt.

Künstler, wie im 19. Jahrhundert Théodore Géricault, malten ihre galoppierenden Pferde oft mit allen vier ausgestreckten Beinen in der Luft. Erst durch die Weiterentwicklung der Fotografie gelang es Eadweard Muybridge (1830-1904) den eigentlichen Bewegungsablauf eines Pferdes zu dokumentieren. Durch diese ersten fotografischen Sequenzen bewies er, dass „sowohl Maler wie auch Publikum die ganze Zeit einer Täuschung unterlegen waren“ (Gombrich 1995, S. 27).

Paradoxerweise bemängelte das Publikum im Pariser Salon, nachdem viele Maler diese neuen Erkenntnisse in ihre Bilder einfließen ließen, dass an der neuen Darstellung etwas falsch sei.



ABB. 1.9 Pferderennen in Epsom  
Théodore Géricault, 1821

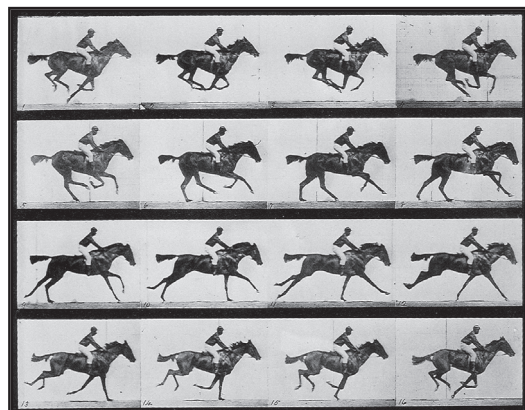


ABB. 1.10 Gallopiertes Pferd in Bewegung  
Eadweard Muybridge, 1872

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

Eadweard Muybridges Phasenfotografie ist ein weiteres entscheidendes Kettenglied in der Entwicklung der realistischen Abbildung. Nicht nur, dass seine Serien in gewisser Weise unser Realitätsbild beeinflusst haben, auch der Schritt von einem einzelnen statischen Bild hin zu einer Serie von Bildern, die als Daumenkino oder in einem Zoetrop (griech. Lebensrad) betrachtet eine erste Bewegungsdarstellung ermöglichten, ist von großer und zukunftsweisender Bedeutung.

### Das Laufbild, der Film

Die Geburt des Films hing im Wesentlichen von der Weiterentwicklung von Aufnahme- und Wiedergabetechniken ab. Bereits 1895 hatten die Brüder Auguste (1862-1954) und Louis (1864-1948) Lumière einen Cinematographen entwickelt.

Mit diesem war es ihnen erstmals möglich öffentlich kurze Laufbildsequenzen wie den bekannten Film „L' Arrivée d'un train en gare de La Ciotat“ zu zeigen. Für das Publikum muss der auf sie zukommende Zug erstaunlich echt gewirkt haben, denn dessen Lokomotive versetzte das Publikum „laut Überlieferung in panischen Schrecken“ (Gregor / Patalas 1973, S. 15).

Dies zeigt wie nahe die Brüder Lumière an die Darstellung der Realität herangekommen waren. Neben den später entwickelten Farb- und Tonaufnahmeverfahren fehlte zur abbildungs- und wahrnehmungstechnischen Perfektion eigentlich nur noch die Möglichkeit, dreidimensionale Bilder zu erzeugen und somit die Wahrnehmung von Tiefe zu ermöglichen.

### 1.2 Die dritte Dimension

Dreidimensionales Abbilden erfordert das Bewusstsein räumlichen Sehens. Die Wurzeln dieses Bewusstseins liegen viele Jahrhunderte zurück. Es wird angenommen, dass schon Euklid (ca. 365-300 v. Chr.) „das Prinzip der Stereoskopie gekannt haben“ (Kluth 1955, S. 16) soll.

So erwähnt er in seiner mathematischen Abhandlung „Die Elemente“, dass das räumliche Sehen mit nur einem Auge sich gegenüber dem binokularen, also zweiäugigen Sehen unterscheidet.

Später, um 1513, hielt das Allroundgenie Leonardo da Vinci in seinem „Trattato della pittura“ zu deutsch „Abhandlung über die Malerei“ als Erster fest: „a painting though conducted with the greatest art, and finished to the last perfection, both with regard to its contours, its lights, and its colors, can never show a relief equal to that of the natural objects unless these be viewed at a distance and with a single eye“ (Wheatstone 1838, S. 372).

Obwohl es Leonardo da Vinci in seinen Bildern gelang, Räumlichkeit durch perspektivisches Zeichnen und den Einsatz von weiteren pictorial cues (vgl. Kapitel 2) zu imitieren, war es ihm durchaus bewusst, dass es sich hierbei nur um Täuschung handelte und

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

diese nie an die Wirklichkeit herankommen würde. Dies begründete er damit, dass beide Augen „different views of the object“ (Kaufmann 1974, S. 265) haben, durch welche er quasi um einen Gegenstand herumschauen kann.

Viele Wissenschaftler beschäftigten sich seither mit dem Phänomen des räumlichen und binokularen Sehens. Kepler (1571-1630) beispielsweise schaffte die Basis für unsere heutigen Kenntnisse über das Fusionieren dieser beiden leicht unterschiedlichen Ansichten. So stellte er als Erster die Theorie auf, dass beide Bilder auf dem Kopf stehend auf die jeweilige Netzhaut (Retina) projiziert werden, und dann erst durch das Gehirn zu einem räumlichen Eindruck fusioniert werden. Interessanterweise litt er selbst an „monocular polyopia“ einem Defekt, welcher zeitweise Doppelbilder erzeugt (Kaufmann 1974, S. 265-266).

### Das Stereoskop

Es ist verwunderlich, dass erst im Jahre 1833 der Physiker Charles Wheatstone (1802-1875) dieses Wissen für die Entwicklung eines Systems nutzte, um „two slightly different angles of the same picture“ (R.M Hayes 1989, S. 1) betrachten zu können.

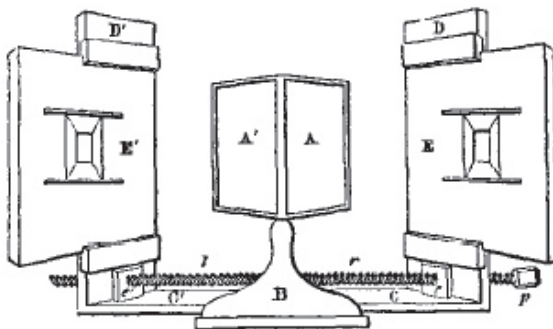


ABB. 1.11 Wheatstone's Spiegel-Stereoskop  
Wird der Kopf mittig vor den Spiegeln A und A' platziert, werden die Bilder E und E' stereoskopisch wahrgenommen

Hierzu fertigte er zwei perspektivisch leicht unterschiedliche Zeichnungen an, welche durch ein Spiegelsystem betrachtet räumliche Tiefe suggerierten. Durch diese Vorrichtung war garantiert, dass jedes Auge nur das jeweils zugehörige Bild sehen konnte und so einen künstlich hervorgerufenen plastischen Eindruck erzeugte. Die beiden perspektivisch unterschiedlichen Ansichten werden heute auch als Stereohalb bilder bezeichnet. Wheatstone benannte sein System Stereoskop, nach dem griechischen Begriff „stereo“ was so viel wie „körperlich“ bedeutet. Später ersetzte er die handgemalten Grafiken durch Fotografien.

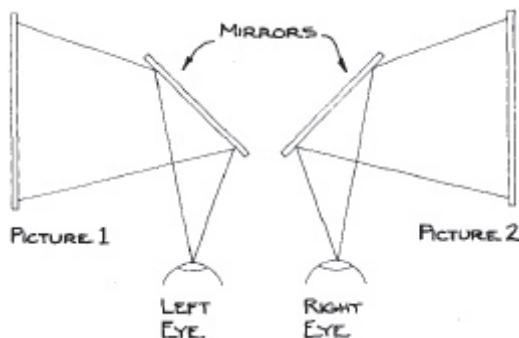


ABB. 1.12 Schematische Darstellung

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

Sir David Brewster (1781-1868) verfeinerte das Stereoskop, indem er um 1844 in seinen Betrachtungsapparat Linsen einbaute, um das Betrachten der Stereobilder angenehmer und einfacher zu gestalten. Durch die so erlangte Kompaktheit und Mobilität des Stereoskops gewann dieses schnell an Popularität.

Oliver Wendel Holmes schildert in seinem 1859 erschienenen Aufsatz über das Stereoskop die von diesem ausgehende Faszination folgenderweise:

„Der erste Eindruck den die Betrachtung einer guten Fotografie im Stereoskop vermittelt, ist eine Überraschung, die kein Werk der Malerei jemals in uns auslösen kann. Wir fühlen uns in die Tiefe eines Bildes hineingezogen. Die dünnen Äste eines Baumes im Vordergrund kommen auf uns zu als wollten sie uns die Augen auskratzen. Der Ellbogen der Figur steht derart heraus, dass wir uns bedrängt fühlen. Und dann ist da eine so erschreckende Fülle von Details, dass wir den gleichen Eindruck einer unendlichen Vielfalt empfangen, wie ihn die Natur selbst hervorbringt“ (Zec 1987, S. 41).

Wieder war ein bedeutender Schritt in der Evolution des realistischen Abbilds getan. Doch damit gaben sich Wissenschaftler und Tüftler jener Zeit nicht zufrieden, so fehlte noch der Schritt zum bewegten stereoskopischen Bild.

### Das stereoskopische Bewegbild

Die Entwicklung des stereoskopischen Films war verknüpft mit der Weiterentwicklung zweidimensionaler Aufnahme- und Wiedergabetechniken, denn ob zwei- oder dreidimensional, das Aufnahmematerial (Schwarzweiß- und später Farbfilm) war gleich, ebenso wie die Projektoren, welche für den Raumfilm „lediglich“ modifiziert wurden.

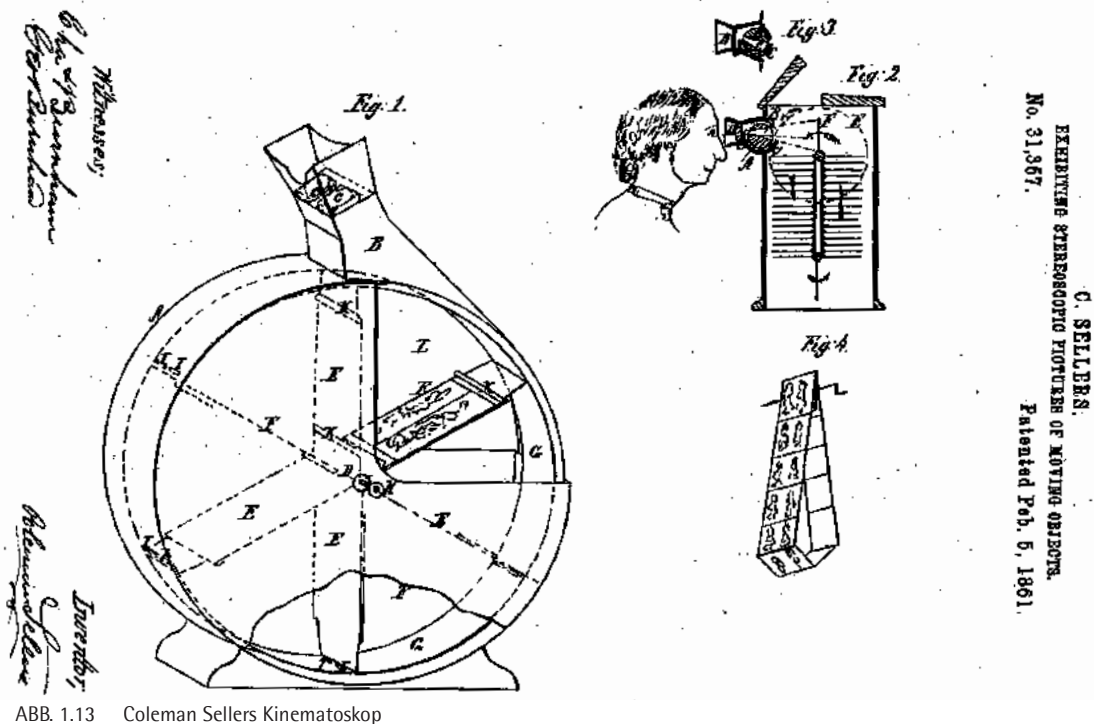


ABB. 1.13 Coleman Sellers Kinematoskop

- Figur 1 Die Stereofotografien sind innerhalb der Trommel angebracht. Wird diese nun gedreht, kann durch den Sucher ein bewegtes, räumliches Bild betrachtet werden.
- Figur 2/4 Andere Version des Kinematoskop. Hier sind die Bilder auf einem, mit beweglichen Gelenken versehenen Gürtel angebracht.



## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

Interessanterweise beschäftigten sich Wissenschaftler wie Coleman Sellers schon etwa 30 Jahre vor der Geburt des zweidimensionalen Films damit, das stereoskopische Bild in Bewegung zu versetzen und ihm noch mehr Leben einzuhauchen.

Laut Hayes waren diese „Peepshow devices“ äußerst beliebt. „Flip Type Pictures“ wurden auf einer sich drehenden Trommel angebracht, und die so bewegten Bilder suggerierten, durch einen „viewfinder“ betrachtet, räumliche Tiefe (Hayes 1989 S. 2).

Während bei diesen Guckkästen nur eine Person den bewegten 3D Effekt genießen konnte, brachten 1858 die Erfindung der Anaglyphen- und Shuttertechnik die Möglichkeit mit sich, Stereobilder und später auch dreidimensionale Filme einem größeren Publikum zu präsentieren. Diese Verfahren benötigten jeweils eine spezielle Vorrichtung, um die Bilder jeweils für das linke- und rechte Auge zu decodieren.

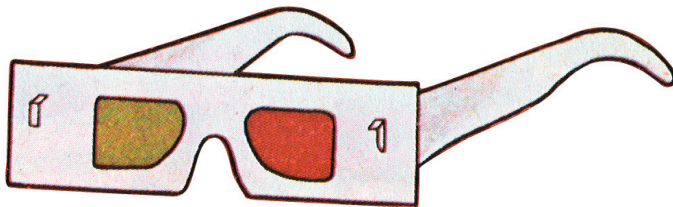


ABB. 1.14 Anaglyphenbrille  
Beim Anaglyphenverfahren werden die stereoskopischen Halbbilder mit Komplementärfarben eingefärbt und überlagert. Durch entsprechende Brillen werden die Halbbilder für das jeweilige Auge getrennt.

Beide Techniken kamen 1922 bei dem Multimedia Programm „Televue“ im Selwyn Theatre, New York City zum Einsatz. Das Programm von ca. 85 min Länge bestand zum einen aus „Stereo-Shadowgrams, created by use of colored lights which produced the stereo-shadows in their encoded form“ (Hayes 1989, S. 5), welche durch eine Anaglyphenbrille betrachtet Plastizität erlangten. Zum anderen wurden Stereobilder-Slideshows und kurze 3D Filmdokumentationen erstmals mit Hilfe von Laurens Hammond's Shuttertechnik-System einem breiten Publikum vorgeführt.



ABB. 1.16 Televue Vorführung 1922

Doch beide Verfahren haben Nachteile: Bei dem mit Komplementärfarben arbeitenden Anaglyphenverfahren treten nicht nur erhebliche Lichtverluste auf, sondern auch die

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

Betrachtung von farbigen Bildern ist verfälscht. Zudem ist der 3D Effekt für Menschen mit Rot-Grün Schwäche nicht sichtbar.

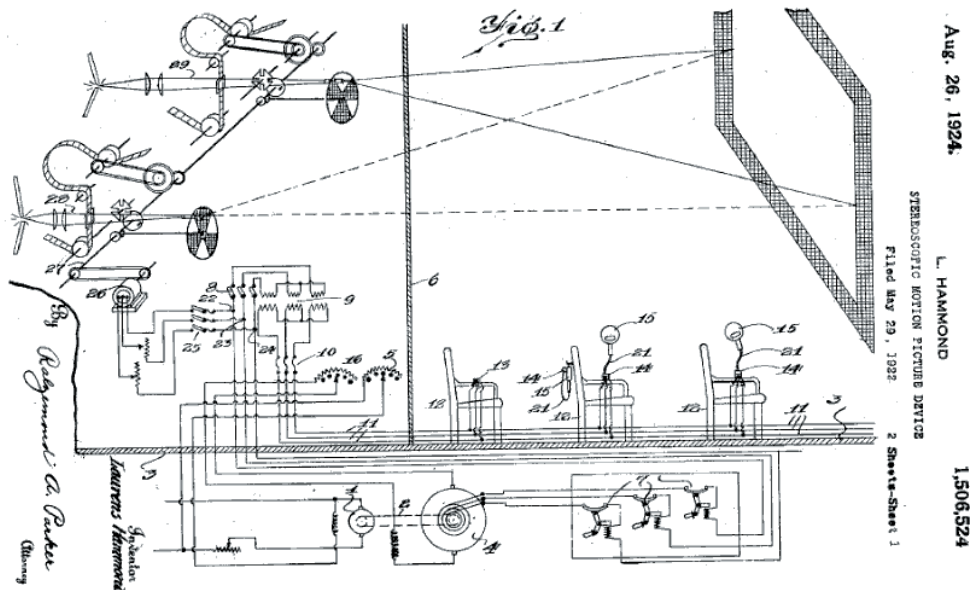


ABB. 1.15 Laurens Hammond's Shutterverfahren  
Vor den Projektoren sind Umlaufblenden angebracht, die mit den einzelnen, an den Sitzen angebrachten Suchern synchronisiert sind. Dem linken und rechten Auge werden bei dieser Technik die stereoskopischen Halbbilder zeitlich versetzt präsentiert.

Bei dem Shutterverfahren wiederum ist die Synchronisation von Projektoren und Brillen mit einem enormen technischen Aufwand verbunden. Zudem ist die Tatsache, dass die Augen nicht gleichzeitig die stereoskopischen Halbbilder zu sehen bekommen, bei schnellen Bewegungen problematisch.

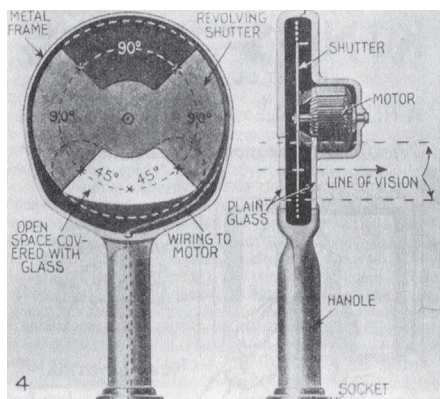


ABB. 1.17 Television Shutter Device

1933 entwickelte Edwin H. Land Folien (Polarisatoren) für das bereits 1891 von John Anderton patentierte Polarisationsverfahren und behob so die bisherige Problematik der 3D Darstellung. Er ebnete somit dem 3D Film den Weg in die Popularität.

1937 wurde der erste Stereofarbfilm „Zum Greifen nah“, ein Werbefilm mit Spielhandlung der Firma Zeiss Icon, in Berlin öffentlich mit dem linearen Polarisationsverfahren aufgeführt. „Der Erfolg bei Publikum und Presse war sensationell“ (Hagemann 1980, S. 17) und der Raumfilm wurde populär.

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

1939 weckte ein Werbefilm für Chrysler auf der Weltausstellung in New York das Interesse von 1,5 Millionen Besuchern, welche „während der ganzen Ausstellungszeit nach Karten Schlange standen“ (Hagemann 1980, S. 21).

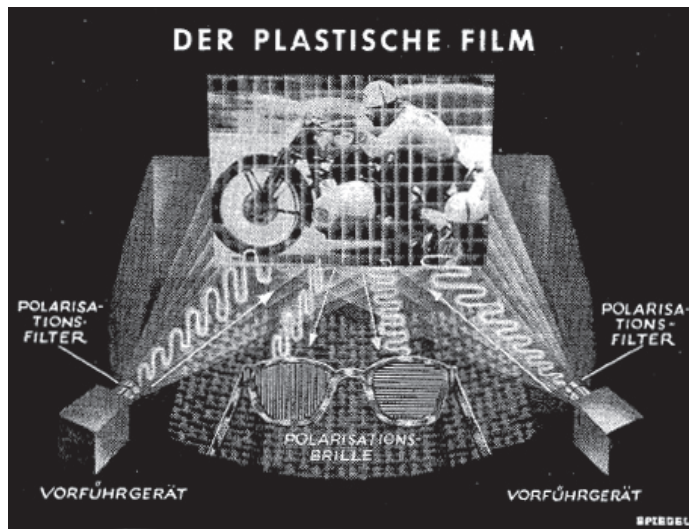


ABB. 1.18 Das Polarisationsverfahren  
Vor den Projektoren sind Filter angebracht, die das Licht entgegengesetzt polarisieren. Auf eine metallisierte Projektionsfläche werden so die Halbbilder aufeinander projiziert, welche durch eine Brille mit entsprechenden Filtern betrachtet jedem Auge das zugehörige Bild decodiert.

Jetzt war es möglich Farbfilm ohne Farbverfälschung stereoskopisch zu zeigen, wenn auch das Publikum dazu gezwungen wurde, den Kopf gerade zu halten, um Störungen des Stereobildes zu vermeiden. So beschreiben die Brüder Wiemer den Effekt linear polarisierten Lichts: „Lineare Polarisatoren wirken wie Lattenzäune. Nur bei senkrecht stehenden Latten kann ein senkrecht auf- und abbewegtes Seil durch den Zaun hindurchschwingen. Sonst bleibt es hängen“ (Spiegel 1951, S. 26).

Um dem Zuschauer mehr Bewegungsfreiheit zu ermöglichen, ersetzten sie die linearen durch zirkulare Polarisationsfolien. Die Polarisatoren an der rechten und linken Projektor-Optik versetzen das Licht in eine schraubenförmige Schwingung, jeweils entgegengesetzt für das rechte und linke Auge. „Die Brillengläser des Beschauers entsprechen dann Schraubenmutter. Die rechtsgewendelte Lichtschraube geht nur durch eine Mutter mit Rechtsgewinde, die linksgewendelte nur durch eine Mutter mit Linksgewinde“ (Spiegel 1951, S. 26).

### Der Boom in den 50er Jahren

Bislang war die Vorführung von Stereofilm für ein breites Publikum entweder mit großem Aufwand oder aber durch starre Sitzhaltung mit erheblichen Unannehmlichkeiten verbunden. Die Akzeptanz war deshalb begrenzt. Unter dem Konkurrenzdruck des Fernsehens war Hollywood gezwungen, das Publikum mit Innovationen wieder auf sich aufmerksam zu machen und die leeren Kinosäle zu füllen.

Der Schritt vom zweidimensionalen Film zum Raumfilm war naheliegend, zumal das „Telekinema“ in London 1951 mit seiner „dual projection in full color with interlock ste-

## KAPITEL 1 Faszination der realen Darstellung und deren Entwicklung

reophonic sound" (Hayes 1989, S. 15) bei der „South Bank Exhibition“ großen Erfolg hatte. Im Telekinema wurden neben einer live übertragenen Videoprojektion auch stereoskopische Kurzfilme gezeigt. „The Telekinema was a great success; 458693 visitors paid the separate admission charge of two shillings and many people had to be turned away“ (Easen 2002, online S. 2).



ABB. 1.19 Außenansicht Telekinema, London, South Bank Exhibition 1951

Nach diesem Erfolg bei der South Bank Exhibition erneuerte das British Film Institute das Telekinema und eröffnete es neu unter dem Namen „National Film Theatre“. Dessen technischer Leiter Raymond Spottiswoode trieb die Stereoskopie weiter voran. Er entwickelte mit seinem Team ein stereoskopisches Kamerasystem, trug mit seinen Kurzfilmen erheblich zur Etablierung der Polarisationsfilter als Separationsmittel bei und prägte den Begriff „3D“ (Hayes 1989, S. 19).

Ende 1952 lief in Los Angeles der erste abendfüllende 3D Film an: „Bwana Devil“. Der im Natural Vision Verfahren produzierte Film spielte trotz vernichtender Kritiken, schlechter Projektionstechnik und überhöhter Eintrittspreise 9 Millionen Dollar ein. „Der Erfolg war unfassbar (...) die Öffentlichkeit war begeistert und entzückt zugleich, weil man etwas Neues sah, was der Fernsehapparat noch nicht zu bieten vermochte.“ (Kluth 1955, S. 39)

Die Filmindustrie, stark beeinträchtigt durch die Fernsehkonkurrenz, stürzte sich nach diesem Erfolg auf die neue Wunderformel 3D. Warner Bros. produzierte den 3D Film „House of Wax“ (1953, deutscher Verleihtitel: Das Kabinett des Professor Bondi) um diesen Trend bzw. die neu erweckte Lust auf Kino zu nutzen.

Die Tatsache, dass der einäugige Regisseur André de Toth räumliche Tiefe nicht wahrnehmen konnte, wurde von ihm folgenderweise heruntergespielt: „Beethoven konnte ja auch keine Musik hören, nicht war?“ (Hagemann 1980, S. 32)



## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

Der Filmkritiker Ernst Michael Quass beschreibt das Ergebnis der Dreharbeiten folgenderweise: „Im Hinblick darauf, dass alle bisherigen plastisch servierten Filmerlebnisse zunächst Effekthaschereien zu bieten vermögen, ohne den Raum als wirklich dramaturgisch zu verwertendes Ausdrucksmittel anzuwenden, trägt auch das „Kabinett“ alle Zeichen des noch nicht zu einem endgültigen Ergebnis gelangten Experimentes“ (Quass 1953, Filmwoche S. 442).



ABB. 1.20 Aufnahme im Kino in den 1950er Jahren

Doch auch hier war das Publikum der Effekthascherei nicht müde und der Horrorfilm „House of Wax“ gilt seither als der 3D Klassiker schlechthin. Dreidimensionale Filme wurden nun wie am Fließband produziert: „Fort Ti“, „The Moonlighter“, „Devils Canyon“, „The Maze“, „Kiss me Kate“ und viele mehr.

Zu dieser Zeit war man größtenteils der Ansicht: „Die Aufnahme plastischer Filme macht keine Schwierigkeiten. Die beginnen erst bei der Wiedergabe“ (Spiegel 1951, S. 24). Doch immer mehr Menschen klagten über Kopfschmerzen, tränende Augen und Unwohlsein während und nach den Vorstellungen. Nachdem ein Besucher während der Filmvorführung von „The Maze“ in Philadelphia an einem Herzschlag starb, wurden Vorwürfe wegen gesundheitlichen Schäden laut.

Zunächst wurden diese Probleme fälschlicherweise den 3D Brillen zugeordnet. Man schien sich nicht darüber im Klaren zu sein, dass 3D Filme komplexeren wahrnehmungspsychologischen Gesetzen unterliegen als zweidimensionale Filme. 3D Effekte wurden inflationär eingesetzt. Filmemacher bombardierten das Publikum mit einem blutrünstigen Effekt nach dem anderen, so dass negative Übersättigungserscheinungen, Desorientierung und schnelles Ermüden der Augen vorprogrammiert waren.

Ein weiteres Problem stellte die Wiedergabe der 3D Filme dar. Die Projektoren in den Filmtheatern liefen oft asynchron: „That poor projection forced many people to watch 3-D films with one eye at a time, but considering the story quality of most of the films, it

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

might have been better with both eyes closed" (Hutchison 1982, S. 10).

Zudem legte sich die Filmindustrie nicht auf einen Standard fest: „Statt dem gemeinsamen Gegner Fernsehen mit einem genormten und durchentwickelten Verfahren entgegenzutreten, zersplitterte sich die Filmindustrie in zahllose Patenthalter und machte sich nur gegenseitig Konkurrenz" (Hagemann 1980, S. 28).

Es wurden mit einer Vielzahl von vermeintlichen 3D Systemen gearbeitet: Natural Vision, Tri-Opticon, Triorama, Cinemascope, Paravision und viele mehr. Zu erwähnen ist, dass außer den „echten" stereoskopischen Verfahren Natural Vision und Tri-Opticon Breitbildformate als plastischer Film verkauft worden sind.

So setzte die Fox auf Cinemascope, einer Aufnahme- und Projektionstechnik, welche letztendlich die verhassten Brillen überflüssig machte und dennoch ein beinahe räumliches Filmerlebnis ermöglichte (Spiegel 1953, S. 28-30).

Cinerama kombinierte mehrere Projektoren mit einer gewölbten Leinwand, um ein möglichst großes Blickfeld zu erlangen und den Zuschauer somit stärker in die Handlung mit einzubeziehen. Doch wie bereits erwähnt, dreidimensional waren diese Filme nicht.



ABB. 1.21 Cinerama  
Auf eine große, gewölbte Leinwand wird das Bild mit drei Vorführgeräten projiziert. Der Zuschauer soll durch die Wölbung und die Größe der Leinwand direkt in das Geschehen miteinbezogen werden

### Autostereoskopische Systeme

Nachdem das Publikum 3D Filme hauptsächlich wegen der 3D Brillen ablehnte, ist die Frage naheliegend, warum man sich nicht auf die Weiterentwicklung autostereoskopischer Methoden konzentrierte, sondern die 3D Raumwirkung aufgab und stattdessen dazu überging, Filme mit einem möglichst breiten Blickfeld herzustellen.

Tatsächlich beschäftigten sich russische Forscher schon vor dem 3D Boom in den USA und Großbritannien mit ersten autostereoskopischen Projektionsmöglichkeiten. Der russische Ingenieur Simon Ivanov experimentierte auf Grundlage der Parallaxenbarriere (Siehe Kapitel 3) mit Drahrasterleinwänden und das Publikum konnte bereits 1939 auf

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

der „Stereoskopischen Filmbühne“ in Moskau den ersten autostereoskopischen Film „Die Abenteuer des Robinson Crusoe“ erleben.

Bei diesen Verfahren findet die Bildtrennung für das linke und rechte Auge auf der Leinwand statt und demnach ist keine Brille erforderlich. Der Hauptnachteil dieser Systeme liegt darin, dass der Zuschauer sich nicht rühren darf.

„Bei der kleinsten Kopfbewegung geraten die Bildkonturen durcheinander (...) man muss dann erst wieder versuchen, die Augen in eine neue Position zu bringen, die das räumliche Bild zurückbringt. Die Vorstellung, dauernd herumprobieren zu müssen, lässt viele Kritiker den Genuss vor der Stereobildwand fraglich erscheinen. Demgegenüber präsentiert sich das Kino mit Brille als weitaus kleineres Übel“ (Spiegel 1951, S. 25).

Dennoch wurde an Ivanov's System in Russland weiter experimentiert bis sich schließlich auch dort das weit verbreitete Polarisationsverfahren durchsetzte.

### Weitere Entwicklungen

Die Filmindustrie hatte es sich also mit dem Publikum verscherzt. Der plastische Film erlebte zwar in den 70er Jahren vor allem in der Pornoindustrie mit dem Slogan „zum Greifen nahe“ ein kleines Revival, doch das Publikum „kehrte nach sehr kurzer Zeit den meist billigen Filmen den Rücken, zumal der Genuß auch noch durch immer wiederkehrende technische Pannen getrübt wurde“ (Hagemann 1980, S. 76).

Auch wenn die Rufe nach 3D Film leiser geworden sind, verstummt sind sie nie. Die Faszination der plastisch-realen Darstellung blieb bis heute erhalten. So werden in den IMAX 3D Kinos großformatige stereoskopische Dokumentationen wie „New York“ oder auch „Wunder der Tiefe“ gezeigt, wobei 3D Effekte sparsamer als zu jenen Boom Zeiten eingesetzt werden.

Weiter wird nach Möglichkeiten gesucht, die Realitätsillusion zu vervollständigen. 4D ist das neue Schlagwort. Neben der dritten Dimension und Dolby 5.1 Sound werden Geruchs- und Tastsinn mit einbezogen. Zu beliebten Effekten zählen das Verwenden von Wasserspritzern, das Bewegen der Kinositze oder das Einleiten von Duftstoffen. In den Universal Studios in Florida beispielsweise werden Zuschauer bei der 4D Vorführung „Honey I shrunk the kids“ erschreckt, wenn sie beim Betrachten eines niesenden Hundes feuchte Tropfen in ihrem Gesicht spüren.

Wieweit der Wunsch zur Vermittlung möglichst realistischer und bildhafter Illusion fortgeschritten ist, spiegelt sich vor allem in dem Begriff Virtual Reality wieder. 1968 stellte Ivan Sutherland seinen Head Mounted Display, kurz HMD genannt, vor: „Dem dreidimensionalen Display liegt die Idee zugrunde, dem Benutzer ein perspektivisches Bild zu präsentieren, dass sich mit seinen Bewegungen verändert“ (Rheingold 1992, S. 155).

## KAPITEL 1 Faszination der reellen Darstellung und deren Entwicklung

Zu jener Zeit wurde Sutherlands 3D Datenbrille auch als Damoklesschwert bezeichnet. So musste der Benutzer „den Kopf in einen monströsen Metallapparat zwingen, der von der Decke hing“ (Steinmüller / Thürmel 1993, S. 41).

Viele Jahre wurde an der Verbesserung der HMD's und deren Head-Tracking Systemen gearbeitet. Weitere Fortschritte wie die erhöhte Leistungsfähigkeit von Computern, die Steigerung deren Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie Weiterentwicklungen in der Computergrafik und Robotik ermöglichen heute das Erleben virtueller Realitäten.

So faszinierend und fortgeschritten die Entwicklung der realistischen Darstellung heute ist, so perfekt diese bereits in einigen Bereichen umgesetzt wird, desto erstaunlicher ist die Tatsache, dass diese Technologie heute vorwiegend nur bei Spezialisten und in Forscherkreisen eine Rolle spielt.

In der öffentlichen Wahrnehmung führt sie eher ein Schattendasein. Doch das könnte sich bald ändern. Seit einigen Jahren entwickeln Firmen auf der Basis von Ivanov's Erkenntnissen autostereoskopische Wiedergabesysteme und Displays, die das Betrachten von dreidimensionalen Bildern ohne den Einsatz von Brillen ermöglichen.

Ebenso wird an weiteren Technologien geforscht, die eine frei im Raum schwebende dreidimensionale Projektion ermöglichen sollen.

Auch wenn wir in diesem Bereich erst am Anfang der Entwicklung stehen, vielleicht wird der Traum des vollkommenen Abbildes in nicht allzu ferner Zeit durch diese oder ähnliche Systeme realisiert.



### 2. Grundlegende Aspekte der Tiefenwahrnehmung

Die Grundlagen der häufigsten dreidimensionalen Aufnahme- und Wiedergabetechniken beruhen auf dem binokularen Sehen. Um ein stereoskopisches Bild wiedergeben zu können, muss dieses unserem natürlichen Sehvorgang entsprechend aufgenommen werden. Um die Fehler, die zu Boomzeiten des 3D Films begangen worden sind zu vermeiden und die Prinzipien der eingesetzten Techniken zu verstehen, ist es notwendig sich mit den Aspekten Tiefenwahrnehmung näher auseinanderzusetzen.

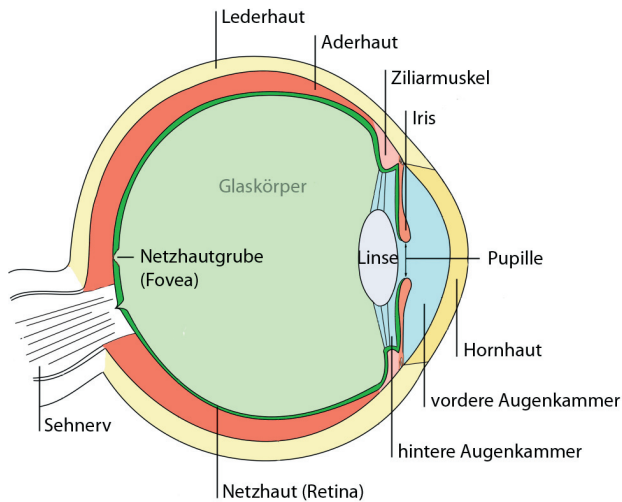


ABB. 2.1 Querschnitt Auge

Der gesunde Mensch nimmt seine Umwelt dreidimensional wahr. Doch das Abbilden geschieht auf einer zweidimensionalen Ebene im Auge des Menschen, der Netzhaut (Retina). Erst das Gehirn fügt diese retinalen Bilder beider Augen mit Hilfe unterschiedlicher Tiefeninformationen zu einem dreidimensionalen Bild zusammen.

Überraschenderweise finden sich Menschen, die nur auf einem Auge sehen, im dreidimensionalen Raum zurecht. Auch in der Malerei, auf Fotos oder im 2D Kino erscheinen uns die dort abgebildeten Objekte und Personen nicht flach, sondern durchaus plastisch und real.

**Was sind also die Voraussetzungen für das Empfinden räumlicher Tiefe?  
Aus welchen unterschiedlichen Tiefeninformationen generiert unser Gehirn den Tiefeneindruck?**

#### 2.1 Monokulare Tiefenkriterien (pictorial cues)

Monokulare Tiefeninformationen sind unabhängig vom binokularen Sehen. Diese sogenannten pictorial cues rufen also, selbst mit nur einem Auge betrachtet, eine räumliche Empfindung hervor. Die meisten dieser Tiefeninformationen wurden von westlichen Künstlern schon in der Renaissance entdeckt und sehr viel später von Psychologen untersucht und ausformuliert.

Zu diesen monokularen Tiefeninformationen zählen:

### **Verdecken von Objekten / Überlappung**

Das angeschnittene und somit verdeckte Objekt wird als weiter entfernt empfunden. Diese Überlappung liefert jedoch keine Information über die genaue Entfernung zweier Objekte oder die Distanz zwischen Betrachter und Objekt, „sondern nur relative räumliche Tiefe“ (Goldstein 2002, S. 229).

### **Relative Höhe im Gesichtsfeld**

Bei Objekten, die unter dem Horizont liegen, erscheinen diejenigen weiter entfernt, die im Blickfeld weiter oben liegen. Befinden sich die Objekte über dem Horizont verhält es sich genau umgekehrt. Wenn also Objekte über dem Horizont im Gesichtsfeld weiter unten liegen, wirken sie weiter entfernt.

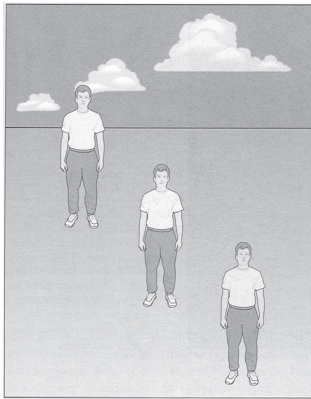


ABB. 2.2 Relative Höhe im Gesichtsfeld

### **Relative Größe im Gesichtsfeld**

Objekte, die im Vordergrund stehen, nehmen einen größeren Teil unseres Gesichtsfeldes ein wie weiter entfernte. Aus diesem Grund lassen sich Tiefeninformationen gerade bei gleich großen Objekten ableiten.

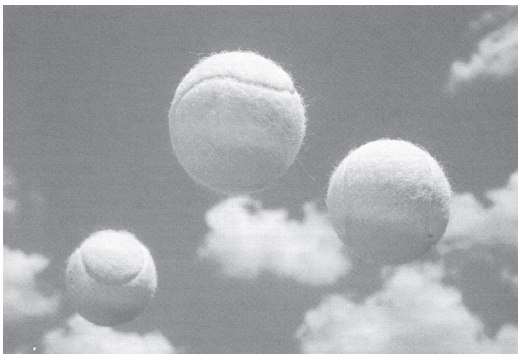


ABB. 2.3 Anhand der Größe lässt sich die relative Tiefe der Tennisbälle wahrnehmen

### **Gewohnte Größe von Gegenständen**

1965 bewies William Epstein mit seinen Experimenten, dass „unser Wissen über die Größe eines Objekts unter bestimmten Bedingungen beeinflusst, wie weit entfernt wir Objekte wahrnehmen“ (Goldstein 2002, S. 230).

### Atmosphärische Perspektive / Luftperspektive

Da Luft kleine Partikelchen wie Staub und Wassertröpfchen enthält, nimmt die Schärfe und Farbintensität eines Objektes mit zunehmender Entfernung ab. Mehr Luft und demnach mehr Partikelchen befinden sich zwischen dem Betrachter und dem Objekt.

Außerdem wird der langwellige Spektralanteil des Lichts weniger intensiv gestreut wie der kurzwellige. „Fällt weißes Licht schräg zur Blickrichtung des Beobachters, dann werden hauptsächlich die kurzwelligen Lichtstrahlen“, also die des blauen Farbspektrums „in die Blickrichtung des Beobachters gestreut“ (Vierling 1965, S. 17) und der Effekt des Verblauens tritt ein. Schon Michelangelo ließ seine Landschaften mit zunehmender Entfernung verblauen.

### Licht und Schatten

Licht und Schatten vermitteln dem Betrachter nicht nur Plastizität, sondern geben auch die Möglichkeit einer räumlichen Orientierung. Folgendes Beispiel zeigt, dass je nach Position des Schattens, eine Wölbung nach außen oder innen suggeriert wird.

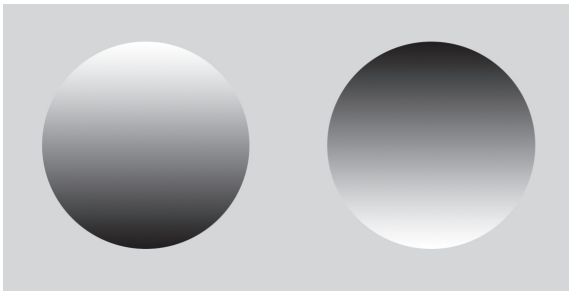


ABB. 2.4 Licht und Schatten

### Lineare Perspektive und Texturgradient

In Wirklichkeit parallel angeordnete Linien laufen im Unendlichen in einem Fluchtpunkt zusammen. Folglich wirken entfernte Objekte kleiner als nahe. Das Paradebeispiel hierfür ist das in Richtung Horizont konvergierende Bahngleis.

Je näher sich ein Objekt zum Betrachter befindet, desto größer wird es auf der Retina des Betrachters abgebildet. Dies wird durch den visuellen Winkel gemessen. Je weiter nun das Objekt entfernt wird, desto kleiner wird dieser Winkel: "It's visual angle will become infinitesimally smaller" (Kaufmann 1974, S. 220).

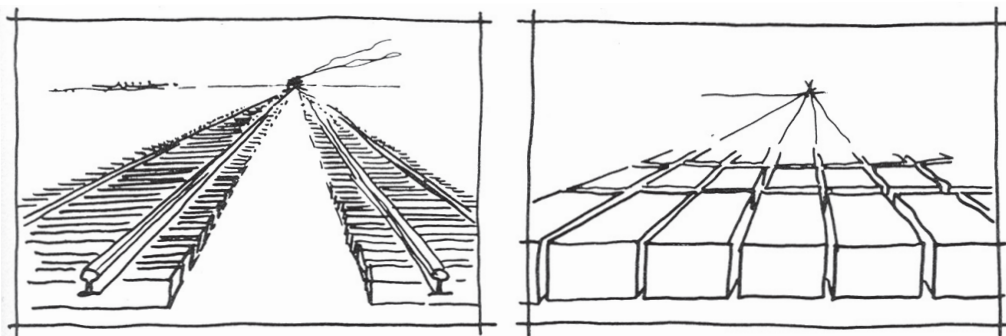


ABB. 2.5 Beispiel für lineare Perspektive und Texturgradient

Der gleiche Effekt lässt sich auch bei der Wahrnehmung von Texturen beobachten. Elemente die in einer Szene horizontal gleich weit entfernt sind, erscheinen im Bild mit zunehmendem Abstand verkürzt und immer dichter gepackt.

### 2.2 Bewegungsinduzierte Tiefenkriterien

Hermann von Helmholtz beschreibt in seinem „Handbuch der physiologischen Optik“ wie sich Bewegung auf die Wahrnehmung räumlicher Tiefe auswirkt. Sobald sich ein Objekt oder der Betrachter selbst bewegt, entstehen bewegungsinduzierte Tiefeninformationen.

„Wenn man zum Beispiel in einem dichten Walde still steht, ist es nur in undeutlicher und gröberer Weise möglich, das Gewirr der Blätter und Zweige, welches man vor sich hat, zu trennen und zu unterscheiden, welchem diesem und jenem Baume angehören (...) So wie man sich aber fortbewegt, löst sich alles voneinander und man bekommt sogleich eine körperliche Raumanschauung von dem Walde, gerade so, als wenn man ein gutes stereoskopisches Bild desselben ansähe“ (Helmholtz 1896, S. 779-780).

#### **Bewegungsparallaxe (motion parallax)**

Jeder kennt folgenden Effekt, wenn man von einem Zugfenster aus die vorbeiziehende Landschaft betrachtet. Ein weit entfernter Baum bewegt sich nur langsam, während nahe Gegenstände, wie beispielsweise ein am Gleis stehender Strommast, schnell am Gesichtsfeld vorbeihuscht. Dieser Geschwindigkeitsunterschied wird als Bewegungsparallaxe bezeichnet und „dient uns als Kriterium zur Wahrnehmung räumlicher Tiefe auf der Basis der relativen Geschwindigkeit zwischen uns und den Objekten“ (Goldstein 2002, S. 235).

#### **Fortschreitendes Zu- oder Aufdecken von Flächen**

Bewegung hat noch einen weiteren Nebeneffekt: Wenn sich ein Beobachter in eine Richtung bewegt, die nicht senkrecht zu den Objekten erfolgt, tritt je nach Bewegungsrichtung ein fortschreitendes Zu- oder Aufdecken ein. Dies ist besonders bei der Wahrnehmung räumlicher Tiefe an Kanten von Bedeutung.

### 2.3 Okulomotorische Tiefeninformationen

Beim Sehen sind beide Augen in ständiger Bewegung, wobei diese Bewegungsvorgänge weitgehend miteinander gekoppelt sind. Okulomotorische Tiefeninformationen werden aus diesen Bewegungssignalen gewonnen.

#### **Konvergenz**

Um einen Gegenstand zu erfassen, drehen sich beide Augen in die Position, in welcher dieser in die Netzhautgrube, der Stelle des schärfsten Sehens, fällt. Das einwärts (erfassen naher Objekte) beziehungsweise auswärts (erfassen ferner Objekte) Drehen der Augen wird als Konvergenz bezeichnet. Die Blicklinien konvergieren in einem bestimmten Winkel, dem so genannten Konvergenzwinkel.

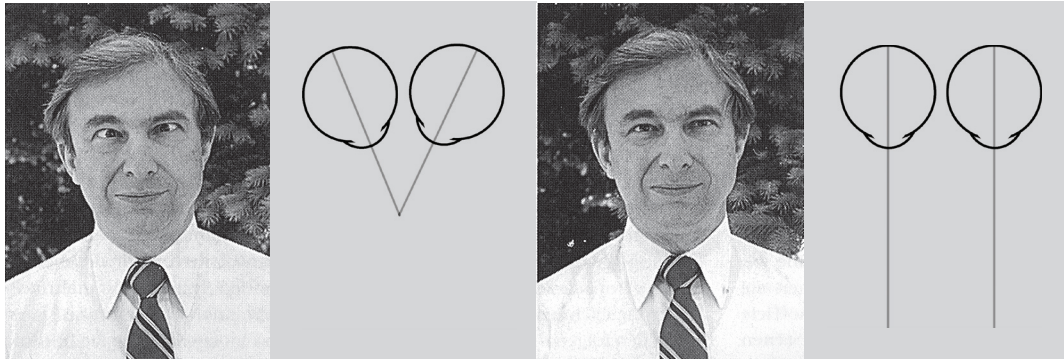


ABB. 2.6 Beim Betrachten eines nahen Objektes drehen sich die Augen einwärts. Blickt man in die Ferne, sind die Augen parallel

### Akkommodation

Damit der erfasste Gegenstand nun scharf auf die Netzhaut projiziert wird, verändert sich unterbewusst die Form der Linse. Durch das Zusammenziehen und lösen der Ziliarmuskeln ändert die Linse ständig ihre Krümmung und somit die Brechkraft.

Die Augenstellung und die Linsenform hängen also „mit dem Abstand des beobachteten Objekts zusammen“ und das visuelle System kann hieraus „Informationen für räumliche Tiefe entnehmen“ (Goldstein 2002, S. 228).

### 2.4 Querdisparation und Stereopsis

Bis auf die Konvergenz zählen genau genommen alle bisher aufgeführten Informationen zu den monokularen Tiefenkriterien, da diese auch mit nur einem Auge aufgenommen und verwertet werden können. Doch das entscheidende Kriterium für unsere räumliche Wahrnehmung ist die Tatsache, dass unsere beiden Augen „die Welt aus je einem unterschiedlichen Blickwinkel sehen“ (Goldstein 2002, S. 236).

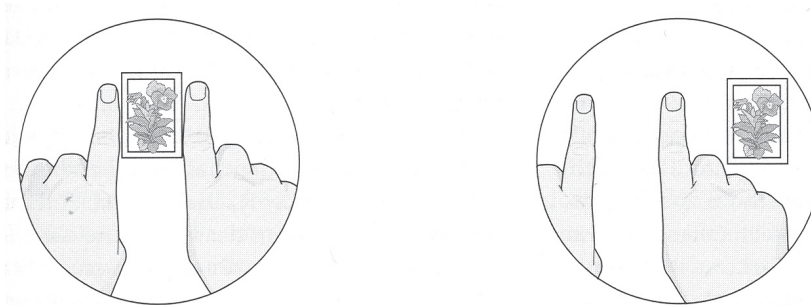


ABB. 2.7 Querdisparation Abbildung auf der linken und rechten Retina

Auf die Netzhäute der beiden Augen wird also jeweils ein leicht unterschiedliches Bild projiziert. Diese Unterschiede werden als Querdisparation bezeichnet. Das visuelle System ermöglicht nun durch die Interpretation der Querdisparation die Verschmelzung beider Bilder zu einem Eindruck und damit die Wahrnehmung räumlicher Tiefe (Stereopsis).

### Korrespondierende Netzhautpunkte

Als korrespondierende Netzhautpunkte gelten diejenigen Punkte, die beim virtuellen Übereinanderlegen der beiden Netzhäute auf die jeweils gleiche Position fallen. Die beiden Netzhautgruben zählen immer zu den korrespondierenden Punkten, da in ihnen stets das fixierte Objekt abgebildet wird.

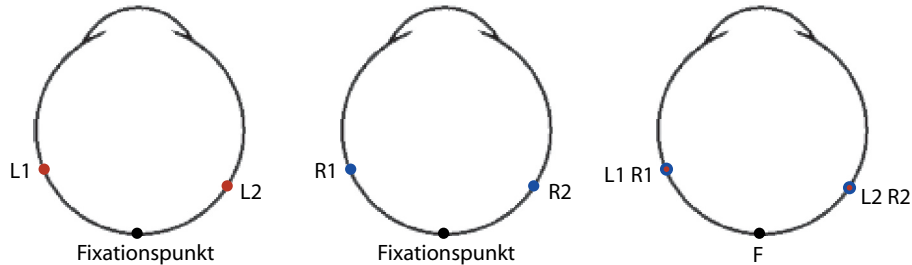


ABB. 2.8 Korrespondierende Netzhautpunkte  
Punkt 1 und Punkt 2 liegen jeweils auf der linken und rechten Retina an gleicher Stelle (L1R1, L2R2)

### Horopter

Der Horopter bezeichnet den gedachten Kreis, der durch ein fixiertes Objekt und durch die optischen Mittelpunkte beider Augen führt. Alle weiteren Punkte, die sich auf diesem Kreis befinden sind korrespondierende Netzhautpunkte.

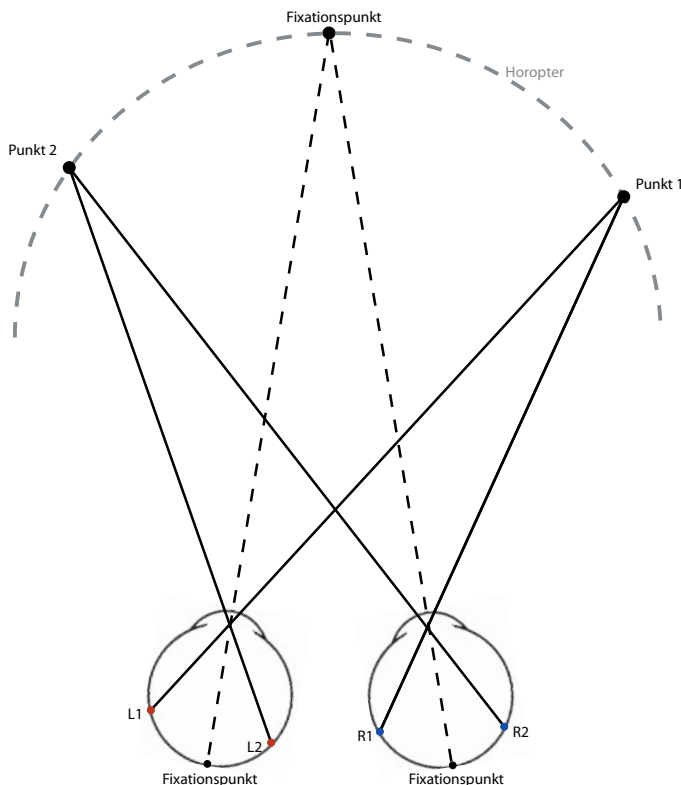


ABB. 2.10 Horopter  
Alle Punkte, die sich auf dem Horopter befinden, sind korrespondierende Netzhautpunkte.

### Disparate Netzhautpunkte

Alle Objekte, die nicht auf dem Horopter liegen, fallen nicht auf die gleichen Netzhautpunkte und sind demnach disparat. Den Winkel zwischen den beiden retinalen Netzhautpunkten nennt man Querdisparationswinkel. Dieser ist das bedeutendste Tiefenkriterium, denn je weiter ein Objekt vom Horopter entfernt ist, desto größer ist der Querdisparationswinkel.

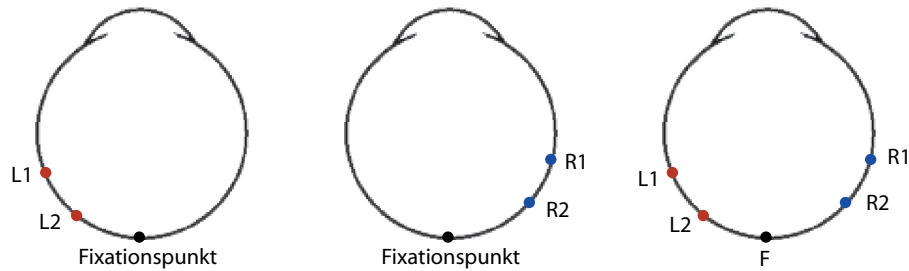


ABB. 2.9 Disparate Netzhautpunkte  
Punkt 1 und Punkt 2 sind disparat. Der Fixationspunkt F ist immer korrespondierend

Wenn nun ein Raumpunkt vor dem Horopter liegt, spricht man von einer gekreuzten Querdisparation, wenn er sich dahinter befindet, von einer ungekreuzten Querdisparation. Je weiter hinter dem Horopter nun ein Gegenstand liegt, desto mehr rücken auf der Retina seine Bilder nach innen und desto größer ist die Querdisparation. Somit liefert die Querdisparation Information darüber wie weit ein Objekt von unserem Blickpunkt entfernt ist.

### Panumscher Fusionsbereich

Ist die Querdisparation zu groß (das Objekt ist vom Fixationspunkt zu weit entfernt), weichen die Einzelbilder so stark voneinander ab, dass eine Fusion der Bilder nicht mehr möglich ist und Doppelbilder entstehen. Liegt das Objekt im Panumschen Bereich ist das Gehirn fähig, die beiden Einzelbilder zu einem dreidimensionalen Bild zu fusionieren.

### Tiefensehschärfe

Binokulare Tiefenkriterien sind in ihrer Wahrnehmbarkeit durch den Betrachtungsabstand begrenzt. Ist ein Gegenstand vom Betrachter zu weit entfernt, kann anhand der geringen Disparität keine Tiefeninformation generiert werden und monokulare Tiefenkriterien wie Verdeckung oder Luftperspektive helfen einen räumlichen Eindruck zu erlangen. Die theoretische Maximalentfernung zur binokularen Wahrnehmbarkeit von Tiefe liegt bei etwa 220m, die praktische jedoch „unter Normalbedingungen auf weniger als 50m“ (Vierling 1965, S. 34).

Nach Cutting und Vishton liegt diese Grenze sogar schon bei 30m (vgl. ABB. 2.11).



Tiefeninformation	0-2m	2-30m	über 30m
Verdeckung	x	x	x
relative Größe	x	x	x
Akkommodation und Konvergenz	x		
Bewegung	x	x	
Querdisparation	x	x	
relative Höhe im Gesichtsfeld		x	x
atmosphärische Perspektive			x

ABB. 2.11 Entfernungsbereiche nach Cutting und Vishton, in denen die unterschiedlichen Tiefeninformationen wirksam sind. Nach deren Untersuchungen im Jahr 1995 liegt der Grenzwert zur Tiefenwahrnehmung anhand der Querdisparation schon bei 30m.

## 2.5 Anwendung der Erkenntnisse in der Stereoskopie

Die Voraussetzung für die saubere Aufnahme und Wiedergabe stereoskopischer Bilder ist die Kenntnis der unterschiedlichen Tiefenkriterien, aus welchen das menschliche Gehirn einen Tiefeneindruck generiert. Um Augenschmerzen vorzubeugen und 3D richtig genießen zu können, müssen folgende wesentliche aus der Wahrnehmungspsychologie abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten beachtet werden.

### Horizontale Disparität

Ein wichtiges Kriterium ist die Berücksichtigung des Augenabstands von circa 65-70mm bei der Aufnahme. Dieser so genannte Basisabstand der Aufnahmeeinheit hängt natürlich von den verwendeten Objektiven, dem Betrachtungsabstand und dem erwünschten Plastizitätseffekt ab (siehe Kapitel 5.2).

Wird der Basisabstand nicht berücksichtigt und angepasst, kann es passieren, dass die jeweiligen Netzhautpunkte zu weit auseinander und nicht im Panumschen Fusionsbereich liegen. In diesem Fall ist die horizontale Parallaxe zu groß, so dass sich die Augen nach außen drehen müssen, also divergieren. Es wird zunehmend schwieriger für das visuelle System die Bilder zu interpretieren und zu fusionieren. Es entstehen störende Doppelbilder, auch Ghosting genannt. Ein stereoskopisches Bild ist demnach in der Raumwahrnehmung begrenzt.

Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass die unterschiedlichen Tiefenkriterien nicht miteinander konkurrieren. Es ist also schon bei der Aufnahme wichtig zu wissen, ob ein Gegenstand vor, hinter, oder auf der Projektionsfläche (z.B. eine Leinwand, ein Bildschirm oder ein Papier) auch Scheinfenster genannt, liegen soll.



So stört beispielsweise ein angeschnittenes aber dennoch nach vorne tretendes Objekt den binokularen Eindruck. Hier konkurriert das monokulare Tiefenkriterium Verdeckung mit der aus der horizontalen Disparität gewonnenen Information.

Ein stereoskopisches Bild lässt sich demnach in drei Tiefenbereiche unterteilen:

**Im Scheinfenster,**

liegen alle Punkte, die sich auf dem Horopter befinden. Hier beträgt die Disparität = 0, da die jeweiligen Netzhautpunkte miteinander korrespondieren. Man spricht auch von der Konvergenzebene, da die Augen bei einer Stereoprojektion automatisch auf dieses Scheinfenster konvergieren.

**Vor dem Scheinfenster**

Alles was aus dem Bild heraustritt hat eine negative Parallaxe, welche aus dem Unterschied der jeweiligen Netzhautpunkte entsteht. Die Disparität ist also  $< 0$  (gekreuzte Querdisparation). Dieser Effekt des Heraustretens wird oft als Out-Screen bezeichnet.

**Hinter dem Scheinfenster**

liegende Punkte haben eine positive Parallaxe (Ungekreuzte Querdisparation). Je größer also die Parallaxe, desto weiter hinten scheint ein Objekt sich zu befinden.

### **Konvergenz**

Auch aus der Konvergenz lassen sich wichtige Regeln für die Stereoskopie ableiten. Unsere Augen sind sehr flexibel, wenn wir ein nahes Objekt betrachten. Die Konvergenzfähigkeit ist enorm. Sobald die Augen jedoch dazu gezwungen werden zu divergieren, also sich vertikal auseinander zu bewegen, ist dies nur sehr begrenzt möglich und mit großer Anstrengung verbunden.

Generell ist anzumerken, dass starkes Konvergieren der Augen auf Dauer als anstrengend empfunden wird. Demnach sollten Out-Screens mit Bedacht eingesetzt werden, nach dem Motto: „Weniger ist mehr und eindrucksvoller“.

### **Vertikale Disparität**

Während die Augen horizontal sehr beweglich sind, gilt dies nicht für die Vertikale. Vertikal ungenau ausgerichtete Aufnahme und Wiedergabe stereoskopischer Bilder führt beim Betrachter zu Kopf- und Augenschmerzen aufgrund des dabei entstandenen Höhenversatzes. Die vertikale Disparität sollte daher = 0 sein.

### **Verbleibende Unterschiede stereoskopischer und natürlicher Wahrnehmung**

Obwohl durch das Einbeziehen der Tiefenwahrnungskriterien und Einhaltung gewisser Aufnahmeregeln (Kapitel 5.2) ein natürliches und unverzerrtes Abbild entsteht ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass sich die stereoskopische und natürliche Wahrnehmung voneinander unterscheiden: So kann ein stereoskopisch dargestellter Gegenstand nicht von der Seite betrachtet werden.

## KAPITEL 2 Grundlegende Aspekte der Tiefenwahrnehmung

Zudem ist der Betrachter zu einer nicht gewohnten fokussierten Augenhaltung gezwungen. Im natürlichen Sehvorgang sind Akkommodation und Konvergenz prozessual verbunden. Beim stereoskopischen Sehen findet dies jedoch voneinander getrennt statt, da das Auge automatisch auf das Scheinfenster fixiert ist. Es ist nicht möglich, den Blick „in verschiedene Fernen schweifen zu lassen“ (Zec 1987, S. 42).

Demnach ist es äußerst wichtig, durch eine der 3D Aufnahme- und Wiedergabetechnik adäquaten Regie unter Berücksichtigung der o.g. Aspekte, den Blick des Betrachters durch ein stereoskopisches Bild zu leiten.

### 3 Autostereoskopischer Wiedergabesysteme und deren Funktionsprinzip

Zur stereoskopischen Wiedergabe von dreidimensionalen Inhalten wird die Fähigkeit des binokularen Sehens ausgenutzt, indem jedem Auge ein entsprechendes Bild präsentiert wird. Das visuelle System fusioniert diese leicht unterschiedlichen Bilder zu einem räumlichen Eindruck. Bei der Anwendung von Anaglyphenverfahren, Polarisationsverfahren oder der Shuttertechnik werden spezielle Brillen als Hilfsmittel benötigt, um die codierten Bilder für das jeweilige Auge zu decodieren.

Bei autostereoskopischen Verfahren hingegen werden entweder reelle dreidimensionale Objekte mittels Laser erzeugt, oder aber ein virtueller räumlicher Bildeindruck auf Grundlage des binokularen Sehens generiert.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren findet die Bildtrennung auf dem jeweiligen Wiedergabemedium statt, eine Brille ist nicht mehr notwendig.

**Doch wie kann eine solche Bildtrennung technisch umgesetzt werden?**

**Wie werden diese Techniken bei autostereoskopischen Wiedergabesystemen eingesetzt?**

**Welche Ansätze gibt es zur Erzeugung reeller 3D Objekte?**

#### 3.1 Parallaxenbarriere und Linsenrasterverfahren

Die meisten autostereoskopischen Systeme benützen zur optischen Trennung der stereoskopischen Halbbilder entweder die Parallaxenbarriere oder aber das Linsenrasterverfahren.

##### **Parallaxenbarriere**

Das auf einer Parallaxenbarriere basierte Verfahren gilt als das erste autostereoskopische Verfahren zur optischen Trennung von Bildinhalten. Bereits 1692 verwendete der Künstler G. A. Bois-Clair Holzplatten, um Bildinhalte zu trennen. „As a viewer walked by his paintings, they would appear to change from one picture to another.“ (Roberts 2003, online S. 1).

Das Prinzip sieht folgendermaßen aus: Zwei oder auch mehrere Ansichten eines Bildes werden, in Streifen geschnitten, abwechselnd hinter feinen opaken, also undurchsichtigen Balken in gleichem Abstand angeordnet. Bei der Bestimmung der Breite dieser opaken Balken ist zu berücksichtigen, „daß sie möglichst unterhalb der Erkennbarkeit, also innerhalb des Auflösungsvermögens des Auges bleibt. Als Faustregel wird die Streifenbreite 1/1000 der Gesamtbildbreite angegeben“ (Vierling 1965, S. 216).

Wenn nun die Öffnungsschlitze zwischen den Balken relativ zu den Bildstreifen positioniert sind, wird durch die Barriere unter Einhaltung eines gewissen Betrachtungsabstandes dem linken und rechten Auge jeweils das entsprechende Bild präsentiert. Der Raumeindruck entsteht.

Wie bereits in Kapitel 1.2 erwähnt, war Russland Mitte des 19. Jahrhunderts der Pio-

nier der ersten autostereoskopischen, Parallaxenbarriere basierten Projektionsverfahren.

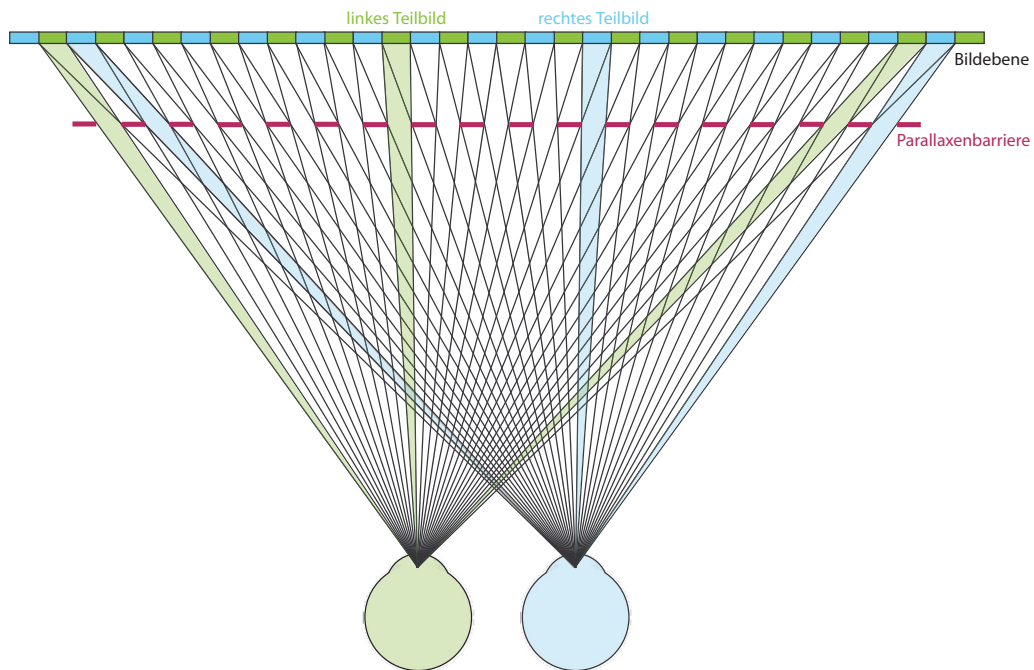


ABB. 3.1 Parallaxenbarriere mit einem Stereopaar Schematische Darstellung

Auf Basis von A. Berthiers theoretischen Erkenntnissen entwickelte Semjon Pavlovitch Ivanov einen mit dünnen Drahtgittern bespannten Rahmen, welcher vor einer Kinoleinwand angebracht wurde. Die Projektion erfolgte nicht direkt auf die Leinwand, sondern auf zwei Spiegel, deren Bilder auf die Projektionswand geworfen wurden. Der als Parallaxenbarriere fungierende Drahtgitterrahmen zerlegte die jeweiligen stereoskopischen Halbbilder so, dass es ermöglicht wurde den für das linke Auge bestimmte Bildinhalt nur mit dem linken Auge, und den für das rechte Auge bestimmte Bildinhalt nur mit dem rechten Auge wahrzunehmen.

Ersetzt wurde später der Drahtgitterrahmen durch eine Leinwand, bestehend aus einer großen Spiegelscheibe, deren Oberfläche durch „wenige Tausendstel Millimeter dicke, flächenartig angeordnete, kegelförmige Linsen“ (Kluth 1955, S. 67-68) gerastert wurde.

### Linsenrasterverfahren

Gegen 1920 entwickelte Wissenschaftler, unter anderem Herbert Ives, Verfahren zur optischen Bildtrennung, welche sich die lichtlenkende Beschaffenheit von Linsen zu Nutze machen.

Ebenso wie bei der Parallaxenbarriere-Technik wird das in Streifen geschnittene Stereopaar (ein aus zwei Perspektiven aufgenommenes Bild) abwechselnd angeordnet. Anstatt der opaken Barrierestreifen werden zur Kanaltrennung allerdings spezielle Linsenraster verwendet, welche aus plankonvexen zylindrischen Linsen, auch Lentikulare genannt, bestehen.

Diese vertikalen Zylinderlinsen sind in einem Raster „entsprechend der Breite von zwei Spalten“ (Lemme 2006, WEKA online) angebracht, filtern aus der dahinter liegenden Bildinformation je nach Blickwinkel verschiedene Bildelemente heraus und stellen den Augen so, die für das dreidimensionale Sehen notwendigen getrennten Bildinformationen zur Verfügung.

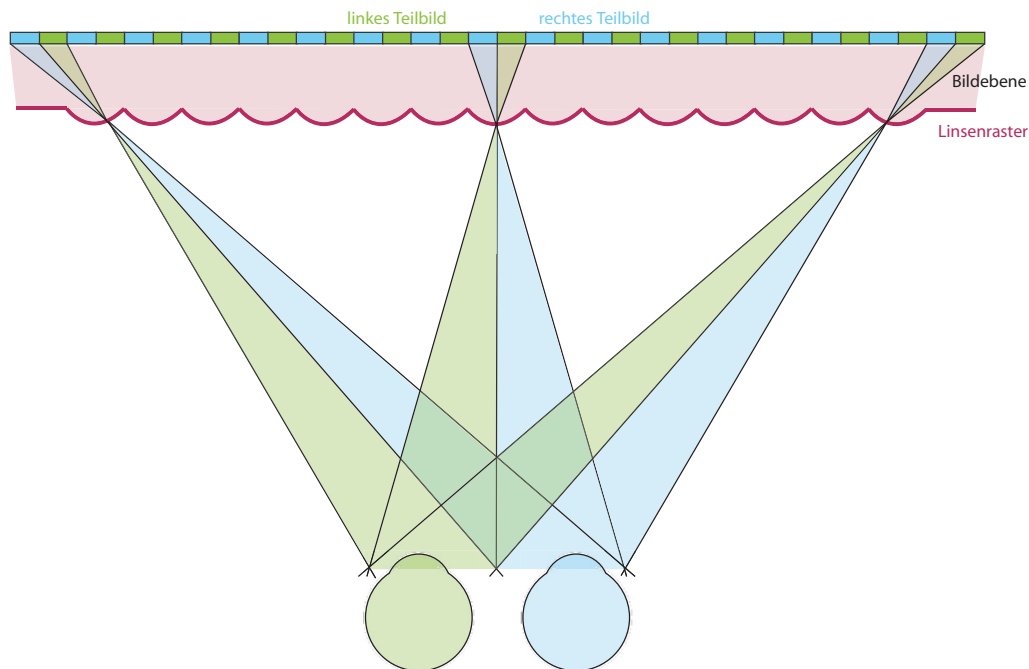


ABB. 3.2 Linsenrasterverfahren mit einem Stereopaar Schematische Darstellung

Dieses Verfahren wurde auch auf Fotos angewandt und 1964 in den USA unter dem Namen Xographie bekannt. Neben dem reinen Betrachten von stereoskopischen Bildern wurde mit Hilfe der Lentikular-Raster das Stereopaar schon bei der Aufnahme in Streifen zerteilt. Die Xographie wurde vor allem von der Werbeindustrie entdeckt und war dadurch vor allem in den 80er Jahren in der Form von Wechsel- bzw. Wackelbilder beliebt.

### 3.2 Anwendung der Verfahren bei autostereoskopischen Monitoren

Sowohl die Parallaxenbarriere als auch das Linsenrasterverfahren kommen herstellerbedingt bei autostereoskopischen Monitoren zum Einsatz. Generell müssen Hersteller einen Kompromiss zwischen Auflösung, Brillanz, Helligkeit und Betrachteranzahl bzw. Bewegungsfreiheit eingehen.

Mit Letzterem hatte schon Ivanov zu kämpfen, denn bei der autostereoskopischen Wiedergabe der 3D-Filme in Russland wurde bei der kleinsten Bewegung des Betrachters der Raumeindruck gestört.

„Sobald er nämlich zur Seite rückt, verschwindet der Raumeindruck, um nach einer Seitenbewegung entsprechend dem Augenabstand in einen tiefenverkehrten Eindruck umzuschlagen und nach weiterer seitlicher Bewegung um den Betrag des Augenabstandes wieder raumrichtig zu erscheinen“ (Kluth 1955, S. 69).

Die Möglichkeit der autostereoskopischen Wahrnehmung war und ist auch heute noch auf bestimmte Zonen begrenzt: Diese Zonen werden als Sweet Spots, Viewing Zones oder auch Viewing Diamonds bezeichnet.

Je nach Menge dieser Zonen kann bei autostereoskopischen Monitoren zwischen zwei Typen unterschieden werden, den Single View- und den Multi View Monitoren.

### Single View Monitore

Bei Single View Monitoren gibt es nur einen Sweet Spot. Demnach kann nur eine einzige Person 3D autostereoskopisch wahrnehmen. Hierzu wird nur ein Stereopaar spaltenweise abwechselnd angebracht. Auf den ungeraden Pixelspalten erscheint das linke Stereobild, auf den geraden Pixelspalten das rechte.

Die Firma Sharp bietet Monitore und Laptops an, deren Besonderheit darin liegt, dass diese per Knopfdruck vom 2D Modus in den 3D Modus umgeschaltet werden können und somit „auch für den Office Bereich“ (Müller 2005, PC Professional online) einsetzbar sind.

Eine Parallaxenbarriere in Form von schaltbaren Flüssigkristallen wird hierbei zwischen der Hintergrundbeleuchtung und dem TFT Panel an bzw. ausgeschaltet. Wenn die Streifenmaske inaktiv ist, kann der Monitor normal genutzt werden. Bei Aktivieren der Barriere werden die Molekülstränge der schaltbaren Flüssigkristalle so gelenkt, dass sie „das Licht des TFT-Backlights in Richtung des linken oder rechten Auges steuern können“ (Stegemann 2006, Design&Elektronik online).

Stereoskopische Bildinhalte können somit ohne Brille betrachtet werden.

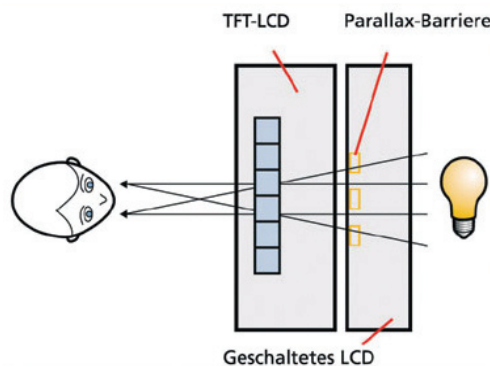


ABB. 3.3 Sharp Display 2D Modus  
Im 2D Modus ist die Barriere ausgeschaltet

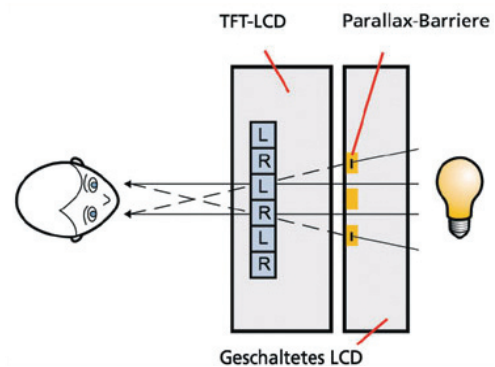


ABB. 3.4 Sharp Display 3D Modus  
Im 3D Modus ist die Barriere eingeschaltet

Der Nachteil dieses Systems besteht darin, dass zum einen neben der halbierten Auflösung aufgrund der auf die Pixel verteilten zwei Ansichten auch ein erheblicher Helligkeitsverlust durch das Vorschalten der Barriere eintritt. Dies fällt vor allem beim Umschalten vom 2D in den 3D Modus auf. Zudem muss sich der Betrachter im richtigen Abstand und Winkel vor dem Bildschirm befinden. Bewegt er sich aber aus dem Sweet Spot heraus „ist der schöne 3D Effekt dahin“ (Müller 2005, PC Professional online).

Um das Problem der starren Sitzposition zu lösen gibt es generell zwei Ansätze, deren Basis ein Head-Tracking System bildet. Im Display wird eine Kamera eingebaut, welche die Position der Augen verfolgt und die Bewegungsinformationen für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stellt.



ABB. 3.5 3D Free2C  
Kamerasystem oben deutlich zu sehen

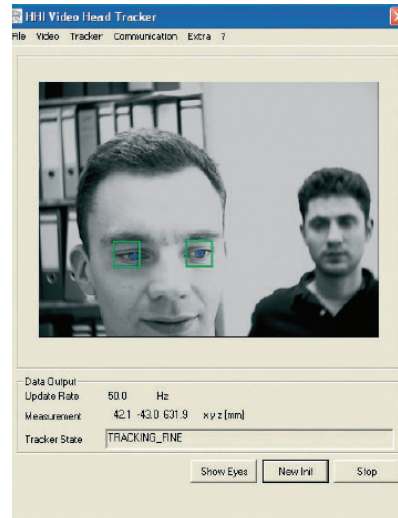


ABB. 3.6 3D Free2C Tracking Software  
Bild der Kamera mit Tracking Punkten (Augen)

Das Fraunhoferinstitut für Nachrichtentechnik (Heinrich-Hertz-Institut) entwickelte den Monitor „3D Free2C“, der sein Linsenraster mechanisch der Bewegung des Betrachters anpasst: „Through a high speed video tracker system and a novel dual-axis kinematic device the lens plate is steadily adjusted in real-time without any noticeable delay when the observer changes the viewing position“ (A.C.T. Kern 1995, Free2C Broschüre online).

Ein anderer Ansatz besteht darin, den Bildinhalt auf Softwarebasis den Augenbewegungen anzupassen. Die meisten am Markt erhältlichen 3D Single View Monitore arbeiten mit diesem Lösungsansatz, nicht nur aufgrund der weniger komplizierten Bauweise, sondern auch wegen der geringeren technischen Verschleißanfälligkeit durch den Verzicht auf mechanisch bewegte Komponenten.

An einem weiteren erwähnenswerten Konzept arbeitet Christoph Grossmann, der Kopf von SeeFront GmbH in Zusammenarbeit mit Spatial View. Dessen Überlegung ist es, ein monitorunabhängiges Single User System zu etablieren. Dieses besteht aus einem Linsenrasterrahmen, optional mit einer Head-Tracking Kamera versehen, welcher an jedem Flachbildschirm angebracht werden kann. „Special software fractionizes both perspective views for the left and right eye and composes these to form the screen rendering calibrated for the SeeFront optics used“ (Grossmann 2006, White Paper S. 3).

Der Vorteil dieses Patents liegt auf der Hand. Diese Technologie ist sehr flexibel einsetzbar, da das Linsensystem unabhängig von der Pixelmatrix des Basisdisplay ist. Somit wird die Auflösung von vornherein nicht festgelegt, sie ist abhängig von der Auflösung des jeweils benutzten Flachbildschirms. Selbst an einem Laptop könnte das optische Forepanel angebracht werden.



Wie beim SeeFront Display ist auch folgende 3D Wiedergabetechnik von SeeReal in der Entwicklungsphase. Während alle bisher vorgestellten 3D Monitore das Stereopaar stets zeitlich simultan zeigen, und die Auflösung des Stereobildes demnach halbiert wird, arbeitet SeeReal an einem autostereoskopischen Shutterverfahren, welches durch die zeitversetzte Präsentation des Stereopaars volle Auflösung verspricht.

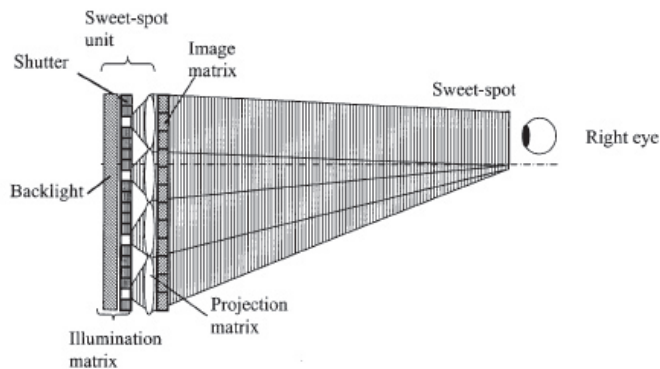


ABB. 3.7 Aufbau des SeeReal „autostereoscopic time-multiplexed Display“ Patentskizze

Dieses System besteht aus mehreren Komponenten, einem Tracking Unit einem Sweet Spot Unit, bestehend aus Hintergrundbeleuchtung, Lichtmatrix und mehrere Linsensysteme, sowie einem LCD Panel.

Die Lichtmatrix verhindert das Hindurchdringen von Licht, solange ein Pixel inaktiv ist. Das Tracking System ermittelt die Position der Augen und berechnet, welche Pixel jeweils aktiviert werden müssen. Ist ein Pixel aktiv, wird die Lichtmatrix an dieser Stelle transparent und Licht geht durch das optische System über den TFT Panel hin zum Auge des Betrachters.

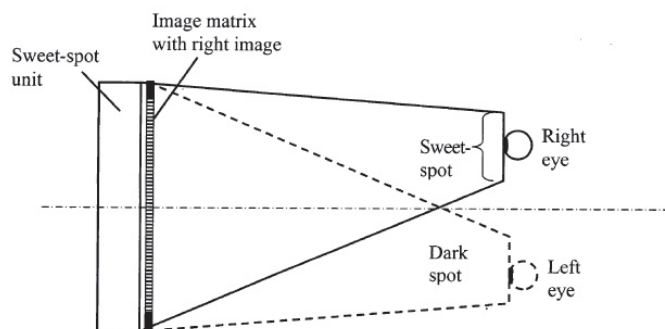


ABB. 3.8 Im Wechsel befindet sich jeweils ein Auge im „Sweet Spot“ (nimmt ein Stereohalbimage wahr), und zeitgleich das andere Auge in einem „Dark Spot“

Kurz darauf schließen die Pixel wieder, um andere berechnete Pixel zu aktivieren.

„At the same time, the TFT display will have switched image so that each eye will only see its dedicated image“ (SeeReal 2007, Broschüre online S. 4).

Diese Bildwechselfrequenz ist wie beim Einsatz von Shutterbrillen so hoch, dass diese nicht wahrgenommen werden kann.

Ein weiterer Vorteil, welcher sich durch die volle Auflösung ergibt, besteht aus der Möglichkeit, mit 2D und 3D Material ohne Umschalten arbeiten zu können.



### Multi View Monitore

Um mehreren Personen gleichzeitig 3D autostereoskopisch präsentieren zu können, werden neben Licht bündelnden Linsen mehrere, aus unterschiedlichen Perspektiven generierte Ansichten eines Objektes benötigt. Grundsätzlich gilt: Je mehr Perspektiven, desto sprunghafter der Übergang bei einer horizontalen Kopfbewegung.

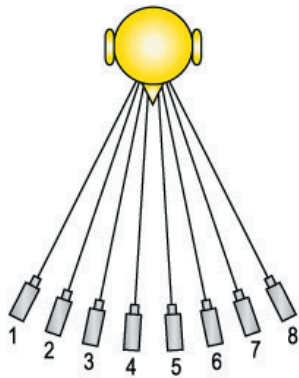


ABB. 3.9 Der Kopf erscheint aus jeder Perspektive anders

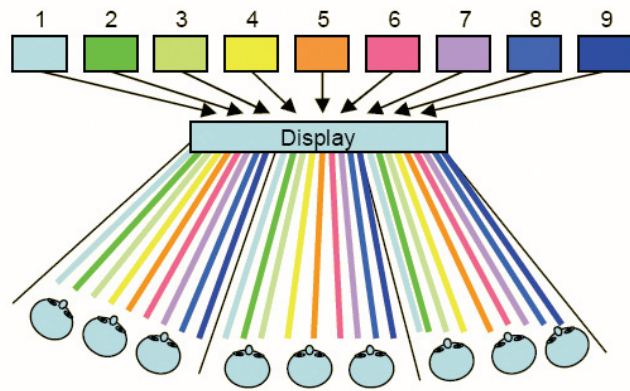


ABB. 3.10 Mehrere Perspektiven ermöglichen das Betrachten des Stereobildes von mehreren Standpunkten aus

Die ehemalige Firma 4D Vision, später von X3D aufgekauft und heute unter dem Namen Newsight bekannt, leistete auf diesem Gebiet Pionierarbeit. Der Newsight Display arbeitet mit 8 unterschiedlichen Perspektiven, wodurch der Betrachtungsraum größer wird und demnach auch seitlich stehende Personen das 3D Bild gut erkennen können. Dennoch treten zwischen den Sweet Spots Sprünge auf.

Das Aufbauprinzip eines solchen Multi View Displays sieht folgendermaßen aus: Im Unterschied zu den Single User Systemen findet die Verteilung der 8 Ansichten abwechselnd im Subpixelbereich (R, G, B) statt. Vor dem LCD Panel sitzt eine als Parallaxenbarriere fungierende Lochmaske, welche je nach Betrachtungsposition ein anderes Subpixel und demnach eine andere Perspektive freigibt. Diese Lochmaske ist bei dem Newsight Display deutlich als Raster zu sehen.

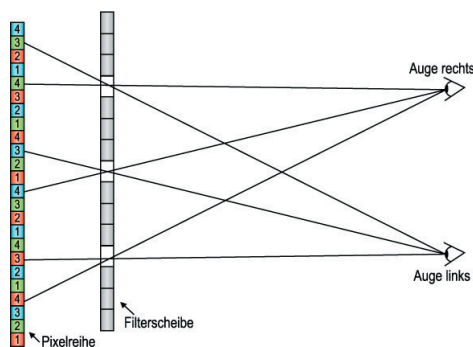


ABB. 3.11 Funktionsprinzip Newsight Display Standpunkt 1

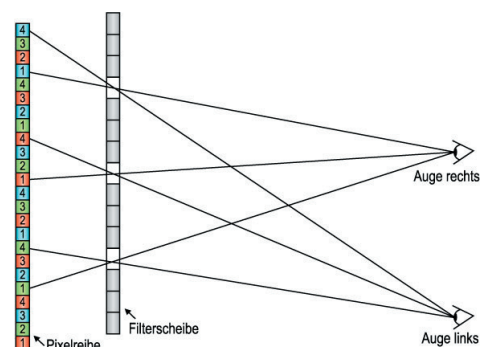


ABB. 3.12 Funktionsprinzip Newsight Display Standpunkt 2

Für die Aufnahme der 8 Ansichten sind nicht zwingend 8 Kameras notwendig, denn mit Hilfe einer Software lassen diese sich aus einem gewöhnlichen Stereopaar berechnen.

Im Gegensatz zu Newsight verwendet Philips bei dem „WOWvx“ Multi View Monitor anstatt der Lochmaske ein spezielles Linsenraster, das keinen Helligkeitsverlust und deutlich mehr Brillanz mit sich bringt. Die Linsen sind so angeordnet, dass sich die Bildebene des LCD's auf der Brennebene der Linsen befindet. Blickt ein Auge nun frontal auf das Display, wird genau der Teil des LCD's, welcher sich direkt unter der Linse befindet, sichtbar. Das andere Auge, welches den Monitor von einem leicht unterschiedlichen Winkel betrachtet, „sees the portion of the LCD that is off-center under each lens“ (Philips 2005, technology backgrounder online S. 2) und bekommt demnach eine anders perspektivisches Bild zu sehen.

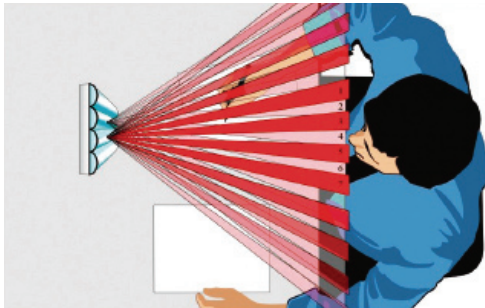


ABB. 3.13 Funktionsprinzip Philips Display

Da nun das Linsenraster so angeordnet ist, dass unter jeder Linse mehrere Subpixel platziert sind, wird das Licht dieser in jeweils unterschiedliche Richtungen gebrochen. Die Voraussetzung für zeitgleiches Präsentieren unterschiedlicher Perspektiven ist somit gegeben. In den Subpixeln sind, ähnlich wie beim Newsight Display, die 9 Ansichten in einer mit dem Linsenraster abgeglichenen Anordnung gespeichert.

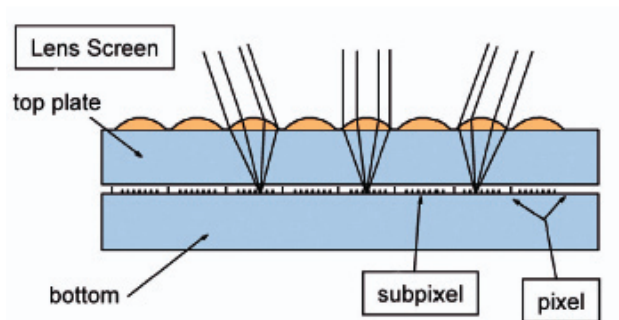


ABB. 3.14 Aufbau Philips Display

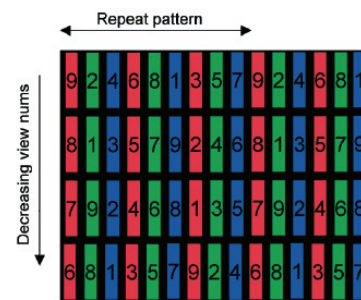


ABB. 3.15 Anordnungsschema der 9 Perspektiven in Subpixel

Eine weitere Besonderheit des Linsenrasters findet sich in der Beschaffenheit der Lentikulare. Diese sind abgeschrägt und verteilen somit den Perspektivanzahl bedingten Auflösungsverlust nicht nur wie bei herkömmlichen Verfahren auf horizontaler sondern zusätzlich auch auf vertikaler Ebene. „A nine view slanted lenticular sheet (...) causes only a threefold decrease in both vertical and horizontal resolution; moreover a more balanced shape of the pixel is maintained“ (Philips 2005, technology backgrounder online S. 2).

## KAPITEL 3 Autostereoskopische Wiedergabesysteme und deren Funktionsprinzip

Im Vergleich hierzu steht der um den Faktor der Perspektivenanzahl ansteigende Auflösungsverlust bei rein vertikal angebrachten Lentikularen.

Des Weiteren ermöglicht Philips auch das Umschalten vom 2D zum 3D Modus. Bisher war dies den Parallaxenbarriere basierten 3D Systemen vorbehalten. Der angewandte Trick liegt an einer transparenten, Flüssigkristall-Füllung (LC) innerhalb des Linsenlayers. Befindet sich der Monitor im 3D Modus ist der Lichtbrechungsindex des LC und der Linsen unterschiedlich. „Light passing from the display through the lenses is refracted, creating the 3D effect“ (Philips 2005, technology background online S. 3).

Beim Umschalten in den 2D Modus wird der Brechungsindex des LC durch elektrische Ladung dem der Linsen angeglichen.

„As a result, the lenticular layer becomes nonrefractive; light simply passes through it“ (Philips 2005, technology background online S. 3).

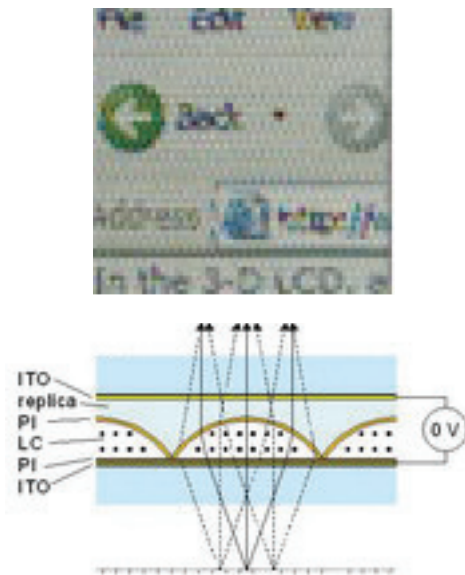


ABB. 3.16 Schema und Ansicht 3D Modus

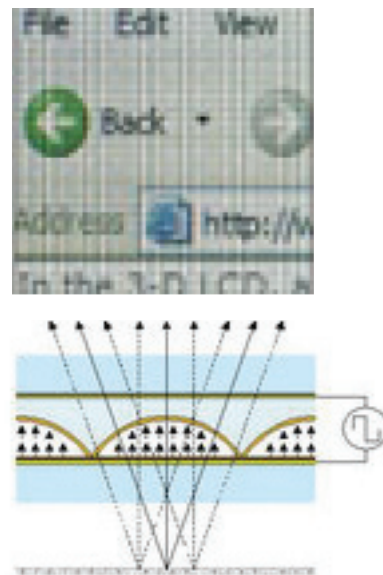


ABB. 3.17 Schema und Ansicht 2D Modus

Philips setzt auch bei der Verarbeitung des Stereobildes auf ein anderes Format wie dessen Konkurrenz. „2D plus Tiefe“ ist das Stichwort. So errechnen sich die benötigten 9 Perspektiven aus einem 2D Bild und einer Tiefenmap, -einem sämtliche Tiefeninformation enthaltenden Graustufenbild (Schwarz = hinterster Punkt, Weiß = vorderster Punkt, mittleres Grau = Konvergenzebene). Diese Tiefenmap kann entweder separat bereitgestellt, oder aber aus monokularen und bewegungsinduzierten Tiefenkriterien (siehe Kapitel 2) errechnet werden.

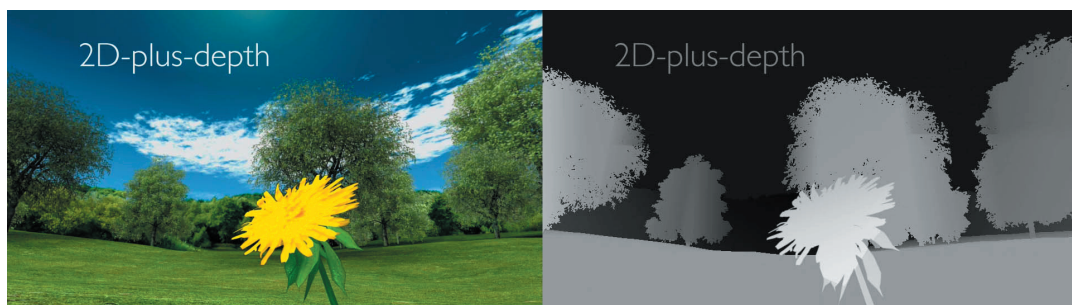


ABB. 3.18 2D plus Tiefenmap

## KAPITEL 3 Autostereoskopische Wiedergabesysteme und deren Funktionsprinzip

Wie aufgezeigt, sind viele interessante Entwicklungen auf dem Markt der auf binokularen Sehen basierenden 3D Monitore zu beobachten. Welche derzeit erhältlichen Technologien sich dauerhaft durchsetzen werden ist noch nicht abzusehen.

Dennoch kann zusammenfassend gesagt werden, dass Parallaxenbarriere basierte Monitore durch das Vorschalten der Maske mehr Helligkeit schlucken und demnach weniger brillant und kontrastreich sind wie Monitore nach dem Linsenrasterverfahren. Weiterhin ist die Auflösung des autostereoskopischen Bildes abhängig von der Menge der verwendeten Perspektiven, demnach ist die Auflösung von Single User Monitoren bisher besser als die der Multi View Displays, auch wenn die Beschaffenheit der von Philips verwendeten Lentikulare die Problematik etwas reduziert.

Produkt / Hersteller	Website	Technik / Prinzip	Single / Multi View	Anzahl Perspektiven	2D - 3D Modus umschaltbar	Besonderheiten
„LL-151-3d“, „Actius“ von Sharp	www.sharp-world.com	Parallaxenbarriere	S	2	ja	auch Notebooks
„Free2C“ Fraunhofer / A.C.T. Kern	www.actkern.de	Linsenraster	S	2	ja	Head Tracking, mechanisch
„C-i“, „C-s“, C-n“ von SeeReal	www.seereal.com	Linsenraster	S	2	nein	„C-s“, C-i“ Head Tracking „C-n“ ohne Head Tracking
DTI	www.dti3d.com	Parallaxenbarriere	S	2	ja	
Dimen von Pavonine	www.dimen.co.kr	Parallaxenbarriere	S	2	ja	Head Tracking
Prototyp von SeeReal	www.seereal.com	Linsenraster und Shuttertechnik	S	2	nicht notwendig da in 3D Modus volle Auflösung	Shuttertechnik Head Tracking
Prototyp SeeFront / Spatial View	www.seefront.de www.spatialview.com	Linsenraster	S	2	ja	Monitor unabhängig (geplant) + Head Tracking
„SV2100S“ von Tridality	www.tridality.de	Parallaxenbarriere	S	2	ja	erweiterbar mit Head Tracking (USB Kamera)
„MV4750TX“, „MV2700“, „MV1900“ von Tridality	www.tridality.de	Parallaxenbarriere	M	5	nein	
Newsight (ehem. X3D)	www.newsight.com	Lochmaske als Subpixelfilter	M	8	nein	
WOWvx von Philips	www.business-sites.philips.com/3dsolutions	Linsenraster als Subpixelfilter	M	9	möglich, aber nicht in jedem Modell umgesetzt	Tiefenmap

ABB. 3.19 Tabellarische Übersicht gängige autostereoskopische Displays auf Basis des binokularen Sehens

Je nach Einsatzbereich ist die eine oder andere Technologie vorzuziehen. Bei filigranen Arbeiten, so beispielsweise in der Forschung, geht die Tendenz eher zu den Single View Monitoren, während bei Werbung und Messeauftritten vorwiegend Multi View Monitore eingesetzt werden.

### Hochauflösendes Display

Wie bereits geschildert, ist die Qualität der 3D Darstellung auf Multi View Monitoren abhängig von der Anzahl der verwendeten Perspektiven und der Auflösung des 3D Bildes. Je mehr Objektansichten den 3D Effekt generieren, desto flüssiger ist der Übergang der einzelnen Viewing Zones, umso natürlicher und angenehmer wird das Betrachten der räumlichen Objekte.

Eine optimierte autostereoskopische Wiedergabe von 3D Inhalten sollte demnach wesentlich mehr Ansichten beinhalten, wie bisher aufgrund des einhergehenden Auflösungsverlusts verwendet wurden, und zudem brillant und hochauflösend sein.

Das Team von Prof. Dr. Siegbert Hentschke (Institut für Peripherie und Mikroelektronik, IPM der Universität Kassel) bemüht sich diese Anforderungen in einem neuen System umzusetzen. Das „Hologram Display“ soll mit bis zu 128 Perspektiven arbeiten.

Das Prinzip baut auf den bisher vorgestellten Verfahren auf.

Auch hier werden die Einzelbilder in Form von schmalen Streifen ineinander geschachtelt und mit Hilfe von einem vertikalen Lentikularraster fokussiert.

Zwischen einem binären LCD-Layer und den Linsen sind Farb- und Helligkeitsfilter angebracht. Bei dem binären LCD können die Flüssigkristalle zwei Zustände einnehmen: transparent oder intransparent.

Das Besondere liegt hier in der Beschaffenheit des Informationsträgers, also der Pixel, bzw. der Menge der beinhaltenden Subpixel des binären LCDs. Um eine hohe Auflösung trotz der vielen Perspektiven zu erhalten, muss die Größe der Subpixel verringert, und deren Anzahl bis zu 128 vergrößert werden.

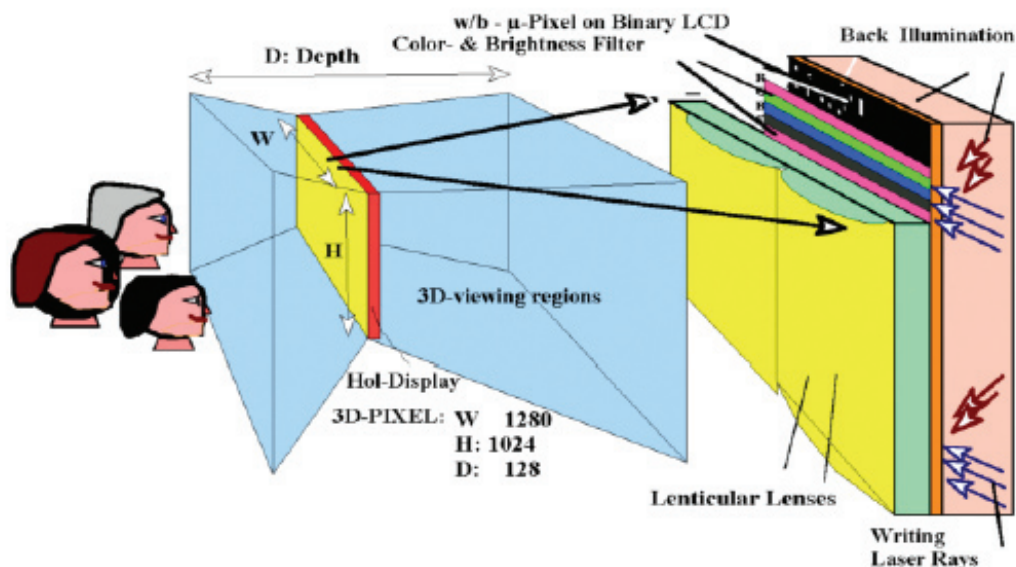


ABB. 3.20 Aufbauprinzip Hologram Display

Dieses Verfahren wird als HR (high resolution) Subpixel Codierung bezeichnet. Jedes 3D Pixel besteht aus einer Vielzahl von Spalten, welche wiederum in Subpixel unterteilt sind. Jede Spalte entspricht einer perspektivischen Ansicht und enthält Farbinformati-



onen (R, G, B) und optional eine Helligkeitsinformation (K). Jeder Farbstreifen kann bis zu 128 Helligkeitsstufen annehmen, welche in binären Subpixeln gespeichert werden.

Dies geschieht durch Laser, welche hochpräzise diese „LCD-Lochmaske“ erstellen. In Verbindung mit den vorgeschalteten Farb- und Helligkeitsfiltern und einer Hintergrundbeleuchtung entsteht somit das dreidimensionale Bild mit bis zu 128 Perspektiven. Wahlweise können die binären Pixel auch auf einem Fotofilm geschrieben werden, so wie im „Kasseler 3D Fotodisplay“ bereits realisiert.

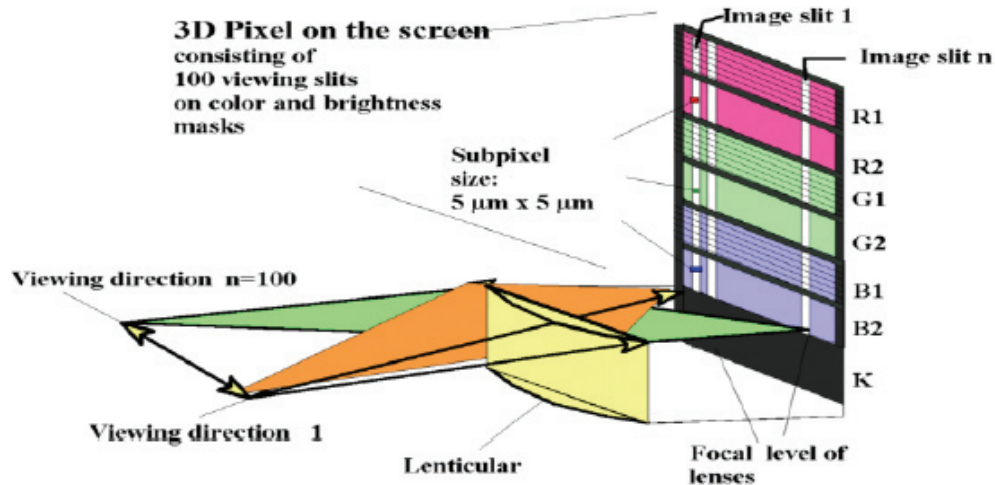


ABB. 3.21 Subpixeleinteilung eines Pixels (100 Perspektiven)

Natürlich bestehen bei diesem Ansatz derzeit Probleme bei Echtzeit, bzw. Wiedergabe von Bewegtbild, so dauert das Löschen und Schreiben der Lochmaske noch zu lange. Zudem erfordert diese Technologie „Spezialdisplays mit einer Horizontalauflösung von bis zu 12 000 Pixel – überaus teuer“ (Lemme 2006, WEKA online).

Deshalb ist man zu den feiner strukturierbaren OLED Displays übergegangen.

### 3.3 Volumetrische, multiplanare Darstellungstechniken

Hochauflösende autostereoskopische Multi User Displays wie das soeben beschriebene „Hologram Display“ werden oft zu den volumetrischen Displays gezählt, auch wenn dieses wie alle bisher vorgestellten autostereoskopischen Verfahren lediglich Räumlichkeit simuliert, indem die binokulare Wahrnehmung des Menschen aus mehreren physikalisch flachen Bildern dreidimensionale Körper generiert.

Im Gegensatz hierzu erzeugen volumetrische Displays in einem vorgegebenen Volumen reale 3D Objekte, indem Volumenpunkte, auch Voxel genannt, illuminiert werden.

Diese dreidimensionalen Objekte können demnach unabhängig vom Betrachtungsstandpunkt autostereoskopisch von einem oder mehreren Betrachtern zeitgleich betrachtet werden und sind nicht wie bei binokularbasierten 3D Systemen auf Viewing

Zones begrenzt. Zudem kommen volumetrische Displays dem natürlichen menschlichen Sehvorgang entgegen. So werden bei der Bildbetrachtung Akkomodation und Konvergenz nicht wie bei den bisher vorgestellten autostereoskopischen Wiedergabeverfahren voneinander getrennt.

Volumetrische Displays lassen sich anhand deren Funktionsweise in zwei Gruppen unterteilen: Statisch Volumetrische und Swept Volume Displays.

### Swept Volume Displays

Diese Wiedergabegeräte generieren ein dreidimensionales Bild „by reflecting or transmitting light from a rotating or oscillating 2D surface within the desired 3D volume“ (Favalora 2005, IEEE Computer Society S. 37).

Die Trägheit des menschlichen Sehens wird hier also ausgenutzt, denn durch die Rotation einer zweidimensionalen Projektionsfläche werden dreidimensionale Körper wahrgenommen.

Das von Schülern des Vincent-Lübeck-Gymnasiums in Stade entwickelte „Felix 3d“ volumetrische Display funktioniert nach folgendem Prinzip: In einer Glaskuppel befindet sich eine rotierende, Helix-förmige Mattscheibe. Ein computergesteuertes Lasersystem, bestehend aus beweglichen Spiegeln und RGB Lasern, projiziert Lichtpunkte auf die spiralenförmige, halbdurchsichtige Fläche, welche mit 20 Umdrehungen pro Sekunde rotiert.

Die durch die schnelle zeitliche Abfolge im Raum erzeugten Leuchtpunkte (Voxel) ergeben in ihrer Gesamtheit ein dreidimensionales Bild.

Der Nachteil an diesem System besteht darin, dass im Bereich der Helix-Achse eine tote Zone entsteht, welche „sicherheitsrelevante Anwendungen wie etwa Flugraumüberwachung“ (Lemme 2006, WEKA online) ausschließt.

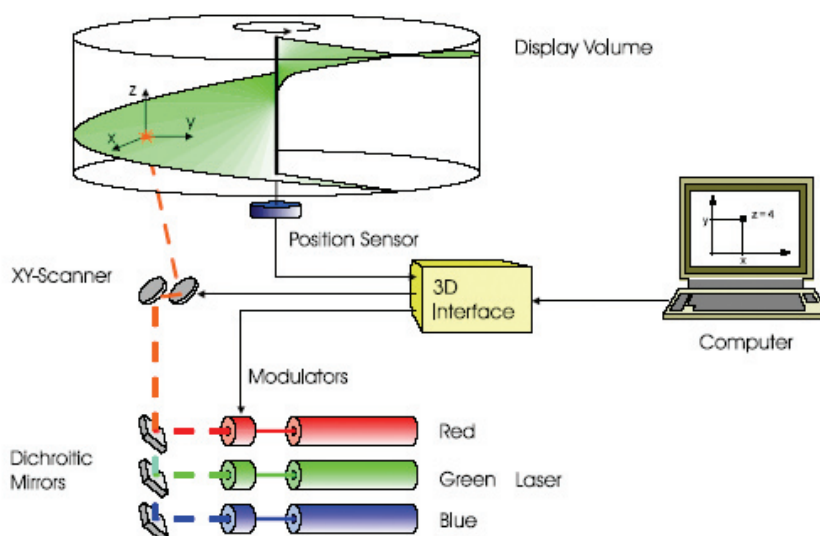


ABB. 3.22 Funktionsprinzip „Felix 3d“ Display



Ähnlich funktioniert das „Perspecta Spatial 3D“ System von Actuality Systems. Anstatt der helixförmigen Projektionsfläche kommt hier eine planare rotierende Scheibe zum Einsatz. Mithilfe einer highspeed Projektionseinheit (DLP von Texas Instruments) wird eine Serie von 2D Mustern, auch Slices genannt, mit etwa 6000 Bildern pro Sekunde auf die omnidirektional lichtstreuende Fläche projiziert. Diese wiederum dreht sich mit 15 Umdrehungen pro Sekunde um die eigene Achse. Das gestreute Licht illuminiert bis zu 100 Millionen Leuchtpunkte, wobei jedes dieser Voxel, aufgrund des hohen Bedarfs an schnellem Bildspeicher, nur 3 Bit Farbtiefe hat.

„However, the observer gets the benefit of full color through the system’s use of proprietary volumetric dithering“ (Favalora 2005, IEEE Computer Society S. 41).



ABB. 3.23 „Perspectiva Spatial 3D“ mit 360° Sichtfeld

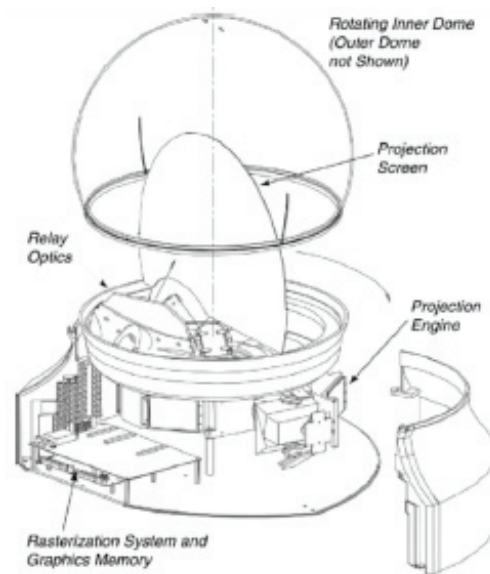


ABB. 3.24 Schematische Darstellung

### Statisch volumetrische Displays

Statisch volumetrische Displays erzeugen dreidimensionale Objekte ohne den Einsatz von bewegten Projektionsflächen innerhalb dem dargestellten Volumen. Illuminierte Voxel werden „by direct excitation of points within a physical 3D medium“ (Balakrishnan / Fitzmaurice / Kurtenbach 2001, IEEE Computer Society S. 38) erzeugt.

Statische 3D Festkörperdisplays haben den Vorteil, dass keine toten Zonen, in denen eine Illumination der Voxel nicht möglich ist, entstehen können.

Ein solches multiplanares System ist der „DepthCube“ von LightSpace Technologies. Dieser besteht aus 20 in der Z-Achse hintereinander angebrachten TFT Displays, deren Flüssigkristalle elektronisch schaltbar sind.

„Only one ist receptive – and the other 19 are transparent“ (Gordon 2006, online).

Jede dieser Schichten wird nun hintereinander von dem highspeed DLP Projektor illuminiert. Dies geschieht in einer so schnellen Zeitabfolge, dass unser visuelles System ein komplettes dreidimensionales Bild wahrnimmt, welches innerhalb des Monitors zu

schweben scheint.

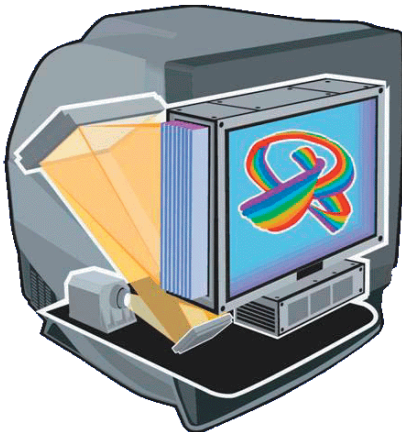


ABB. 3.24 "DepthCube"

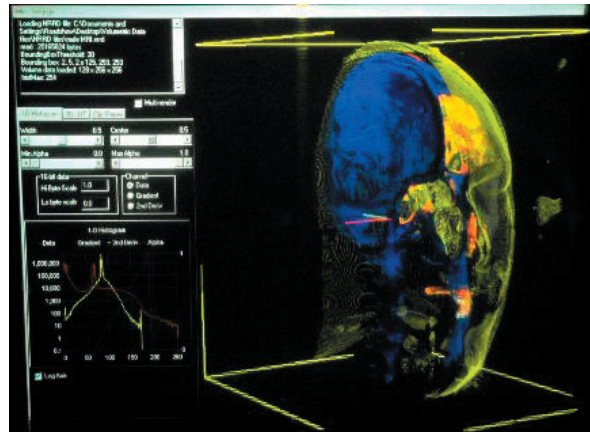


ABB. 3.25 3D Objekt im „DepthCube“

Beim DepthCube ist die Tiefenwirkung aufgrund der TFT Anzahl auf 20 Stufen begrenzt. Eine Rundumsicht ist durch das Monitorgehäuse nicht gegeben.

Das Solid-State Three Dimensional Display Verfahren hat weder tote, noch baubedingt verdeckte Zonen. Das Festkörpervolumen eines solchen Displays besteht aus einem festen, transparenten Material, in welchem „Selten-Erd-Atome“ (Lemme 2006, WEKA online) eindotiert sind. Basierend auf der Two Step Two Frequency Upconversion (TSTF) werden diese Atome im Fokus zweier Infrarotlaser zum Fluoreszieren angeregt.

Das Prinzip von der TSTF Upconversion sieht folgendermaßen aus:

Der spontane Übergang eines Atoms von einem hohen zu einem niedrigen Energielevel liefert sichtbare Fluoreszenz. Durch den ersten Laser werden die Elektronen des Atoms zunächst vom Energielevel  $E_0$  auf  $E_1$  angehoben. Ein zweiter Laser anderer Wellenlänge hebt diese nun von Level  $E_1$  auf  $E_2$  an.

„Durch einen spontanen Energiesprung der Elektronen von  $E_2$  auf  $E_0$ “ (Felix3d.com 2006, online) wird Energie in Form von Licht und Wärme frei.

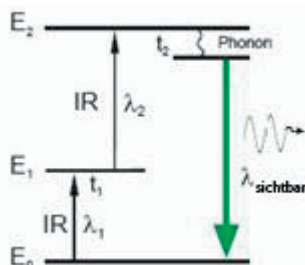


ABB. 3.27 TSTF  
Fluoreszenzanregung mit 2 verschiedenen Frequenzen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$

Der Fokus der Laser wird also durch das Displayvolumen bewegt und somit leuchtende Voxel erzeugt. Ist die Geschwindigkeit der Laser groß genug, können damit „ganze

## KAPITEL 3 Autostereoskopische Wiedergabesysteme und deren Funktionsprinzip

Bilder gezeichnet werden" (Felix3d.com 2006, online).

Die erste Realisierung eines solchen Systems gelang 1989 Elizabeth A. Downing, einer Wissenschaftlerin der Stanford University. Auch das „Felix 3d“ Team beschäftigt sich mit diesem Verfahren.

Erwähnenswert ist weiterhin eine noch in den Kinderschuhen steckende Technologie, die das Projizieren dreidimensionaler Objekte in der Luft ermöglicht. Wissenschaftler am National Institute of Advanced Science and Technology (AIST) in Tokio entdeckten, dass sich mit Hilfe stark fokussierter Laserstrahlen Leuchtpunkte in der Luft erzeugen lassen.

„Dazu wird ein infraroter Nanosekunden Laserpuls auf einen Punkt im Raum fokussiert. Nahe des Fokuspunkts übersteigt die Intensität des Lasers den Schwellenwert für die Ionisierung der Luft –das mit einem Knall erzeugte Plasma leuchtet für rund eine Nanosekunde auf“ (Heise 2006, online).

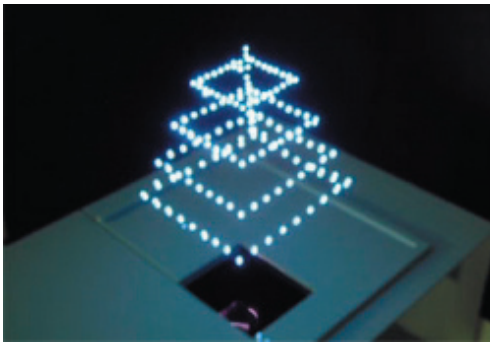


ABB. 3.28 Durch Ionisierung der Luft erzeugtes Plasma

Um nun den Leuchtpunkt dauerhaft zu erhalten, wird dieser Vorgang mit einer Frequenz von 100 Hertz wiederholt. Ein durch eine Software kontrollierbarer Motor zur Verschiebung der Fokussierlinse und ein rotierendes Spiegelsystem ermöglichen, dass dreidimensionale Standbilder „between two and three meters from the apparatus“ (Hambling 2006, NewScientist online) projiziert werden.

Momentan tüfteln die Entwickler an der Erhöhung der Laserimpulsfrequenz, um eine bessere Auflösung der Bilder zu erreichen, sowie der Projektion von Bewegbild. Ein unlösbares Problem allerdings stellt die Farbwiedergabe dar:

„Only white flashpoints can be created so a colour display will not be possible“ (Hambling 2006, NewScientist online).

### 4 Einsatzbereiche autostereoskopischer Wiedergabesysteme

Wie bereits ausgeführt sind viele autostereoskopische Systeme, wie vor allem die volumetrischen Displays, noch in der Entwicklungsphase und demnach nicht einsatzfähig und nur unter erheblichem finanziellen Aufwand herzustellen. Zudem ist festzustellen, dass es momentan keine ultimative, in jeglichen Anwendungsgebieten einsetzbare autostereoskopische Systemlösung gibt.

Je nach Einsatzbereich müssen Kompromisse eingegangen werden. Das sind z.B. Preis und Größe des Gerätes, Standbild oder Bewegbild, Echtzeitfähigkeit, Auflösung, Farbechtheit, Bewegungsfreiheit, Single View oder Multi View, um nur einige der Einschränkungen zu nennen.

Der Vorzug der zusätzlichen Tiefeninformation, welche eine stereoskopische Bildwiedergabe mit sich bringt, ist heute bereits ein generell unbestrittener Fortschritt in vielen Anwendungsbereichen.

**Für welche Zwecke also werden autostereoskopische Systeme heute eingesetzt?  
In welchen Bereichen ist deren Verwendung zukünftig denkbar?**

#### 4.1 Einsatz in der Industrie

Überall dort, wo nicht auf die Tiefendimension verzichtet, beziehungsweise durch eine räumliche Visualisierung der Arbeitsablauf vereinfacht werden kann, bringt der Einsatz von 3D Technologie mit Sicherheit viele positive Veränderungen mit sich.

In der Industrie werden bereits vereinzelt stereoskopische Visualisierungen eingesetzt, doch wird das Arbeiten mit Brille oft als störend empfunden. Erst autostereoskopische Wiedergabegeräte bieten für einige Bereiche ein einfacheres Handling und daraus resultierend eine höhere Flexibilität im Arbeitsworkflow.

In der Industrie ist der Einsatz autostereoskopischer Wiedergabesysteme in allen Bereichen denkbar, in denen Visualisierungen zu Entscheidungshilfen werden. In der Architektur beispielsweise könnten die bisherigen Holz-, Gips- oder Kunstharzmodelle durch virtuell begehbare und interaktive 3D Modelle ersetzt werden. Auch das Planen der Inneneinrichtung wie einer Küche kann so überzeugend erlebbar räumlich dargestellt und zusammen mit dem Kunden angepasst werden.

Auch ein Konstrukteur, der beispielsweise ein neues Auto entwickelt, kann von der räumlichen Darstellung profitieren. Gerade für Entscheidungsträger ohne Expertenfachwissen wäre diese Art der Visualisierung sicherlich von Vorteil, da komplexe Abläufe und Formen schnell und präzise dargestellt werden können, was aus zweidimensionalen Planskizzen für Laien oft schwer herauszulesen ist.

Hiefür sind sicherlich die auf dem binokularen Sehen basierten Monitore geeignet, da diese Systeme derzeit am kostengünstigsten sind. Für die Standard Arbeitssituation bietet sich ein Single View Monitor mit Head Tracking an, da nur eine Person am Bildschirm arbeitet und die Auflösung und Farbbrillanz nicht aufgrund mehrerer Perspek-

tiven leidet und somit ein genaues Arbeiten gewährleistet ist.

Volumetrische Displays eignen sich besonders für die Überwachung des Flugraums. Wesentlich schneller und genauer könnten so Fluglotsen komplexe Situationen besser einschätzen. Auch ein Flugtraining an autostereoskopischen Monitoren wäre von Nutzen.

In Umgebungen wie Raumfahrt oder Atomkraftwerken, in denen ein direktes Arbeiten zu gefährlich oder gar unmöglich ist, bietet ein autostereoskopisches System mit Kameras und Display die Möglichkeit Reparaturen oder ähnliches mithilfe der zusätzlichen Tiefeninformation und Robotern schnell und effizient zu erledigen.

Momentan wird bei European Space Technology ESA eher zu Unterhaltungszwecken stereoskopisch gearbeitet. So können die auf der Erde zurückgebliebenen Mitarbeiter die Erlebnisse der wenigen Astronauten im All stereoskopisch, in Zukunft vielleicht auch autostereoskopisch verfolgen. Viele Menschen welche das All wohl nie selbst sehen werden, bekommen so eine Vorstellung des Weltraums, die der Realität sehr nahe kommt. Jüngst gab auch die National Aeronautics and Space Administration NASA bekannt, mit stereoskopischen Bildern der Sonne zu arbeiten. Diese sollen dabei helfen, Solarexplosionen zu analysieren und „die Zeit für eine Vorhersage dieser Explosionen von derzeit etwa 24 Stunden auf einige wenige Stunden zu reduzieren“ (Spiegel 2007, online).

Auch für Kommunikations- und Werbezwecke werden autostereoskopischer Systeme inzwischen eindrucksvoll eingesetzt. Auf Messen, bei Produktpräsentationen oder wie im „MBK“, einem der größten Kaufhäuser Bangkoks. Der „WOW Effekt“, so wie Philips das 3D Erlebnis beschreibt, ist enorm. In Zeiten in denen Kunden mit zweidimensionalen Werbeträgern geradezu bombardiert werden, sind brillenlose 3D Displays wahre Eye Catcher.



ABB. 4.1 Werbewirksamkeit von 3D Displays

Während Bosch auf der Internationalen Automobil Ausstellung IAA 2005 in einem eigens



errichteten 3D Kino deren Innovationen stereoskopisch präsentierte, wird heute dieser Produktfilm bei „speziellen Vorführungen in kleinem Kreise“ (Kluger 2007, Interview) auf autostereoskopischen Newsight Displays gezeigt.

Für Firmen die eine hochwertige Unternehmenskommunikation anstreben und auf Messen oder speziellen Events ihren Kunden etwas Besonderes bieten wollen, ermöglichen autostereoskopische Wiedergabetechniken eine unkomplizierte, mit geringem Aufwand verbundene Möglichkeit einen bleibenden Eindruck zu hinterlassen.

Bereits diese wenigen Beispiele zeigen, wie weit das Feld möglicher Anwendungen in der Privatwirtschaft ist.

### 4.2 3D Technik in der Medizin

Im Folgenden wird der Einsatz von 3D Technik in der Medizin mittels stereoskopischer Visualisierung näher beleuchtet.

Frau Dr. med. Eva U. Braun M. Sc. und Herr Dr. med. Paul Libera vom Deutschen Herzzentrum in München waren so freundlich mir einen Einblick in die momentane Arbeitsweise zu geben.

Gerade in der Medizin ist die 3D Technologie auf dem Vormarsch. Dreidimensionale Daten können bereits aus Ultraschall, Computertomografie (CT) oder einer Kernspintomografie generiert werden. Das Betrachten und Auswerten derer geschieht meist jedoch auf zweidimensionalen Wiedergabegeräten. Inzwischen haben einige Kliniken den Vorzug der dreidimensionalen Wiedergabe für sich entdeckt. So werden bei bestimmten Operationen stereoskopische Systeme wie das Head Mounted Display (HMD) eingesetzt.

Für das Deutsche Herzzentrum München, Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie kommt diese Technologie jedoch nicht in Frage, da das Gewicht des HMD's für lange und diffizile Operationen zu groß ist.

„4 bis 5 Stunden so einen HMD am Kopf zu tragen ist ein Ding der Unmöglichkeit“ erläutert Dr. med. Eva Braun, Betreuerin der Robotik / Telemanipulationschirurgie am Deutschen Herzzentrum.

Im Deutschen Herzzentrum werden mit Hilfe des Telemanipulators „DaVinci“ von Intuitive Surgical seit 1999 minimalinvasive Operationen am Herzen durchgeführt. Anstatt den Brustkorb des Patienten zu öffnen, werden bei dieser Operationsart nur wenige Zentimeter große Zugänge gelegt und durch diese hindurch operiert.

Bei einem minimalinvasiven Eingriff sieht der Chirurg den Operationssitus (Operationsbereich) nicht real, sondern über eine endoskopische Kamera. Gerade in diesem Fall ist eine 3D Darstellung nicht mehr wegzudenken.

„Es ist mittlerweile durch Studien bewiesen, dass der Chirurg durch die 3D Sicht besser sieht, er operiert schneller und die Operation erscheint dem Chirurgen weniger schwierig. Im Allgemeinen ist die chirurgische Qualität durch die zusätzliche Tiefeninformation einfach besser“ (Braun 2007, Interview).

Der Vorteil gegenüber der 2D Darstellung wird als entschieden besser anerkannt. So ist es für den Assistenten, der das Operationsszenario nur zweidimensional verfolgen kann, äußerst schwierig dem Chirurgen beispielsweise eine Nadel oder einen Faden zu übergeben. „Das ist fast unmöglich und es erscheint wie wenn man das noch nie gemacht hätte“ (Braun 2007, Interview).



ABB. 4.3 Teleskopischer Manipulator Da Vinci



ABB. 4.4 Chirurg unsteril am Telemanipulator

Der Telemanipulator arbeitet wie Wheatstones Stereoskop. Zwei Bildschirme präsentieren dem Chirurgen die jeweilige Kameraansicht des stereoskopischen Endoskops. Durch den Sucher wird jedem Auge das jeweilige Bild separat bereitgestellt, der räumliche Eindruck entsteht und ermöglicht somit ein genaues Operieren mit Hilfe der steuerbaren Roboterarme.



ABB. 4.5 Steuerung der Instrumente am Telemanipulator



ABB. 4.6 Endoskopische 3D Kamera und steuerbare Instrumente bei der OP

Das Herzzentrum ist dabei, diese Operationstechnik weiter auszubauen. Ein großer Nachteil beim Bedienen des Telemanipulators ist die fehlende Haptik, die gerade bei Operationen am schlagenden Herzen essentiell ist.

So wird auch an der Entwicklung flexiblerer Kamerasysteme für nicht durch Robotik gestützte Operationen geforscht. Denn auch konventionelle minimalinvasive Operationen wie z.B. die Entnahme von Venen für Bypässe würden durch das räumliche Bild vereinfacht werden. Es gibt allerdings noch keine flexible 3D Endoskop-Kamera, die vom großen sperrigen Telemanipulator unabhängig wäre. Auch die Darstellung des 3D Bildes ist insofern noch verbesserungsfähig, da es bislang nicht umgesetzt ist, dem gesamten OP-Team ein dreidimensionales Bild zur Verfügung zu stellen.





ABB. 4.6 Assistent steril bei Herzoperation



ABB. 4.7 2D Darstellung für das Team

Zwar gibt es einen OP von Brain Lab, bei dem die Wand nicht mehr Wand sondern Monitor ist, doch die dort abgebildeten Röntgenbilder, CTs oder der Operationssitus sind nicht in 3D verfügbar.

„Am einfachsten wäre eine Projektion ohne zusätzliche Brillen, weil der Operateur an sich schon eine Lupenbrille aufhat. Eine zusätzliche Brille würde das verkomplizieren. Mehrere im Operationssaal müssen das Bild sehen. Letztlich wäre eine Projektion an die Wand des Operationssaals am charmantesten“ (Libera 2007, Interview) ,  
erläutert Dr. med. Paul Libera, Referent des Klinikdirektors.

Weiterhin werden auf wissenschaftlicher Ebene komplizierte Operationen an 3D Modellen geplant. „Die Patienten weisen unterschiedliche Anatomien auf, unterschiedlicher als man im ersten Moment denkt“ schildert Dr. med. Eva Braun.

„Projekte laufen, dass man aus den CT Daten eines Patienten die Anatomie bestimmt und die Instrumente schon vor der OP virtuell einführen kann. So ist es möglich, die Bewegungsfreiheit der Instrumente auszutesten und zu sehen, ob man an den OP-Situs hinkommt. Man kann die Operation quasi vorher exakt im Probedurchlauf durchführen, - was im Übrigen auch in der Lehre eine ungemeine Bereicherung wäre.“  
(Braun 2007, Interview)

Aus diesen Anwendungsperspektiven wird klar welches Potential in der autostereoskopischen Darstellung liegt: Bessere Diagnose-Möglichkeiten durch die räumliche Darstellung, dreidimensionales Operationstraining für Studenten an 3D Modellen und autostereoskopischen Bildschirmen. Auch ein Hinzuziehen kompetenter Beratung aus der Ferne wäre denkbar. So könnte sich ein Spezialist an einem autostereoskopischen Monitor durch ein live-gestreamtes Stereobild ein genaues, räumliches Bild vom Operationssitus machen und mit vielleicht lebensrettendem Rat zur Seite stehen. Die Weiterentwicklung der 3D Visualisierungstechnik wird mit Sicherheit einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung medizinischer minimalinvasiver Behandlungsmethoden leisten.

### 4.3 Einsatz im Unterhaltungssektor

Die auf Stereopsis basierten Systeme sind momentan am weitesten entwickelt. Viele liegen preislich in einem Bereich, der immer interessanter für Privatanutzer wird. So versprechen sich Unternehmen wie die Telekom eine weit gestreute Verbreitung der 3D Technik im Consumer-Bereich. Für „Gamer“ öffnen sich dreidimensionale Spielwelten sowohl am heimischen Bildschirm als auch unterwegs auf dem Handy. Anwendungen wie 3D MMS oder 3D Conferencing sind denkbar. Überall dort, wo wir heute mit Bildschirmen konfrontiert werden, ist eine 3D Darstellung möglich.



ABB. 4.8 Handy mit 3D Display

Auf der CEBIT 2007 beispielsweise stellte die T-Com mit autostereoskopischen Monitoren ihre „Innovationen von morgen“ (Deutsche Telekom 2007, Flyer 3D Streaming) vor. 3D Streaming und 3D Fabbing lauten die Schlagwörter. Vom 3D Modell bis hin zum fertigen Ausdruck, alles mit Hilfe der Internetplattform „3D-Druckservice“, welche sowohl das Erstellen von 3D Modellen als auch den Ausdruck dieser in ein plastisches Kunststoffmodell ermöglichen soll.

Zudem wirbt die T-Com für „das hochleistungsfähige Breitbandnetz der Deutschen Telekom, das bereits heute für den 3D Datenstrom glänzend vorbereitet ist“ (Deutsche Telekom 2007, Flyer 3D Streaming)

und neue 3D Consumer Anwendungen wie 3DTV ermöglichen soll.



ABB. 4.9 Werbung der Deutschen Telekom für Zukunftstechnologien

„Fernsehen zum Anfassen (...) das ist die logische Entwicklung des Fernsehens, so wie Farbfernsehen die Weiterentwicklung der alten Schwarz-Weiß-Technik war“ (Sikora / Schwarzbürger 2006, Tagesspiegel online).

Immer mehr Hersteller forschen auch auf dem Gebiet autostereoskopischer 3DTV-Systeme, um sich ihre Position auf dem prognostizierten Massenmarkt zu sichern. In Fachkreisen wird spekuliert, dass das 3D Fernsehen in den nächsten 15 Jahren etabliert sein wird. So verspricht man sich, wie schon damals in den 50er Jahren, ein ergreifendes, realeres Fernseherlebnis.

Doch für 3DTV sind nicht nur autostereoskopische Monitore Voraussetzung, obwohl diese voraussichtlich zur Verbreitung von 3DTV beitragen werden. Neben Kompressionsverfahren, Signalverarbeitung und einer Abwärtskompatibilität zu alten TV Standards werden auch das Erzeugen beziehungsweise Konvertieren von Inhalten notwendige Voraussetzung einer erfolgreichen Entwicklung sein.

Hierzu gibt es unterschiedliche theoretische Ansätze. Während die meisten auf einer „vollständig stereoskopischen Signalverarbeitungskette, d.h. auf der Aufnahme, Übertragung und Darstellung von zwei separaten Farbvideostreamen“ (Fehn 2004, online S. 1) basieren ist der Ansatz des Europäischen IST Projekts „Advanced Three-Dimensional Television Technologies“ ATTEST ein anderer.

So forscht unter anderem das Fraunhofer Institut an einem DVB kompatiblen Konzept, in welchem ein Farbvideostream und eine zugehörige pixelgenaue Tiefenkarte (vgl. Kapitel 3 Philips Display) übertragen werden. Diese Tiefenkarte wird entweder direkt mit einer speziellen Tiefenkamera simultan aufgezeichnet, oder aber mit 3D Analyseverfahren und einer bestehenden 2D Szene konvertiert. Bei der Videocodierung bleibt man aufgrund der DVB Kompatibilität beim MPEG-2 Video Standard.

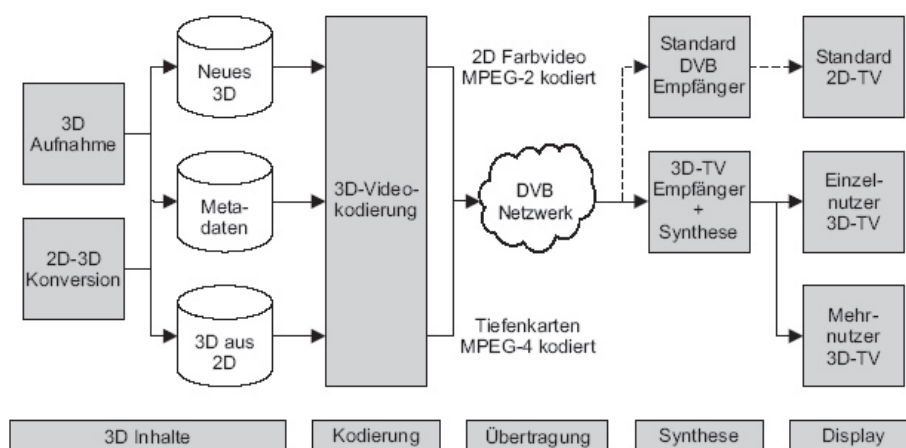


ABB. 4.10 ATTEST Signalverarbeitungs- und Datenübertragungskette

Die Vorteile dieses Ansatzes liegen darin, dass „die Parallaxe – und damit die wiedergegebene Tiefe – exakt auf die spezifischen Betrachtungsbedingungen optimiert werden“ (Fehn 2004, online S. 4) kann, da die

erforderlichen Perspektiven erst beim Empfänger erzeugt werden.

Die 3D Wiedergabe kann also vom Betrachter durch verschieben der tiefengebenden Grauwerte individuell angepasst werden. Zudem lassen sich Tiefenmaps durch die Graustufenverläufe effizienter komprimieren als zwei komplette Farbvideoströme.

Ein Nachteil allerdings besteht darin, dass verdeckte Bereiche im Hintergrund in einer der später generierten Ansichten sichtbar werden können. Zudem sind halbtransparente Objekte wie Glas oder Nebel bei der Erzeugung der Tiefenkarte problematisch.

„Noch steht die Forschung am Anfang, aber in nicht allzu ferner Zukunft wird es gelingen, Bilder und Filmsequenzen in allen drei Dimensionen darzustellen. Der Zuschauer kann die Objekte dann nach Belieben drehen und von allen Seiten betrachten“ schildert Thomas Sikora, Professor für Nachrichtentechnik an der TU Berlin seine persönliche Einschätzung der 3DTV Entwicklung bei einem Interview im Tagesspiegel (Sikora / Schwarzburger 2006, Tagesspiegel online).

### 5 Produktion von 3D Content

Die weitere Etablierung der 3D Technologie ist stark abhängig von Qualität und Quantität des 3D Contents. Autostereoskopische Displays werden erst größere Zielgruppen erreichen, wenn zum einen das Preis-Leistungsverhältnis stimmt, und zum anderen genug 3D Content vorhanden ist.

„Selbst der Early Adapter wüsste nicht was er momentan auf einem solchen Display anschauen soll“ (Kluger 2007, Interview).

Demnach beschränkt sich der Markt momentan auf professionelle Anwendungen. Zur Erstellung des 3D Contents gibt es neben den aus 3D Daten generierten Inhalten aus den Bereichen Forschungs- Medizin- oder Gamerecke zwei weitere Ansätze, die vor allem für Real-Bewegbild Anwendungen auf binokular arbeitenden autostereoskopischen Displays interessant sind.

Zum einen das Konvertieren vorhandener 2D Daten in 3D Daten. Zum anderen die von vornherein stereoskopische Produktion von 3D Bewegbild.

Josef Kluger, Inhaber der KUK Filmproduktion GmbH, seit 2000 mit professioneller Stereoskopie beschäftigt, war so freundlich, mir einen umfassenden Einblick in die Möglichkeiten und Arbeitsweisen zur Produktion von 3D Content zu geben.

#### Wie werden also 3D Inhalte produziert?

##### 5.1 2D–3D Konvertierung

Die 2D–3D Konvertierung scheint gerade mit Hinblick auf 3DTV und weitere Massenanwendungen interessant. Unter der Voraussetzung eines einsetzenden 3D Booms würde die Nachfrage nach 3D Content steigen und „um diese Nachfrage zu befriedigen wird man nicht umhin kommen, bestehendes Filmmaterial umzuwandeln“

(Kluger 2007, Interview).

Bisweilen ist die Konvertierung von 2D zu 3D noch Handarbeit. So müssen mittels Rotoscoping, also durch Freistellen der einzelnen Tiefenebenen die nicht vorhandenen Tiefeninformationen mühsam Frame für Frame ergänzt und arrangiert werden. Natürlich gibt es entsprechende Tools, die bestimmte Arbeitsschritte durch Automatisierung unterstützen, jedoch wird man sich „nie komplett auf automatisierte Prozesse verlassen können“ (Kluger 2007, Interview).

Bedingt durch die unterschiedliche Funktionsweise der autostereoskopischen Displays variiert auch die Art der 2D–3D Konvertierung.

Bei Monitoren, die mit 2 oder mehreren perspektivisch unterschiedlichen Bildern arbeiten, wird aus der einen vorhandenen Perspektive eine weitere generiert. Aus diesen beiden Ansichten können dann für das jeweilige Display mehrere weiter innen liegende Perspektiven errechnet werden.

Für das Philips Display, welches zur Wiedergabe dreidimensionaler Inhalte nur eine

Ansicht gekoppelt mit einer Tiefenmap benötigt, wird anstatt der zweiten Perspektive eine Tiefenmap generiert. Auch hier werden die Tiefenebenen aus dem vorhandenen Frame freigestellt. Während bei herkömmlichen Verfahren der Hintergrund für die weitere Ansicht ergänzt werden muss, kann hier die Tiefenebene mit einem der Tiefe entsprechenden Grauwert gefüllt werden. Diese freigestellten Bereiche werden Frame für Frame den Bewegungen in X-, Y- und Z- Richtung angeglichen. In X- und Y Richtung durch Anpassen der freigestellten Bereiche, in Z-Richtung durch Verschieben der Graustufenskala mittels Tonwertkorrektur.

Doch trotz genauester Handarbeit und ausgeklügelter Rechenalgorithmen stößt die 2D-3D Konvertierung immer an Grenzen. So wird gerade im Spielfilmbereich eine Filmsprache verwendet, die aufgrund von wahrnehmungspsychologischen Aspekten (siehe Kapitel 2) nicht immer für den 3D Film übertragbar ist. Bei schnellen Schnittfolgen und geringen Tiefenschärfebereichen bedingt durch die verwendeten Objektive stößt man beim Konvertieren von 2D zu 3D an Grenzen und Probleme, „die sich nicht so einfach lösen lassen (...) wann immer die Möglichkeit besteht, eine Produktion gleich von vornherein stereoskopisch herzustellen sollte man dies tun“ (Kluger 2007, Interview).

### 5.2 Stereoskopische Produktion von 3D Content

Rein stereoskopische Produktionen können für autostereoskopische Displays, sowohl Single View als auch Multi View, ohne weiteres verwendet werden. Aus den zwei parallel aufgenommenen Perspektiven können später die weiteren, je nach Monitormodell erforderlichen Ansichten und Tiefenmaps errechnet werden.

Generell ist anzumerken, dass es neben den aufwendigen und großformatigen IMAX 3D Verfahren keine fertigen Systemlösungen für stereoskopische Aufnahmen im professionellen Bewegtbereich gibt. Das Erstellen stereoskopischer Bilder erfordert demnach viel Erfahrung und ein ständiges Verbessern und Weiterentwickeln der hauseigenen Systeme und Workflows.

„Wir haben Wert darauf gelegt, einen kompletten Workflow beginnend von der Konzeption, der Filmaufnahme, der Postproduktion bis hin zur Präsentation aufzubauen“ (Kluger 2007, Interview).

#### **Aufbau Kamerarig**

Die Münchner Firma KUK Filmproduktion GmbH hat seit 2000 hochwertige 3D Filmproduktionen für Image und Unternehmenskommunikation in deren Leistungsspektrum aufgenommen.

Dessen 3D Rigsystem ist flexibel mit unterschiedlichen Kameratypen kombinierbar. So wurde der Film „Bosch Innovationen“ auf 35mm und die „T-Home 3D Content CeBIT 2007“ Spots mit 2 baugleichen HD Kameras gedreht.



Entwickelt hat dieses spezielle Spiegelrig der Stereoskopiespezialist Günter Peschke. Dieses arbeitet mit einem halbdurchlässigen Spiegel, welcher durch die parallel und senkrecht zueinander angeordneten Kameras einen variablen Basisabstand von 75mm bis 0mm ermöglicht. Natürlich müssen die beiden Kameras zeitgleich getaktet sein. Auch der Fokus der beiden Kameras ist gekoppelt, um ein absolut synchrones Schärfziehen zu ermöglichen und somit jeweils zwei bis auf die Disparität absolut identische Stereohalb Bilder zu erzeugen.

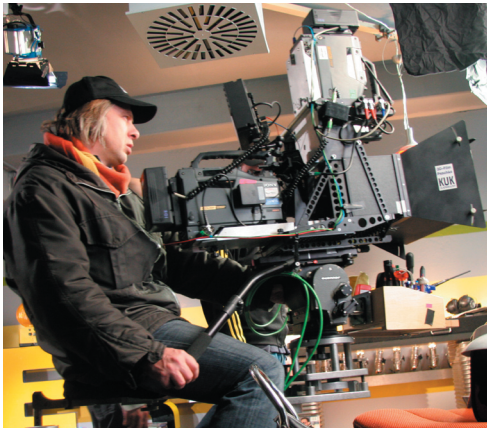


ABB. 5.1 3D Kamerarig entwickelt von Günter Peschke

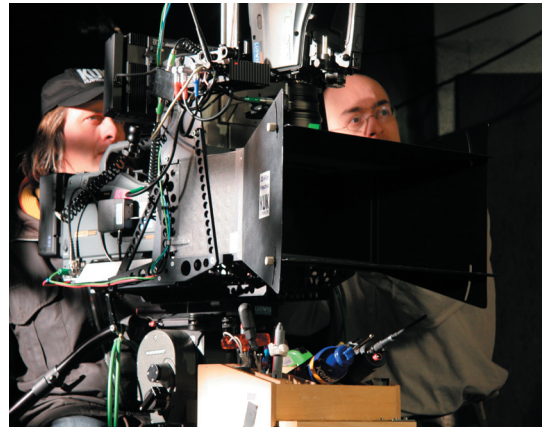


ABB. 5.2 Kameramann Martin Farkas und Kameraassistent Christian Meyer bei 3D Filmaufnahmen

Momentan wird daran getüftelt, den Basisabstand während einer Kameraeinstellung ebenso funktgesteuert verstellen zu können wie die Schärfe. Eine Kamerarückfahrt, die in einer nahen Einstellung beginnt und in einer Totalen mit veränderten Nah- und Fernpunkten endet, kann dann in der neuen Baureihe durch ein kontinuierliches Anpassen der Kamerabasis „über die gesamte Laufzeit der Einstellung korrekt wiedergegeben werden“ (Kluger 2007, Interview).

Zur Kontrolle der stereoskopischen Parameter kommt am Set ein extra entwickelter 3D Viewer zum Einsatz. Eine ausgeklügelte Spiegelmechanik erlaubt es „diese Nah- und Fernpunkte daraufhin zu prüfen, ob sie sich innerhalb der Limits befinden“ (Kluger 2007, Interview).



ABB. 5.3 3D Viewer bestehend aus 2 LCDs und einem halbdurchlässigen Spiegel  
Das Kamerasignal der senkrecht stehenden Kamera ist noch nicht gedreht



ABB. 5.4 Blick in den 3D Viewer  
Mithilfe einer Polarisationsbrille können die stereoskopischen Parameter vor Ort überprüft werden



Dazu gibt es weitere Denkansätze zur Produktion von 3D Content:

Wie bereits geschildert wird in der Forschung an Systemen gearbeitet, bei denen sowohl ein monoskopisches Farbvideo sowie die dazugehörigen Tiefendaten mit Hilfe einer Tiefenkamera aufgezeichnet werden. Mittels der Laufzeit ausgesendeter Infrarot Lichtimpulse ermittelt eine solche Z-Kamera die Tiefen-Staffelung einer Szene und zeichnet diese in Form einer Tiefenmap auf. Vor allem für den Einsatz von Philips Displays ist dieser Ansatz interessant. Um jedoch weiterhin möglichst breit zu produzieren und weitere Anwendungen wie die einer stereoskopischen Projektion zu ermöglichen, bietet sich an eine Tiefenkamera zusätzlich zu zwei parallel aufzeichnenden Kameras zu verwenden.

Weiterhin präsentierte die Filmakademie Baden-Württemberg auf der CeBIT 2006 ihr auf das Newsight Display abgestimmte Aufnahmesystem „Octoscope“ (Hoffmann 2006, Kameramann S. 30).

Acht Kameras zeichnen bei diesem System parallel auf, sodass eine spätere Berechnung der Multi View Ansichten nicht mehr notwendig ist.

Allerdings beschränkt sich diese Anwendung aufgrund der enormen Datenmengen und der Komplexität des Rigs auf kleine Kamerasysteme. Acht HD Kameras wären am Set aufgrund deren Gewicht und Größe viel zu unflexibel. Demnach ist die Qualität der Octoscope Bilder auf mini DV oder ähnliche Formate beschränkt.

### **Stereoskopische Parameter**

Um ein natürliches Raumbild zu erzeugen und somit Beschwerden wie Augen- oder Kopfschmerzen bei der Betrachtung von 3D Bildern zu vermeiden ist es notwendig, die aus der Wahrnehmungspsychologie abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten einzuhalten.

In Fachkreisen spricht man von so genannten stereoskopischen Parametern, welche die Raumwirkung eines dreidimensionalen Bildes beeinflussen.

Zu diesen zählen: Nahpunkt, Fernpunkt, Brennweite des verwendeten Objektivs, und die Kamerabasis.

Als Nahpunkt wird das nächste zum Aufnahmeobjektiv liegende Objekt bezeichnet, als Fernpunkt das am weitesten entfernte Objekt.

Für eine natürliche und störungsfreie Betrachtung von Stereobildern ist Voraussetzung, dass im Scheinfenster die Konvergenzebene liegt, d.h. das linke und rechte Stereohalbbild deckungsgleich ist. Natürlich könnte man diese Konvergenzebene schon bei der Aufnahme bestimmen, doch bietet es sich an, durchgehend mit parallel angeordneten Kameras zu drehen und erst in der Postproduktion diese Ebene durch Verschieben der Stereohalbbilder zueinander festzulegen. Dies hat den Vorteil, dass eine durch die zueinander geschwenkten Kameras erzeugte trapezförmige Verzeichnung vermieden werden kann. Dadurch wird eine Flexibilität in Bezug auf Tiefenwirkung und Raum erhalten, welche später beim Angleichen der Einstellungen notwendig ist.

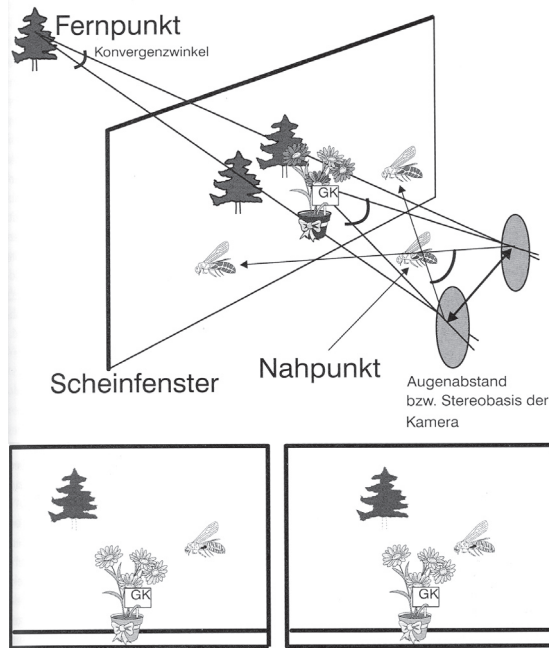


ABB. 5.5 Der Aufnahmeraum eines 3D Bildes und deren 2 perspektivischen Ansichten

Durch die Bestimmung des Fern- und Nahpunkts wird also ein Tiefenbereich vorgegeben innerhalb dessen später die Konvergenzebene und mit dieser die Raumwirkung verändert werden kann.

Trotz dieser Flexibilität ist es essentiell die Lage der Tiefenebenen schon beim Dreh grob zu bestimmen, da wie bereits in Kapitel 2.5 erläutert die Tiefenwahrnehmung in stereoskopischen Bildern nach hinten und vorne begrenzt ist.

„Die größte stereoskopisch auflösbare Entfernung unter günstigen Bedingungen beträgt etwa das 30fache der Scheinfensterweite“ (Kuhn 1999, S. 43), also etwa das 30fache der Entfernung von Kamera zum Scheinfenster.

Für den maximalen Fernpunkt gilt zudem, dass die parallaktische Verschiebung der beiden Bilder zueinander, auch Deviation genannt, im Fernpunkt  $1/30$  der Bildbreite nicht überschreiten darf.

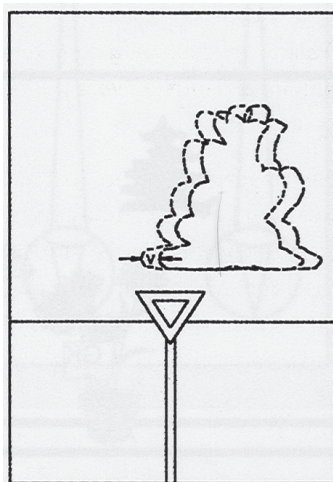


ABB. 5.6 Deviation (v) im Fernpunkt darf  $1/30$  der Bildbreite nicht überschreiten

Bei Einhalten dieser Regel ist sichergestellt, dass der Fernpunkt im Panumschen Fusionsbereich liegt und die Stereohalbbilder bei der Wiedergabe als ein Raumbild wahrgenommen werden können. In der Postproduktion ist demnach genau darauf zu achten, und gegebenenfalls auf den Grenzwert zu korrigieren.

Auch die Beschaffenheit des in der Ferne liegenden Objekts ist für die maximale Entfernung des Fernpunkts von Bedeutung.

„Eine weiße unstrukturierte Wand, die wenig Anhaltspunkte gibt die Verschiebung zu sehen, ergibt eine größere Toleranz bezogen auf den Fernpunkt als eine klar strukturierte Ziegelwand, die genauer ermöglicht diesen Fernpunkt einzuschätzen“

(Kluger 2007, Interview).

Die für ein komfortables Raumbild zulässige Entfernung von Fern- zu Nahpunkt ist je nach Aufnahmetyp (Nahaufnahme, Normalaufnahme, Makroaufnahme) unterschiedlich. „Bei der Aufnahme von Motiven mit fernem Hintergrund sollte kein Bildpunkt des Vordergrunds näher sein als die Scheinfensterweite. Sie hängt von der Stereobasis und der Objektivbrennweite ab“ (Kuhn 1999, S. 26).

Bei der Bestimmung des Nahpunktes kommen also die beiden weiteren stereoskopischen Parameter Basisabstand und Objektivbrennweite ins Spiel. Der normale Basisabstand entsprechend dem durchschnittlichen Augenabstand beträgt in etwa 65mm.

Es gilt:

$$\text{Stereobasis} \times \text{Brennweite} = \text{Entfernung Scheinfenster (Scheinfensterweite)}$$
$$= \text{Minimaler Abstand von Kameraobjektiv bis zum nächstliegenden Objekt (Nahpunktweite)}$$

Sind Objekte näher positioniert als die Scheinfensterweite gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder liegt das Objekt vor dem Scheinfenster und tritt bei der Wiedergabe aus dem Bild heraus (erweitertes Stereobild), oder es wird eine Nah- oder Makroaufnahme beabsichtigt. In diesem Fall muss der Abstand von Kamera und Fernpunkt begrenzt und „meist auch die Stereobasis verkleinert werden“ (Kuhn 1999, S. 26).

Bei einer Nahaufnahme wird später der Nahpunkt auf die Konvergenzebene gebracht. Dies führt zu einer Dehnung des Raumes.

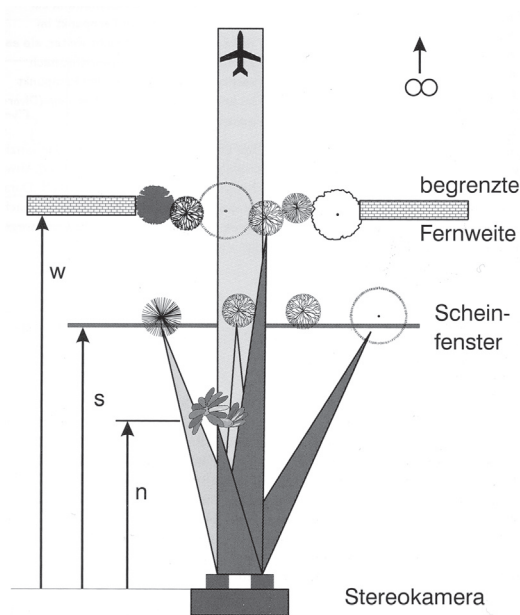


ABB. 5.7 Begrenzung der Ferne bei Nahaufnahme  
 Normalaufnahme (hellgrau): nahe Objekte liegen im Scheinfenster,  
 weite Ferne (Flugzeug) ist zugelassen  
 Nahaufnahme (dunkelgrau): nahe Objekte verlangen eine  
 Begrenzung der Ferne und/oder eine Verkleinerung der Basis

Beim erweiterten Stereobild vergrößern alle vor dem Scheinfenster liegende Bildpunkte beim Betrachten den Konvergenzwinkel. Wie beschrieben sind Akkommodation und Konvergenz in diesem Fall getrennt, da die Augen weiterhin auf die Ebene des Scheinfensters scharf gestellt sind.

Wie weit nun ein Objekt aus dem Scheinfenster herausragen darf, ohne dass es für den Betrachter unkomfortabel wird, ist abhängig vom jeweiligen Motiv. Wird das Auge geführt, wie beispielsweise bei einem aus dem Bild herauswachsenden Rüssel eines Elefanten, kann der Out-Screen Effekt weiter getrieben werden wie bei einem frei im Raum schwebenden Objekt. Ein Richtwert jedoch ist folgender:

Minimaler Abstand von Kameraobjektiv zum Nahpunkt = Halbe Scheinfensterweite.

Die plastische Wirkung eines stereoskopisch dargestellten Objekts ist durch das Verhältnis von Tiefe und Größe in dem erzeugten Raum definiert. Neben den festgelegten Nah- und Fernpunkten können je nach Wahl der Kamerabasis unterschiedliche plastische Wirkungen erzielt werden.

Bei Nah- und Makroaufnahmen wird in Abhängigkeit zur Objektivbrennweite eine kleinere Basis als die des natürlichen Augenabstandes gewählt. Hierbei ist der mögliche Tiefenbereich nach hinten begrenzt, wodurch der Raum gedehnt erscheint und somit die plastische Wirkung vermindert wird. Wenn nun ein Objekt im Raum weniger tief reproduziert wird als im Original entsteht eine optische Täuschung, welche als Gigantismus bezeichnet wird (Kuhn 1999, S. 47). Bei diesem Effekt stimmen die Größenverhältnisse von Objekt und Umgebung nicht überein. Das Objekt wirkt stereoskopisch

betrachtet unnatürlich groß, während im 2D Bild die Proportionen stimmen.

Die plastische Wirkung und der abzubildende Tiefenbereich kann durch Verwendung einer entsprechend größeren Kamerabasis erweitert werden. Die dadurch erzielte maßstabgetreue Verkleinerung der abgebildeten Objekte wird auch Modelleffekt genannt. Bei der Aufnahme von weit entfernten Landschaften kommen durchaus Basisabstände von 10m zum Einsatz.

Ähnlich wie beim Arbeiten mit verkleinerter Basis können auch hier optische Täuschungen entstehen. Beim so genannten Liliputismus stimmen Größe und Tiefe des Objekts in Relation nicht mit unseren Erfahrungen überein. So wirken stereoskopisch betrachtete Objekte mit Liliputismus Effekt unnatürlich kleiner als im normalen Flachbild.

Gerade bei Weitwinkelaufnahmen mit großer Basis ändern sich weit entfernte Objekte sehr wenig, nahe Objekte dafür verhältnismäßig stark. Um dies zu vermeiden sollte der Nahpunkt möglichst weit entfernt sein und ein Objektiv mit längerer Brennweite gewählt werden.

Die Wahl der stereoskopischen Parameter ist also abhängig vom jeweils gewünschten Effekt. Natürlich gibt es sämtliche Formeln zur Berechnung unterschiedlicher Raumeffekte, in Abhängigkeit von Brennweite und Basis. Bei KUK-Film jedoch geschieht dies anhand von Erfahrungswerten und Überprüfen dieser auf dem hierfür speziell angefertigten 3D Viewer.

### **Gestalterische Aspekte**

Die Besonderheiten einer 3D Filmproduktion sind nicht erst beim Dreh selbst sondern auch schon bei der Konzeption zu berücksichtigen. So eignen sich nicht alle Themenbereiche gleich gut für die stereoskopische Wiedergabe. Bilder ohne Tiefenebenen sind weniger spannend in 3D, während hintereinander gestaffelte Objekte und Vorgänge in einem Bild raumdynamische Szenen ermöglichen und demnach einen 3D Effekt interessant machen.

„Shooting a 3D Film means you have to create a new film language because many of the tools and creative elements used in 2D filmmaking have no relevance. But, on the other hand, 3D can be used as a creative element“ (Slama 2006, InCamera S. 38).

Wie bereits erwähnt sind bestimmte Stilmittel des 2D Films nicht auf den 3D Film übertragbar. Aufgrund der Tatsache, dass der Mensch beim natürlichen Sehen einen fixierten Gegenstand stets scharf sieht und er diese Erfahrung beim Betrachten eines virtuellen 3D Raums ebenso machen möchte, verbietet sich der Einsatz von Unschärfen und Schärfeverlagerungen.

Das Bestreben liegt also darin, „den Schärfentiefenbereich möglichst groß auszudehnen, damit man dem Auge diese natürliche Seherfahrung ermöglicht. Denn sonst würde sofort eine Irritation entstehen, der 3D Eindruck wird gemindert und der Spaß am Betrachten

eines 3D Bilds nimmt ab" (Kluger 2007, Interview).

Objektive besitzen eine gewisse Schärfentiefe in Relation zur Blende, weshalb mit möglichst kleiner Blendenöffnung gedreht wird. Dies erfordert viel Licht beziehungsweise eine hohe Empfindlichkeit des Aufnahmematerials.

Bei einer 3D Filmproduktion kommen hauptsächlich Objektive mit normaler, leicht kurzer bzw. leicht langer Brennweite zum Einsatz. Extreme Brennweiten führen zu unschönen Verzerrungen, welche den räumlichen Eindruck stören und sollten demnach bei einer stereoskopischen Produktion nicht eingesetzt werden.

Für die Kadrierung der Bilder ist zu beachten, dass Out-Screen Objekte bei der Aufnahme nicht angeschnitten werden dürfen. Ansonsten entsteht ein Konflikt zwischen den Tiefenkriterien (vgl. Kapitel 2) und der 3D Effekt zerfällt.

Schnelle Schwenks und schnelle Schnitte sind ebenso ungeeignet. Es ist eine Bildsprache zu wählen, die es dem Betrachter über die Dauer einer Einstellung ermöglicht, sich in dem „durch jeden Schnitt neu definierten 3D Raum zu orientieren" (Kluger 2007, Interview).

Da diese Adaptionszeit berücksichtigt werden muss, kann nicht so kurz geschnitten werden wie beim 2D Film. Zudem kommt der 3D Effekt bei langsamen Kamerabewegungen gerade bei Out-Screens besser zur Geltung.

Die Adaptionszeit beeinflusst ebenso die Folge der 3D Effekte. Jedes Bild hat unterschiedliche stereoskopische Parameter. Wenn sich diese von einer Einstellung zur nächsten zu stark voneinander unterscheiden, ist die Adaptionszeit dementsprechend länger. Deshalb sollte man darauf achten, „dass sich Einstellungen in Hinblick auf diese Parameter gut matchen lassen" (Kluger 2007, Interview).

So vermeidet man beispielsweise schnelle Schnitte von einem Bild mit einem extremen Out-Screen Effekt zu einem Bild mit viel Tiefe nach hinten. Vielmehr versucht man zunächst den Out-Screen Effekt wirken zu lassen um über eine neutrale Einstellung wieder extrem in die Tiefe gehen zu können.

Weiterhin ist ein Gewöhnungseffekt an 3D zu beobachten. So kann es durchaus passieren, dass dem Betrachter eine zwischengeschnittene 2D Szene nicht flach erscheint. Andersherum betrachtet kann „durch inflationäres Einsetzen von 3D der Effekt verwässert werden." Demnach sollte „mit diesem sehr sorgfältig und behutsam umgegangen werden." (Kluger 2007, Interview).

„Beim Schnitt muss man ganz gezielt und bewusst den 3D Effekt an der richtigen Stelle platzieren und die Wirkung an anderen Stellen zugunsten der Inhalte wieder zurücknehmen, um den Eindruck danach umso stärker wirken zu lassen" (Schabel 2005, Professional Production S. 12).



### Postproduktion / 3D Compositing

Für den Schnitt müssen die beiden Kameraansichten in einem 3D Compositing vorbereitet werden.

Alle selektierten Szenen werden hierfür eingespielt, das eine aufgrund der Spiegelkonstruktion auf dem Kopf stehende Bild gespiegelt, und dieses mit der zweiten Perspektive anhand der Klappe synchronisiert.

Während beim Dreh die Anordnung der Objekte im Raum aufgrund der parallel angebrachten Kameras nur grob festgelegt wird, passiert die genaue räumliche Zuordnung der Bildelemente im Compositing.

Die Konvergenzebene wird mit einem Anaglyphen-Compositing als Referenz durch seitliche Verschiebung des linken oder rechten Stereohalbbildes festgelegt. Dort wo die beiden Stereohalbbilder deckungsgleich sind, liegt die Konvergenzebene.

Der Vorteil dieser Arbeitsweise liegt darin, dass die Szenen flexibel aneinander angepasst werden können, und nicht von vornherein in ihrer Raumwirkung festgelegt sind. „Das ermöglicht uns die Szenen von Schnitt zu Schnitt in der Tiefe aneinander anzupassen, so dass sie nicht springen. So lässt sich die Wirkung wie nah Dinge im virtuellen Bild vor- oder zurückkommen exakt steuern.“ (Kluger 2005, Professional Production S. 11).

Als Basis für das Editing werden die bearbeiteten Einstellungen in einem Side by Side Format exportiert. Dieser mittels Polarisationstechnik stereoskopisch projizierte Datenstrom dient als ständige Kontrolle des Raumeffekts. Der Cutter arbeitet also permanent mit einer 3D Projektion und kann live jeden Schnitt sofort kontrollieren.

„Das ist auch unbedingt notwendig, damit eben dieses räumliche Wirken der Bilder mit berücksichtigt wird“ (Kluger 2007, Interview).

Bei vielen 3D Produktionen von KUK Film ist oft ein weiteres finales Compositing notwendig. So wurden im 3D Film oft Bildschirme gezeigt, welche wiederum eine 3D Szene darstellen. „Das ist eine ganz spezielle knifflige Aufgabe, weil ich in diese Monitore, abgesehen vom Motion Tracking wenn es sich um eine bewegte Kameraeinstellung handelt, auch den 3D Content stereoskopisch richtig einfügen muss“ (Kluger 2007, Interview).

Weiterhin werden je nach Bedarf klassische Setverlängerungen verwendet oder, speziell um Out-Screens zu verstärken, digitale Objekte eingefügt. „Es gab eine Einstellung in unserem Film für Bosch, wo ein Auto durch ein Wasserbecken fährt (...) man hat die Wassertropfen die auf die Kamera zufliegen durch zusätzliche digitale Wasserpartikel ergänzt, damit diese noch weiter vor die Konvergenzebene kommen und der Eindruck stärker wird“ (Kluger 2007, Interview).

Ist der 3D Film fertig, wird dieser für den jeweiligen autostereoskopischen Monitor durch externe Dienstleister in das jeweilige Format gewandelt, um die benötigten Perspektiven, beziehungsweise Tiefenmaps zu generieren. Hierzu entwickelte unter anderem die Firma 3D Image Processing aus Kissing bei Augsburg die Hardware „Black

Betty“, welche aus den 2 Perspektiven zunächst die Tiefenmap errechnet, aus welcher wiederum die Perspektiven abgeleitet werden (3D-IP 2007, online).



ABB. 5.8 Philips Display  
Deutlich zu sehen die Tiefenmap und die Verteilung der Objekte im Grauskalenspektrum / Raum

Jedoch speziell bei der Verknüpfung von real gedrehten und digitalen Elementen hat es sich herausgestellt, dass eine getrennte Konvertierung dieser von Vorteil ist.

„Denn digitale Bildelemente verhalten sich anders als reale Bildelemente und sind oft schwer von den automatischen Konvertierungsprogrammen zu erkennen“  
(Kluger 2007, Interview).

Somit wird für diesen Fall das finale Compositing nach der getrennten Konvertierung durchgeführt. Gerade bei den mit Tiefenmaps arbeitenden Systemen ist dies enorm von Vorteil, da durch die genaue Anpassungsmöglichkeit durch Verschieben der Grauwerte eine sehr präzises Arbeiten ermöglicht wird.

Das Bereitstellen und die Codierung des 3D Contents sind je nach Hersteller unterschiedlich. Philips arbeitet mit dem eigens entwickelten Stereoscopic Player, Newsight wiederum mit einem weiteren speziellen Format. Oft werden MPEG-Streams oder auf AVI Codecs basierenden Zuspielungen verwendet. Sicherlich wäre zur Etablierung von autostereoskopischen Displays ein allgemeingültiger Standard von Vorteil, welcher aber durch die unterschiedlichen Funktionsweisen momentan noch nicht festgelegt werden kann. KUK Film hat sich mit dieser Tatsache arrangiert.

„Wie haben uns mit allen Zuspieltechniken beschäftigt, wir können für jedes Displays produzieren“ (Kluger 2007, Interview)

### 6 Persönliche Einschätzung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der aktuelle Entwicklungsstand autostereoskopischer Systeme, deren Einsatzbereich sowie die Produktion von dreidimensionalem Realbewegbild vorgestellt. Da sich dieses Gebiet in einem ständigen und rasanten Wandel befindet, möchte ich einige persönliche Einschätzungen zu den unterschiedlichen Einsatzbereichen und deren möglichen Entwicklungen geben.

Auffallend ist, dass über den Zeitraum des Verfassens dieser Arbeit von ca. 8 Monaten das Thema der dreidimensionalen Wiedergabetechniken und Anwendungen in den Medien zunehmend präsenter wurde.

Während vor einem Jahr hauptsächlich Hersteller Websites und projektbezogene Fachartikel im Internet Informationen über Autostereoskopie und deren Einsatz lieferten, begegnen mir nun häufiger allgemein verständliche Berichterstattungen in Medien außerhalb des Internets in Zeitungsartikeln, Radio- und Fernsehsendungen.

Im März 2007 erschien im ZDF der Dreiteiler „Unser Leben in der Zukunft“, eine visionäre Dokumentation gestützt auf Aussagen und Einschätzungen von Wissenschaftlern, die momentan an neuen Technologien forschen. In einer Mischung aus Fiktion und Wissenschaft wird dargestellt, wie das Leben im Jahr 2057 aussehen könnte und welche Möglichkeiten prinzipiell in den heute noch am Anfang stehenden Technologien stecken.

Nachdem das vollkommene 3D Abbild schon immer ein beliebtes Stilmittel von Fiktionen war, wird auch in dieser Sendereihe die 3D Visualisierung in Form von frei im Raum schwebenden dreidimensionalen und interaktiven Projektionen aufgegriffen. Auch die Robotik gestützte Chirurgie in Verbindung mit einem dreidimensionalen Modell des Patienten wird in Anbetracht des gegenwärtigen Forschungsstandes erläutert.

Bei aller gebotenen Skepsis gegenüber Zukunftsvisionen, erscheint mir dieser Blick in die Zukunft durchaus nahe liegend, gerade in Anbetracht dessen was heute schon möglich ist und mit welcher Dynamik Erkenntnisse und Technologien dieser Art sich in der letzten Zeit entwickelt haben.

#### 3D in der Medizin

Das Gespräch mit Frau Dr. med. Eva Braun hat gezeigt, dass die Dringlichkeit der Perfektionierung und Weiterentwicklung autostereoskopischer Systeme aus medizinischer Sicht gegeben ist, da gerade bei den modernen minimalinvasiven Operationsmethoden die 3D Technologie einen erheblichen Fortschritt verspricht.

Meiner Meinung nach werden dreidimensionale Wiedergabesysteme vor allem in Verbindung mit Robotik in der Medizintechnik zunehmend eingesetzt werden. Die Systeme können, wie bereits aufgezeigt, gerade in der Chirurgie ein genaueres und damit Patienten schonendes Arbeiten ermöglichen.

Obwohl in der Vergangenheit sehr negative Erfahrungen mit in USA hergestellten Operationsrobotern vor allem bei Hüftgelenkoperationen gemacht wurden, ist es aufgrund des aktuellen Forschungsstandes wahrscheinlich, dass die Technik bei menschlichen Versagen korrigierend eingreifen und feinmotorische Arbeiten hochpräzise durchführen wird. Auch die Diagnosemöglichkeiten werden durch dreidimensionale Wiedergabesysteme zunehmend verbessert werden.

Das ist wohl nur eine Frage der Zeit.

Vor 50 Jahren hat es sicherlich auch noch niemand für möglich gehalten, dass heute komplizierte Operationen am Herz mit Hilfe von Telemanipulatoren in Verbindung mit endoskopischen Kameras durchgeführt werden können.

### **3D als Marketinginstrument**

Für Unternehmenskommunikation und Werbezwecke sind binokular basierte autostereoskopische Systeme meines Erachtens momentan schon sehr attraktiv. Wenn es darum geht bei Messen oder Produktpräsentationen Publikumsaufmerksamkeit zu generieren, ist der Einsatz dieser Displays sicherlich ein Erfolg versprechender, innovativer Ansatz, da viele Menschen positiv verblüfft reagieren, wenn sie mit autostereoskopischen Wiedergabesystemen konfrontiert werden.

Umso überraschender für mich war die wenig attraktive Eigenwerbung einiger Displayhersteller in der eigens eingerichteten Stereoskopiepräsentationsfläche auf der Systems 2006. Ein leistungsschwaches Multi View Display mit lediglich 5 Ansichten präsentierte unter anderem Werbung für ein Steakhaus. Ein nicht nur für Vegetarier unappetitlich aussehendes Stück Fleisch wurde den Besuchern direkt unter die Nase gehalten. In 2D und erst recht in 3D war das ein eher abschreckendes als faszinierendes Erlebnis.

Auf der CeBIT 2007 hingegen gelang der Einsatz autostereoskopischer Displays wesentlich besser. Ein sauber und hochwertig produzierter 3D Content sowie ein qualitativ hochwertiges 3D Display fungierten als wahre Eye Catcher. Vor den 3D Monitoren konnte ich große Mensentrauben beobachten, die diese Präsentation fasziniert verfolgten.

Wie diese beiden Beispiele zeigen, gibt es sehr unterschiedliche Qualitätsniveaus der bereitgestellten dreidimensionalen Bewegbildehalte. Bisher haben wohl wenige Anbieter aus den negativen Erfahrungen der 50er Jahre gelernt. Wenige Firmen sind bislang fähig einen für diese Technologie geeigneten und qualitativ hochwertigen Content zu erstellen. Die Ursache hierfür liegt sicherlich sowohl darin, dass Produktionsfirmen die Produktionstechnik heute noch pionierhaft entwickeln und bauen müssen, als auch in der mangelnden Erfahrung bei Konzeption und Produktion.

### **3D im Bereich Unterhaltung**

Sicherlich ist die Etablierung autostereoskopischer Systeme gerade im Unterhaltungssektor sowohl von Qualität als auch Quantität des zur Verfügung stehenden 3D Con-

tents abhängig. Momentan mangelt es noch an dreidimensionalen Inhalten, die auf autostereoskopischen Monitoren betrachtet werden können.

Es ist davon auszugehen, dass unter anderem aus diesem Grund der erste entscheidende Schritt in Richtung autostereoskopischer Bildgebungsverfahren im Unterhaltungsbereich von der Gamer-Community ausgehen wird. Diese Anwendergruppe hat heute bereits einen großen Marktanteil und stellt einen wichtigen Umsatzbereich dar. Es ist kein Zufall, dass die Performanceverbesserung von Grafikkarten und Rechnerleistung in einer relativ kurzen Zeitspanne in diesem Zusammenhang mit entscheidend vorangetrieben wurde.

Im Bereich des Kinofilms ist ebenso wieder ein wachsendes Interesse an dreidimensionalen Inhalten zu beobachten, auch wenn diese weiterhin mit Polarisationsverfahren aufgeführt werden.

George Lucas plant seine „Star Wars“ Filme von 2D in 3D zu konvertieren. James Cameron dreht derzeit „Avatar“ in 3D. Computergenerierte 3D Filme wie „Chicken Little“ oder „A Nightmare before Christmas“ liefen 2006 in den 3D Kinos.

Die Verbreitung der HD-DVD bzw. Blue Ray Disc macht diese dreidimensionalen Filme auch für den privaten Gebrauch interessant, ob autostereoskopisch oder weiterhin mit herkömmlichen Verfahren. So schafft die hohe Speicherkapazität des Datenträgers eine wichtige Voraussetzung für das plastische Filmerlebnis auf der heimischen Couch. Auch 3DTV wird sicherlich in Zukunft eine Rolle spielen. Die Frage ist nur wann und wie.

Meiner Meinung nach wird sich der Einsatz autostereoskopischer Anwendungen im Unterhaltungssektor jedoch verzögern, weil viele unterschiedliche Projekt- und Forschergruppen sowie Displayhersteller weltweit an ihren eigenen Lösungen arbeiten. Aus dieser Vielzahl von Projekten resultiert eine Vielzahl von in sich geschlossenen Insel-Systemen. Deren Funktionsweisen und die jeweils dafür entwickelte Software und Codierungsspezifikation leiden in Bezug auf die Contentbereitstellung unter dem Mangel einer einheitlichen technischen Plattform. Während diese Inkompatibilität im professionellen Nischeneinsatz wie in Forschung, Medizin oder hochwertiger Unternehmenskommunikation nicht zwingend eine große Rolle spielt, dürfte dies jedoch in Hinblick auf eine schnelle und betriebswirtschaftlich effiziente Verbreitung beispielsweise mit 3DTV das wesentliche Hindernis sein.

Ein weiterer Hinderungsgrund einer schnellen Realisierung besteht darin, dass die momentan am weitesten entwickelten Systeme auf dem binokularen Sehen basieren. Die Tatsache, dass der Zuschauer bei diesen zu einer unnatürlichen Fokussierung der Augen gezwungen wird, ist trotz gut produziertem Content für längere Unterhaltungszwecke ein Akzeptanznachteil.



Zudem besteht bei den Multi View Displays, die momentan gerade für einen 3DTV Einsatz in Frage kämen, das Problem der noch zu geringen Viewing Zones Anzahl. Hochauflösende Displays sowie volumetrische Displays, die diese Probleme lösen würden, sind einfach noch nicht ausgereift, um Bewegbild in Echtzeit und angemessener Auflösung wiederzugeben. Meiner Meinung nach werden autostereoskopische Bildgebungsverfahren den Unterhaltungssektor erst dann bedeutend beeinflussen, wenn die Entwicklung volumetrischer Displays weiter fortgeschritten und ein verbindlicher technologischer Standard gefunden worden ist.

Die Entwicklung autostereoskopischer Technologien ist in ständigem und rasantem Wandel.

Leistungssteigerungen bei Computerhardware ermöglichen die flüssige Wiedergabe großer Datenströme und schaffen somit wichtige Voraussetzungen für weiter perfektionierte autostereoskopische Wiedergabesysteme.

Zudem werden direkte Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und volumetrischen Displays bereits erfolgreich von Wissenschaftlern und Studenten der University of Toronto erforscht. Aus diesem Forschungsgebiet werden sich sicherlich noch eine Vielzahl von weiteren Anwendungsmöglichkeiten ergeben, die heute noch schwer vorstellbar sind.

Die Zukunftsvision schlechthin ist die der plastischen, frei im Raum schwebenden Projektion. Momentan scheint man davon noch weit entfernt zu sein. In Anbetracht der kurzen Zeitspanne, in welcher beispielsweise das Internet oder das Mobiltelefon unsere Kommunikations- und Informationsmöglichkeiten verändert und unsere Gesellschaft beeinflusst hat, ist es durchaus vorstellbar, dass es auch im Bereich autostereoskopischer Bildgebungsverfahren zu rasanten und überraschenden Entwicklungen kommen wird.

## Literaturverzeichnis

### Bücher

- P. A. Hagemann " Der 3-D-Film",  
1980, Monika Nüchtern Verlag München
- R. M. Hayes „3-D Movies: A History and Filmography of Stereoscopic Cinema“  
1989, McFarland & Company, USA
- H. v. Helmholtz „Handbuch der physiologischen Optik“  
1896, 2. Auflage Hamburg und Leipzig: Voss
- D. Hutchison „Fantastic 3-D“  
1982, Starlog Press, New York
- E. B. Goldstein „Wahrnehmungspsychologie“  
2.dt.Auflage 2002, Spektrum Akademischer Verlag GmbH  
Heidelberg, Berlin
- E. H. Gombrich „Die Geschichte der Kunst“,  
1997, 2. Auflage, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main
- U. Gregor/  
E. Patalas „Geschichte des Films“  
1973, Verlagsgruppe Bertelsmann GmbH  
München, Gütersloh, Wien
- L. Kaufmann „Sight and Mind, an introduction to visual perception“  
1974, Oxford University Press, Inc, USA
- H. Kluth "Raumtonfilm 3D"  
1955, Sebastian Lux Verlag  
Murnau, München, Innsbruck, Olten
- G. Kuhn „Stereofotografie und Raumbildprojektion“,  
1999, Verlag für Foto, Film und Video, Gilching
- H. Rheingold „Virtuelle Welten, Reisen im Cyberspace“  
1992, Rowohlt Verlag Reinbek bei Hamburg
- K. Steinmüller/  
div. Autoren „Wirklichkeitsmaschinen, Cyberspace und seine Folgen“  
1993, Beltz Verlag Weinheim und Basel
- O. Vierling „Die Stereoskopie in der Photographie und Kinematographie“  
1965, wissenschaftlich Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

## Literaturverzeichnis

- C. Wheatstone „On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomenon of binocular vision" (part one)  
1838, Philosophical Transactions of the Royal Society of London
- P. Zec „Holographie: Geschichte, Technik, Kunst"  
1987, DuMont Köln

## Zeitschriften

- Der Spiegel „Die Flächen und 3D"  
Der Spiegel vom 25.03.1953, S.28-30
- Der Spiegel „Plastischer Film: Kino mit Brille"  
Der Spiegel vom 02.05.1951, S.24-26
- R. Balakrishnan / G. W. Fitzmaurice / G. Kurtenbach  
„User Interfaces for Volumetric Displays"  
IEEE Computer Society 03/2001, S. 37-45
- G. E. Favalora "Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure"  
IEEE Computer Society 08/2005, S. 37-44
- K. Hofmann „Neue 3D Technik ohne Brille"  
Film&TV Kameramann 20. April 2006, S. 30
- InCamera „Bosch puts a brake on the action"  
InCamera (Kodak Magazin) Oktober 2006, S. 38
- Professional Production „Aus der Tiefe der Leinwand"  
Professional Production September 2005, S. 10-13
- E. M. Quass „Das Kabinett des Professor Bondi (House of Wax)"  
Die Filmwoche, Nr.22 (06.06.1953) S. 442

## Literaturverzeichnis

### Internet

- A.C.T. Kern „The World's Most Sophisticated 3D-Display: Free2C“  
A.C.T. Kern Broschüre  
[http://www.actkern.info/uploads/tx\\_skorder/Free2C\\_01.pdf](http://www.actkern.info/uploads/tx_skorder/Free2C_01.pdf) am 01.03.2007
- S. Easen „Film and the Festival of Britain 1951“  
British Universities Film & Video Council  
2002, Manchester University Press  
<http://www.bufvc.ac.uk/publications/articles/festofbritain.pdf> am 20.02.2007
- C. Fehn “Ein neues, DVB-kompatibles 3D-TV System”  
2004, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik,  
Heinrich-Hetz-Institut (FhF/HHI)  
[http://iphome.hhi.de/fehn/Publications/fehn\\_FKTG2004.pdf](http://iphome.hhi.de/fehn/Publications/fehn_FKTG2004.pdf) am 14.03.2007
- Felix3d.com “Wissenschaftlicher Hintergrund”  
2006 VFN Stade e.V  
<http://www.felix3d.com/web/index.php?show=Wissenschaftlicher%20Hintergrund>  
am 05.03.2007
- J. Gordon “Desktop Displays Enter A New Dimension”  
2006, Electronic Design, Penton Media, Inc.  
<http://www.elecdesign.com/Articles/ArticleID/13786/13786.html> am 03.03.2007
- D. Hambling „3D plasma shapes created in thin air”  
NewScientist.com news service 27.02.2006  
[http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn8778&feedId=online-news\\_rss20](http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn8778&feedId=online-news_rss20)  
am 03.03.2007
- Heise.de „Laserpulse erzeugen 3D-Bild in der Luft”  
news 01.03.2006  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/70213> am 03.03.2007
- H. Lemme „Aufbruch in die dritte Dimension”  
2002-2006, WEKA Fachzeitschriften-Verlag GmbH  
[http://www2.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0031/index\\_a.htm](http://www2.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0031/index_a.htm)  
am 02.03.2006
- C. Müller „3D, die perfekte Illusion”  
Artikel aus PC Professional Ausgabe 5/2005  
<http://testticker.de/praxis/peripherie/article20050421018.aspx> am 12.10.2006

## Literaturverzeichnis

- Philips "Technology Backgrounder"  
<http://www.business-sites.philips.com/assets/Downloadablefile//2006-05-30-Technology-backgrounder-13560.pdf> am 07.03.2007
- D. E. Roberts „History of Lenticular and related Autostereoscopic Methods“  
2003  
[www.microlens.com/HistoryofLenticular.pdf](http://www.microlens.com/HistoryofLenticular.pdf) am 15.01.2007
- H. Schwarzberger „Fernsehen zum Anfassen“  
2006, der Tagesspiegel online  
<http://www.tagesspiegel.de/sonderthemen/archiv/28.04.2006/2482496.asp> am 14.03.2007
- SeeReal Technologies „Next Generation Display Technology“ Broschüre  
<http://www.seereal.com/en/products/NextGen/NextGen.pdf> am 07.03.2007
- Spiegel.de „Nasa fotografiert Sonne erstmals in 3D“  
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/0,1518,478973,00.html> am 24.03.2007
- S. Stegemann „Eine Frage des Blickwinkels“  
Artikel aus Design&Elektronik 03/2006,  
WEKA Fachzeitschriften-Verlag GmbH  
<http://www2.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0030/index.htm>  
am 26.02.2007
- 3D-IP 3D Image Processing „Black Betty“  
[http://www.3d-ip.com/html/index\\_ie.html](http://www.3d-ip.com/html/index_ie.html) am 16.03.2007



## Literaturverzeichnis

### Weitere Quellen

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| Deutsch Telekom             | „3D Streaming“<br>Messeflyer CeBIT 2007                  |
| C. M. Grossmann             | “Autostereoscopic Display Technology”<br>White Paper     |
| Dr. med. E. U. Braun M. Sc. | Interview am 19.01.2007<br>Deutsches Herzzentrum München |
| J. Kluger                   | Interview am 21.03.2007<br>KUK Filmproduktion            |
| Dr. med. P. Libera          | Interview am 19.01.2007<br>Deutsches Herzzentrum München |

## Abbildungsverzeichnis

### KAPITEL 1

- ABB. 1.1-3 E. H. Gombrich „Die Geschichte der Kunst“  
1997, 2. Auflage, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main  
S. 41/63/114
- ABB. 1.5 Rider's Digest, "Grosse Maler berühmte Bilder"  
1967, Verlag Das Beste GmbH, Stuttgart  
S. 65
- ABB. 1.4/6 H. W. Janson, D. J. Janson „Malerei unserer Welt“  
1957, M. DuMont Schauberg, Köln  
S. 55/114
- ABB. 1.7/8 P. Zec „Holographie: Geschichte, Technik, Kunst“  
1987, DuMont Köln  
S. 33/35
- ABB. 1.9/10 E. H. Gombrich „Die Geschichte der Kunst“  
1997, 2. Auflage, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main  
S. 28/29
- ABB. 1.11/12 L. Lipton  
„Foundations of the Stereoscopic Cinema –A Study in Depth“  
1982, Van Nostrand Reinhold Company  
S. 23
- ABB. 1.13 C. Sellers  
„Exhibiting Stereoscopic Pictures of Moving Objects“  
1861, Patent Nr. 31 357
- ABB. 1.14: P. A. Hagemann "Der 3-D-Film"  
1980, Monika Nüchtern Verlag München  
S. 81
- ABB. 1.15 L. Hammond „Stereoscopic Motion Picture Device“  
1924, Patent Nr. 1 506 524
- ABB. 1.16/17 R.M. Hayes „3-D Movies: A History and Filmography of  
Stereoscopic Cinema“  
1989, McFarland & Company, USA  
S. 6/7

## Abbildungsverzeichnis

- ABB. 1.18/21 „Plastischer Film: Kino mit Brille“  
Spiegel vom 02.05.1951,  
S. 25
- ABB. 1.19 S. Easen „Film and the Festival of Britain 1951“  
British Universities Film & Video Council  
2002, Manchester University Press  
<http://www.bufvc.ac.uk/publications/articles/festofbritain.pdf> am 20.02.2007  
S. 2
- ABB. 1.20 E. B. Goldstein „Wahrnehmungspsychologie“  
2.dt.Auflage  
2002, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin  
S. 239

## KAPITEL 2

- ABB. 2.1 Eigene Anfertigung nach Wikipedia  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Auge> am 07.03.07
- ABB. 2.2-3/6/7 E. Bruce Goldstein „Wahrnehmungspsychologie“  
2.dt.Auflage  
2002, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin  
S. 231/228/237
- ABB. 2.4/8-10 Eigene Anfertigung
- ABB. 2.5 K. C. Heuser „Freihändig Zeichnen und Skizzieren“  
2. Auflage  
1977, Bauverlag GmbH Wiesbaden, Berlin  
S. 81
- ABB. 2.11 eigene Anfertigung nach E. B. Goldstein  
„Wahrnehmungspsychologie“ 2.dt.Auflage  
2002, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin  
S. 248

## Abbildungsverzeichnis

### KAPITEL 3

- ABB. 3.1 eigene Anfertigung nach H. Kluth "Raumtonfilm 3D"  
1955, Sebastian Lux Verlag Murnau, München, Innsbruck, Olten  
S. 66
- ABB. 3.2/9/11/12 eigene Anfertigung nach H. Lemme  
„Aufbruch in die dritte Dimension“  
2002-2006, WEKA Fachzeitschriften-Verlag GmbH  
[http://www2.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0031/index\\_a.htm](http://www2.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0031/index_a.htm) am 02.03.2006
- ABB. 3.3/4 S. Stegemann „Eine Frage des Blickwinkels“  
Artikel aus Design&Elektronik 03/2006,  
WEKA Fachzeitschriften-Verlag GmbH  
<http://www2.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0030/index.htm> am 26.02.2007
- ABB. 3.5/6 „The World's Most Sophisticated 3D-Display: Free2C“  
A.C.T. Kern Broschüre  
[http://www.actkern.info/uploads/tx\\_skorder/Free2C\\_01.pdf](http://www.actkern.info/uploads/tx_skorder/Free2C_01.pdf) am 01.03.2007,  
S. 1/2
- ABB. 3.7/8 A. Schwerdtner / A. Schwerdtner / B. Kroll  
„Autostereoscopic Multi-User Display“  
2006, Patent Nr. US 2006/0279567 A1
- ABB. 3.10 SeeReal Technologies „Next Generation Display Technology“  
<http://www.seereal.com/en/products/NextGen/NextGen.pdf> am 07.03.2007  
S. 2
- ABB. 3.13-15 Philips "Technology Backgrounder"  
<http://www.business-sites.philips.com/assets/Downloadablefile//2006-05-30-Technology-backgrounder-13560.pdf> am 07.03.2007  
S. 2
- ABB. 3.16/17 Philips 3D Solutions  
<http://www.business-sites.philips.com/3dsolutions/3dtechnology/3d2dualmode/index.html>  
am 07.03.2007
- ABB. 3.18 Philips 3D Solutions Downloadbereich  
[http://www.business-sites.philips.com/assets/Downloadablefile//2D\\_plus\\_depth\(1\)-13570.jpg](http://www.business-sites.philips.com/assets/Downloadablefile//2D_plus_depth(1)-13570.jpg)  
am 07.03.2007
- ABB. 3.19 eigene Anfertigung

## Abbildungsverzeichnis

- ABB. 3.20/21 S. Hentschke / A. Herrfeld "Hologram Display – Principle, 3-dimensional Representation, and Sampling"  
IPM Institute, Universität Kassel  
[http://www.uni-kassel.de/fb16/ipm/dt/DT\\_WWW\\_Site/Docs/HOLO-spalten.Pdf](http://www.uni-kassel.de/fb16/ipm/dt/DT_WWW_Site/Docs/HOLO-spalten.Pdf) am 05.03.2007  
S. 2/3
- ABB. 3.22 D. Bahr / K. Langhans / M. Gerken / C. Vogt / D. Bezecny / D. Hofmann „Felix – a volumetric 3D laser display“  
Symposium on "Electronic Imaging '96: Science and Technology"  
San Jose, USA SPIE Vol. 2650,  
S. 271
- ABB. 3.23/24 G. E. Favalora  
"Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure"  
IEEE Computer Society 08/2005  
S. 40
- ABB. 3.25 J. Gordon "Desktop Displays Enter A New Dimension"  
2006, Electronic Design, Penton Media, Inc.  
<http://www.elecdesign.com/Articles/ArticleID/13786/13786.html> am 03.03.2007
- ABB. 3.26 LightSpace Technologies  
<http://www.lightspacetech.com/index.htm> am 03.03.2007
- ABB. 3.27 Felix3d.com "Wissenschaftlicher Hintergrund"  
2006 VFN Stade e.V  
<http://www.felix3d.com/web/index.php?show=Wissenschaftlicher%20Hintergrund> am 05.03.2007
- ABB. 3.28 Heise news 01.03.2006  
„Laserpulse erzeugen 3D-Bild in der Luft“  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/70213> am 03.03.2007
- KAPITEL 4**
- ABB. 4.1/8 Philips Broschüre „Experience a new dimension – 3D Solutions“  
2006 Koninklijke Philips Electronics N.V.
- ABB. 4.2-7 Deutsches Herzzentrum München  
Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie
- ABB. 4.9 KUK Filmproduktion GmbH 2007



## Abbildungsverzeichnis

- ABB. 4.10 Christoph Fehn "Ein neues, DVB-kompatibles 3D-TV System"  
2004, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik  
Heinrich-Hetz-Institut (FhF/HHI)  
[http://iphome.hhi.de/fehn/Publications/fehn\\_FKTG2004.pdf](http://iphome.hhi.de/fehn/Publications/fehn_FKTG2004.pdf) am 14.03.2007

## KAPITEL 5

- ABB. 5.1-4 KUK Filmproduktion GmbH 2007
- ABB. 5.5/6/7 G. Kuhn „Stereofotografie und Raumbildprojektion“  
1999, Verlag für Foto, Film und Video, Gilching  
S. 23/24/26
- ABB. 5.8 KUK Filmproduktion GmbH 2007

## ANHANG 1

### 1 Interview mit Dr. med. Eva U. Braun M. Sc.

Betreuerin der Robotik / Telemanipulationschirurgie

Deutsches Herzzentrum München, Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie  
am 19.01.2007

Was ist Ihr Arbeitsfeld bzw. Forschungsgebiet hier am DHZ München?

Speziell die Aufgabe die ich hier betreue, ist die Robotik, -die Telemanipulations-Operations-Chirurgie am Deutschen Herzzentrum für Herz- und Gefäßchirurgie. Wir haben seit 1999 hier den DaVinci von Intuitive Surgical im Operationssaal stehen, das ist ein Telemanipulator der für geplant endoskopische Operationen eingesetzt wird bei uns bzw. ganz allgemein für minimainvasive Eingriffe.

Der Brustkorb wird nicht eröffnet, so wie wir das aus der konventionellen Chirurgie kennen, sondern es werden kleine Zugänge gemacht die nur wenige Zentimeter lang sind. Wir sind auf dem Weg so viele Operationen wie möglich dem Patienten endoskopisch anbieten zu können. D.h. der Patient hat überhaupt keine Eröffnung mehr des Brustkorbes, lediglich 3 oder 4 ganz kleine, etwa 1 cm große Inzisionen am Brustkorb.

Inwiefern wird bei diesen Operationen 3D Technologie eingesetzt?

Dieser Telemanipulator verfügt über eine 3D Kamera, ein 3D Endoskop, und der Chirurg sieht lediglich durch diese 3D Kamera den OP Situs. Es gibt gar keine andere Möglichkeit für den Chirurgen

Ist es sehr wichtig, gerade eine 3D Darstellung zu haben?

Es gibt jetzt Untersuchungen darüber, dass der Patient besser versorgt ist, wenn der Chirurg 3D sieht,- er sieht ja auch im konventionellen Operationsszenario 3D. Es ist mittlerweile durch Studien bewiesen dass der Chirurg durch 3D Sicht besser sieht, er operiert schneller und die Operation erscheint dem Chirurgen weniger schwierig. Im Allgemeinen ist die chirurgische Qualität durch die zusätzliche Tiefeninformation einfach besser.

Wie funktioniert die Wiedergabe der stereoskopischen Bilder? Muss ich mir das so vorstellen, dass der Chirurg eine Brille während der OP trägt?

Der Telemanipulator verfügt Gott sei Dank über ein anderes System. Das Bild wird dem Chirurgen über 2 Monitore präsentiert, die den 3D Eindruck ermöglichen. Der Chirurg sitzt an der Konsole und schaut wie auf einen Monitor und hat keine Brille auf.

Man sieht den Unterschied zur 2D Darstellung relativ extrem, und zwar gibt es ein Bild für den Assistenten, der am OP Tisch steht, -steril, -der Chirurg ist ja an der Konsole unsteril, und dieses Bild für den Assistenten ist in 2D. Und das ist maximal schwierig dem Chirurgen wirklich so zu assistieren, wie man das gewohnt ist. Da sieht man wirklich wie schwierig es ist auf einem 2D Bild dem Chirurgen beispielsweise eine Nadel oder den Faden zu übergeben. Das ist fast unmöglich und es erscheint wie wenn man das noch nie gemacht hätte

## ANHANG 1

Wann ist denn der Einsatz der 3D Technologie nun wirklich sinnvoll?

Die konventionellen Operationstechniken machen wir ohne 3D, Bzw. der Chirurg sieht ja 3D. Wir brauchen es wirklich nur, wenn wir diese endoskopischen Techniken einsetzen, wenn wir minimalinvasiv arbeiten und wenn wir einfach das Bild nicht real für den Chirurgen haben, sondern das Bild über ein Kamerasystem oder ein Endoskop dem Chirurgen präsentiert wird. Dann brauchen wir eine 3D Darstellung.

Wann wurde die 3D Technologie das erste Mal am Herzzentrum eingesetzt bzw. wie lange gibt es diese?

Wir haben den Roboter seit 1999 und da war der auch relativ neu auf dem Markt. Es gibt auch HMD's was für den Herzchirurgen jetzt nicht so problematisch wäre weil er es gewohnt ist etwas auf dem Kopf zu tragen. Die Chirurgen tragen hier alle eine Lupenbrille. Unsere OP Zeiten sind aber nicht selten 4/5 Stunden, d.h. diese HMD's sind ja heute leider immer noch sehr schwer und auch 4 bis 5 Stunden so einen HMD auf dem Kopf zu tragen ist ein Ding der Unmöglichkeit, die Lupenbrillen sind viel leichter. Das ist ein Problem warum diese Technologie von unseren Chirurgen abgelehnt wird.

Dann gibt es natürlich andere Technologien wie die Projektion eines 3D Bilds an die Wand, das ist sehr schön, aber auch mit Brille. Für den Herzchirurgen wie gesagt ist es nicht schlimm eine Brille aufzusetzen weil er die Lupenbrille gewohnt ist. Andere Chirurgen die niemals etwas auf dem Kopf haben die sehen das viel ablehnender. Wir sind generell den HMD's nicht abgelehnt, sie sind heute nur noch viel zu schwer. Man könnte sich auch vorstellen eine Brille zu tragen und auf den Monitor zu sehen, aber man muss sagen dass dieses DaVinci System sehr sehr gut ist, also da gibt es keine Technologie die da heran kommt und die Chirurgen sind auch zufrieden damit. Sie sind nicht genervt an dieser Konsole zu sitzen. Es ist auch kein Grund dafür, dass sie mehr ermüden. Hierfür ist bei unserem Roboter eher der Grund die fehlende Haptik. Das haben wir auch evaluiert mit verschiedenen Chirurgen und Szenarien. Diese Technologie von Intuitive Surgical ist schon sehr sehr gut, da gibt es kein System dass dem nahe kommt.

Mit generellen Ermüdungserscheinungen gab es keine Probleme?

Wir haben das untersucht. Man ermüdet weniger mit 3D im Vergleich zu 2D. Aber wir haben auch die fehlende Haptik beim Roboter untersucht und das ist eigentlich der Hauptgrund dafür, warum die Chirurgen so ermüden, haben wir jetzt bei unseren Evaluationen feststellen können. Es gibt auch andere Arbeitsgruppen die der gleichen Meinung sind und die gleichen Ergebnisse vorweisen.

Ein persönlicher Ausblick für die Zukunft? Was würden Sie sich wünschen, bzw. welche Visionen haben Sie bezüglich der 3D Technik?

Also wir sind der Meinung dass es ohne 3D gar nicht geht. Wir haben leider einen kleinen Rückschlag erlitten, weil wir dachten wir können auf dem Markt die 3D Technologie einfach kaufen und bei uns im OP anwenden, -das geht aber leider nicht. Alle Welt spricht über 3D und virtuell, auch für Lehr und Ausbildungszwecke wäre das natürlich ein Traum, wenn das einfach zu Ermöglichen wäre. Wir sind da sehr auf wissenschaftlichem Gebiet unterwegs,

## ANHANG 1

weil wir nicht in den Laden gehen können und die Sachen kaufen können.

Bezieht sich dies auf die Kameras?

Ja, denn wir brauchen natürlich eine hohe Qualität von den Bildern her, die muss man teilweise noch in Realtime bearbeiten können, da brauchen wir eine hohe Qualität. Dann muss es Medizintauglich sein, Sterilität ist da vielleicht ein Problem, -ich weiß es nicht.

Es gibt Fachgebiete die arbeiten seit Jahrzehnten ohne 3D. Seit 20 Jahren gibt es in der Bauchchirurgie die Laparoskopie, das ist mittlerweile Goldstandard für Gallenblasenentfernungen z.B. oder Blinddarmentfernungen oder in der Leisten-Operationstechnik, die vermissen 3D nicht. Andererseits weiß man nicht wie es wäre wenn es dort 3D gäbe. In der Koloskopie z.B., -wir dachten, wir könnten aus der Koloskopie die bei den Darmspiegelungen eingesetzt wird ein bisschen was abschauen. Die haben aber auch noch kein 3D. Vielleicht liegt es an der Technologie, die einfach noch nicht soweit ist. Viele Firmen die uns hier auch in allen Videofragen unterstützen sprechen davon und haben Prototypen entwickelt, aber es ist noch nicht auf dem Markt.

Aber wir haben die 3D Technik aus unseren CT Daten, die wir fast jeden Morgen sehen, wir haben die 3D Technik aus unseren Kernspin Daten jetzt die wir präsentiert bekommen und nicht mehr nur die Schnitte sondern eine 3D Rekonstruktion, damit man sich das auch anatomisch besser, leichter und schneller vorstellen kann. Wir haben in der Ultraschalltechnologie jetzt einen 3D Ultraschall der kommt, also 3D ist in aller Munde, aber die Technologie dafür ist noch nicht da, ganz komisch.

Was natürlich eingesetzt wird jetzt als Präsentationshardware für den Chirurgen ist sehr individuell, da haben wir auch versucht eine Evaluation zu machen. Viele favorisieren diese Projektion an die Wand mit Brille, manche finden den Bildschirm besser, manche finden den HMD schön und gut, ich glaube das ist sehr individuell, wir haben keine Linie feststellen können.

Werden komplizierte Operationen auch im Vornherein mithilfe von 3D Modellen geplant?

Wissenschaftlich ja, da sind wir auf dem Weg dahin, weil wir der Meinung sind dass vor allem mit dem Roboter wir das unbedingt brauchen, um genau zu planen wo man die Roboterarme beim Patienten genau platziert, da die Patienten alle unterschiedliche Anatomien aufweisen, unterschiedlicher als man im ersten Moment denkt. Für die Planung dieser Operationen haben wir das auf wissenschaftlicher Ebene eingeführt.

Weitere Projekte laufen, dass man aus den CT Daten des Patienten die Anatomie vorher bestimmt und auch die Instrumente virtuell in den Patienten einführen kann, um die Bewegungsfreiheit der Instrumente austesten zu können, ob man an den OP-Situs hinkommt wo man auch hin möchte und das ist natürlich in 3D ein Traum. Man kann die Operation vorher exakt im Probedurchlauf durchführen, -was im Übrigen auch in der Lehre eine un-gemeine Bereicherung wäre.

### 2 Interview Dr. med. Paul Libera

Referent des Klinikdirektors

Deutsches Herzzentrum München, Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie

am 19.01.2007

Was ist Ihr Fachgebiet hier am Deutschen Herzzentrum München?

Die Anforderung einer modernen Herzchirurgie ist, Operationsschnitte zum Herzen zu etablieren und diese Entwicklung muss Rechnung getragen werden durch verbesserte Kamerasysteme mit denen der Chirurg letztlich sein interoperatives Handeln auch auf dem Videomonitor überwachen kann. Das führt dazu, dass sowohl die Kameratechnik als auch die Monitortechnik sich in den letzten Jahren hier verbessert hat. Wir selbst haben hier am Deutschen Herzzentrum ein Schwerpunktzentrum etabliert für die interoperative endoskopische Bildgebung. Wir benutzen dazu verschiedene Kameras, verschiedene Techniken, nicht jede Kamera ist für jeden Einsatz geeignet.

Wir benutzen in der Regel 3 verschiedene Kameratypen: eine Krankkamera, die von oben das OP-Feld filmt, -ferngesteuert durch ein Joystickpanel. Diese Kamera hat Fernsehqualität. Als zweites nutzen wir einen Schultercamcorder, auch in Fernsehqualität, um die Atmosphäre im OP und auch den Kommentar der Chirurgen einzufangen. Und drittens, und das ist die wichtigste Kamera nutzen wir verschiedene Endoskopkameras verschiedener Bauart. Diese Endoskop-Kameras sind spezielle Videoendoskope, die sich in der Qualität deutlich unterscheiden von den üblichen Endoskopen, die an vielen Kliniken von Internisten und anderen Fachdisziplinen eingesetzt werden. Unsere Kameras sind speziell für die Videoaufnahme konzipiert. Der Chip, -ein 3-Chip, vergleichbar einem 3-Chip-Camcorder, 3 Chips befinden sich vorne am Ende des Endoskops und nicht wie sonst so oft wird das Bild über Lichtleiter übertragen und der Chip sitzt dann sozusagen am anderen Ende des Endoskops, - dadurch wird die Bildqualität deutlich schlechter, bei uns ist es genau umgekehrt.

Es gibt nur sehr wenige Firmen auf dem Weltmarkt, die diese Technik anbieten, im wesentlichen 3 Firmen. Wir haben uns für eine Firma entschieden, weil das was sie anbieten sehr kompatibel ist, weil wir ja verschiedene Kameras nutzen und diese letztendlich mit einem Videowagen / Kamerawagen konnektieren können, diese verschiedenen Endoskope. Was wir jahrelang gemacht haben ist SD Qualität, also PAL, wir generieren ein PAL Videosignal, durchaus in Fernsehqualität und seit wenigen Wochen jetzt auch in HD Qualität. Erst seit Kurzem können wir diese Signale verarbeiten, wir können hier auch schneiden. Die Filme dienen einerseits der Schulung von Mitarbeitern, der Schulung von externen Fachkollegen, und werden in der Regel auf großen wissenschaftlichen Symposien vorgestellt.

Um noch einmal auf 3D zurückzukommen, wie sehen Sie die Entwicklung im medizinischen Bereich?

Die eine Entwicklung ist das Bild immer schärfer zu machen. Diese Entwicklung sind wir jetzt mitgegangen indem wir von SD auf HD umgestiegen sind. Die andere Entwicklung ist die von 2D auf 3D, diesen Schritt haben wir noch nicht gemacht, weil der Markt kein Gerät anbietet das für unsere Belange sinnvoll ist. Es gibt keine 3D Endoskop Kamera weltweit,



## ANHANG 2

die eine vernünftige Qualität bietet. Definitiv. Wir sind bereits von Herstellern angesprochen worden, hier vielleicht selbst mit der Firma zusammen etwas zu entwickeln. Das muss man sehen wie sich das entwickelt. Natürlich würde uns ein 3D Bild auf jeden Fall für den Betrachter einen Gewinn bringen. Schon aus ästhetischen Gesichtspunkten heraus ist 3D ein Gewinn. Sich in einem kleinen Organ wie dem Herzen in 3D orientieren zu können macht sicher mehr Spaß als das Bild nur in 2D zu sehen. Es hat jetzt einfach auch einen rein voyeuristischen Aspekt.

**Aber nicht nur?**

Die Chirurgen die dran arbeiten erhoffen sich natürlich durch das 3D Bild eine bessere Orientierung für ihr chirurgisches Arbeiten.

**Aber es wird ja schon in 3D am Telemanipulator gearbeitet?**

Das ist die einzige Anwendung die mir bekannt ist in unserem Bereich, in dem eine 3D Kamera tatsächlich schon Anwendung findet, in dem so genannten Telemanipulator / Roboter. Die Qualität ist mittelmäßig veraltet und insgesamt ist das ganze System zu sperrig und zu groß, wenn man den Roboter als Ganzes sieht.

Wir sind auf der Suche nach kleine handelbaren 3D Kameras, die flexibel einsetzbar sind. Die müssen verschiedene Anforderungen haben. Sie dürfen nicht zu groß sein. Sie sollten nicht starr sein, sie sollten eben flexibel sein, -ein so genanntes flexibles Endoskop. Sie müssen die Aufnahmeabstände berücksichtigen, das folgt optischen Gesetzen, d.h. der Abstand der beiden Stereo-Kameras den man hier benutzen muss, der muss relativ nah sein, weil wir ja im makroskopischen Bereich, wenn nicht gar im mikroskopischen Bereich filmen. Die beiden Kameras müssen sehr eng aneinander geführt sein. Die Endoskopkameras die wir nutzen haben Längen zwischen 10 cm und 30 cm und haben einen Durchmesser von 5 mm und 10 mm. Das bedeutet, dass erste Versuche ergeben haben, dass 2 Endoskopkameras parallel angeordnet ganz dicht beieinander in etwa den Stereoeindruck generieren den man brauchen würde.

**Ihr müsstet also gar nicht auf den Basisabstand „0“ kommen?**

Nein, der Basisabstand von 1 cm würde vermutlich reichen.

**Dann hapert es also „nur“ an der Qualität des Bildes?**

Die Kameras haben mittlerweile Hervorragende Qualität, die Endoskopkameras per se, -in einer unglaublichen Brillanz, die man nicht glaubt wenn man das nicht gesehen hat. Beide zusammenzubringen, durch Verschweißen / Verdrahten, oder wie auch immer, das ist Aufgabe der Industrie. Der 2. Schritt muss sein diese 2 generierten Bilder durch bestimmte rechnerische Algorithmen übereinander zu projizieren, was nicht unsere Aufgabe sein kann, sondern die von Spezialisten, die eben was davon verstehen. Der dritte Schritt ist dann, dass man sich überlegen muss wie man das Bild ausgeben will und hier haben wir auch Erfahrungen mittlerweile gesammelt.

## ANHANG 2

Am einfachsten wäre eine Projektion ohne zusätzliche Brillen, weil der Operateur an sich schon eine Lupenbrille aufhat. Eine zusätzliche Brille würde das verkomplizieren. Mehrere im Operationssaal müssen das Bild sehen. Letztlich wäre eine Projektion an die Wand des Operationssaals am charmantesten

Einwurf EVA Braun:

Also man muss dazu sagen, den OP so gibt es ja jetzt schon von Brain Lab. So das die Wand nicht mehr Wand ist, sondern Monitor. Dort sieht man dann Röntgenbilder oder CT oder was auch immer. Aber leider noch nicht in 3D.

### 3 Interview Josef Kluger

Regisseur / Geschäftsführer  
KUK Filmproduktion GmbH  
am 21.03.2007

Was ist das Spezialgebiet bzw. Arbeitsfeld der KUK?

Die KUK Filmproduktion existiert seit 1992, hat sich von einer Filmproduktion mit Konzentration auf das Gebiet Imagefilm und Industriefilm entwickelt zu einem Anbieter für Spezialformate im Bereich Themenpark, große Weltausstellungen, große Events und Science Center und hat im Rahmen dieser Spezialisierung natürlich neben Motion Ride Filmen, Large Format Filmen, Rundum-Projektionen auch das Thema 3D mit in das Leistungsspektrum aufgenommen

Seit wie vielen Jahren produziert KUK 3D Filme?

Seit 2000 hat die KUK Filmproduktion das Thema 3D entwickelt. Es gab zu diesem Zeitpunkt kein hochwertiges und auch wirtschaftlich im deutschen Sprachraum vertretbares 3D Aufnahmeverfahren. Es gab auf der einen Seite die sehr aufwendigen und teuren IMAX Formate, die aber hier im mitteleuropäischen Raum von den finanziellen Rahmenbedingungen her nicht zu vermitteln sind, also lag es daran ein zwar hochwertiges aber bezahlbares System zu entwickeln. Es gab zwar am unteren Rand des Spektrums Aufnahmeverfahren mit miniHD, miniDV und ähnlichen Videoformaten, die aber dem Qualitätsanspruch einer hochwertigen 3D Filmproduktion für Image und Unternehmenskommunikation nicht gerecht werden. Also begann 2000 diese Entwicklung. Wir haben Wert darauf gelegt, einen kompletten Workflow beginnend von der Konzeption, der Filmaufnahme, der Postproduktion bis hin zur Präsentation aufzubauen.

Wie ist ein 3D Dreh aufgebaut?

Für die Herstellung von stereoskopischen Bildern ist es in der Produktionsphase wichtig die Aufnahmen zweistreifig herzustellen, d.h. man montiert die 2 Kameraobjektive in etwa im Durchschnitts-Augenabstand, in etwa 65mm. In diesem Abstand als Basisabstand montiert man 2 Objektive, die je nach Bauart der Kameras und Größe der Kameras auch dann über entsprechende halbdurchlässige Spiegel in die Position gebracht werden können und je nach Aufnahmeparameter, sprich je nach Entfernung zum nächsten Punkt im Bezug auf das Kameraobjektiv und zum Entferntesten Punkt bezogen auf das Kameraobjektiv kann man auch mit Brennweite und Verringerung des Basisabstands sich in stereoskopischen Parametern bewegen, die es ermöglichen Aufnahmen herzustellen, die eben das Auge nicht überreizen.

ein Beispiel:

Jemand sitzt am Schreibtisch und man hat im Vordergrund einen Computer, im Mittelgrund hat man die Person und im Hintergrund gibt's eine Wand. Jetzt gibt es für jedes Kameraobjektiv, für jede Brennweite gibt es bezogen auf den Basisabstand so genannte maximale oder minimale Nahpunkte und Fernpunkte.

## ANHANG 3

Es ist klar, durch die 2 Aufnahmeobjektive entsteht dann in der Projektion eine Verschiebung der Objekte auf den Filmbildern. Diese Verschiebung kann nur bis zu einem gewissen Grad durchgeführt werden, da ansonsten die Augen überanstrengt werden. Und zwar passiert folgendes, da gehen wir jetzt schon in die Betrachtung des 3D Films, aber das ist wichtig über die Betrachtung zu sprechen, weil das Rückschlüsse auf die Aufnahme mit sich bringt.

Wenn wir den 3D Film jetzt auf einer Projektionsleinwand ansehen, gehen wir jetzt mal nur von Projektion aus, dann wird das Bild auf eine Leinwand projiziert, d.h. diese Leinwand definiert die Schärfenebene. Auf diese Ebene fokussiert das Auge mit der Schärfe, d.h. die Akkommodation ist eingestellt auf die Leinwandebene. Da es sich aber um eine räumliche Darstellung von Objekten handelt, die sich vor und hinter dieser Leinwandebene befinden können, muss das Auge um einzelne Objekte zu betrachten konvergieren, d.h. das was auch beim normalen Sehen passiert, ich hab hier ein Glas vor mir auf dem Tisch stehen, ich schaue das Glas an, d.h. die Augen konvergieren auf diesen Punkt und stellen auch die Schärfe auf diesen Punkt, also akkomodieren, das passiert auch bei der Betrachtung eines 3D Bildes auf einer Leinwand, mit dem Unterschied allerdings, dass die Akkommodation, d.h. die Scharfstellung immer auf eine Ebene sich bezieht, wohingegen das Konvergieren, sprich das Ausrichten der Blickachsen vor und hinter der Leinwandebene liegen kann. Dadurch arbeiten die Augenmuskeln gegeneinander und durch dieses gegeneinander Arbeiten wird das Auge in einer gewissen Weise unnatürlich gereizt. Und wenn man diese unnatürliche Reizung überzieht, überdreht, führt es eben zu Unwohlsein beim Betrachten eines 3D Bildes.

D.h. da gibt es Parameter für diese mögliche Überreizung des Auges. Eine Faustregel ist zum Beispiel  $1/30$  der Bildbreite darf die Verschiebung der Bildpunkte beim entferntesten Punkt betragen. Diese Parameter kann man übertragen auf die technische Gestaltung im Hinblick auf Brennweite, Kamerabasis, Nah- und Fernpunkt bei der Filmaufnahme. Über diese Parameter muss man bescheid wissen, man muss sie für jede Aufnahme gezielt richtig einstellen. Dieses Einstellen erfolgt eben dadurch, dass man 4 Parameter in Einklang bringt.

Parameter 1 ist der Abstand der Aufnahmeobjektive, die so genannte Kamerabasis oder interaxis distance, die eben dann variiert um den normalen Augenabstand herum, d.h. man wird die 65 mm teilweise über- oder unterschreiten. Parameter 2 ist die Brennweite, die sich auswirkt auf diese möglichen Nah- und Fernpunkte. Parameter 3 ist der Nahpunkt, sprich das nächstgelegene Objekt und Parameter 4 der Fernpunkt das am weitesten entfernte Objekt in einem Filmbild.

Wobei es natürlich gerade bei der Nahpunktdefinition auch viel davon abhängig ist, wie dieses Objekt in der Ferne strukturiert ist. Eine weiße unstrukturierte Wand, die wenig Anhaltspunkte gibt, die Verschiebung zu sehen, ergibt eine größere Toleranz bezogen auf den Fernpunkt als eine klar strukturierte Ziegelwand, die genauer ermöglicht diesen Fernpunkt einzuschätzen.

## ANHANG 3

Die Festlegung der Konvergenzebene erfolgt bei unserem Verfahren in der Postproduktion, d.h. man dreht mit absolut parallel ausgerichteten Kameraobjektiven, um die Freiheit zu haben, diese Konvergenz hinterher auszugleichen. Was wir allerdings jetzt mit der nächsten Baureihe unseres 3D Rigs schon am Drehort kontinuierlich angleichen wollen, auch während einer Einstellung, ist der Optik Abstand. Die Kamerabasis lässt sich dann bei dieser neuen Baureihe während des Drehs funkgesteuert kontinuierlich verstellen. D.h. die Kamerafahrt beginnend auf einer Nahaufnahme einer Person die zurück geht in die Totalansicht eines Zimmers mit veränderten Nah- und Fernpunkten kann dann kontinuierlich durch die Kamerabasisveränderung über die gesamte Laufzeit der Einstellung korrekt wiedergegeben werden.

Da man sich in einem virtuellen 3DRaum beim Betrachten umsehen möchte, möchte man auch die Erfahrung haben, die man beim natürlichen Sehen hat, nämlich dass der Gegenstand auf den man fokussiert auch scharf erscheint. Das entspricht unserer natürlichen Seherfahrung, ich schau die in die Augen und dein Gesicht wird scharf, ich schau zur Straße raus, und der Baum wird auch scharf, d.h. der natürlichen Seherfahrung entspricht dieses Scharfstellen, also erwarte ich auch bei der Betrachtung eines projizierten 3D Bildes, dass ich beim Umherblicken die Dinge jeweils scharf sehe.

Das widerspricht aber natürlich teilweise den technischen Parametern bei der Filmaufnahme, denn jedes Objektiv hat eine gewisse Schärfentiefe in Relation zur Blende. Also ist das Bestreben diesen Schärfentiefebereich möglichst groß auszudehnen, damit man dem Auge diese natürliche Seherfahrung ermöglicht. Denn sonst würde sofort eine Irritation entstehen. Der 3D Eindruck wird gemindert und der Spaß am Betrachten eines 3D Bilds nimmt ab. Um das zu tun, ganz klar, optische Gesetze, ich muss mit möglichst kleiner Blende arbeiten. Möglichst kleine Blendenöffnung und entsprechend hoher Blendenzahl.

### Mehraufwand Licht

Also brauche ich viel Licht, beziehungsweise, wenn man jetzt mit Film aufnimmt kann ich das natürlich auch noch mal durch die Filmempfindlichkeit des Aufnahmematerials steuern, aber wenn man jetzt in dem Bereich Large Format Projektion geht will man natürlich auch möglichst feinkörniges Filmmaterial verwenden. Also verbieten sich auch da ASA Zahlen über 200. Also muss man gegensteuern mit viel Licht und viel Licht bedeutet natürlich auch dann viel Equipment, viel Personal fürs Licht und höhere Kosten.

### Mehraufwand Kamerateam

Das ist einer der Faktoren die den 3D Film in Relation zum normalen 2D Dreh teurer machen. Da ist auch schon das Thema Personal drin, wobei das Personal nicht nur zunimmt im Bereich der Beleuchtercrew, sondern auch am Kameraset selbst, also am Kameraequipment selbst. Man braucht zumindest einen Stereoscopic Supervisor zusätzlich beim Kamerateam, denn diese Parameter müssen wirklich beim Einrichten jeder neuen Einstellung berücksichtigt werden, da braucht man einen Spezialisten, der um diese Parameter bescheid weiß und in Abstimmung mit dem Kameraassistenten eben die Einstellung von Kamerabasis, Brennweite vornimmt, natürlich auch den Höhenversatz korrigiert, und das ist dann schon eine

## ANHANG 3

Person mehr.

Man hat auch eine komplexere Videoauspielung am Drehort, denn um diese Parameter live am Drehort kontrollieren zu können verwenden wir jetzt einen dafür eigens entwickelten 3D Viewer, der es erlaubt durch eine ausgeklügelte Spiegelmechanik diese Nah- und Fernpunkte daraufhin zu prüfen ob sie sich innerhalb der Limits befinden. Das bedingt zusätzliche Geräte am Drehort, die von A nach B transportiert werden müssen, also ist es ganz klar, dass bei einem Dreh, den vielleicht in 2D ein Kameraassistent bewältigen würde, an Seite des Kameraassistenten noch ein zweiter Assistent oder Clapper Loader steht. Also beträgt der Mehraufwand auf der Kamerateamseite 1-2 Personen.

### Mehraufwand Kosten

Es gibt eine Kostenkurve, d.h. die Mehrkosten eines 3D Drehs bezogen auf die Basiskosten, die eine 2D Produktion kosten würde, sinken mit Erhöhung des Budgets. Also ein Beispiel, ein 50000€ Low Budget Imagefilmdreh in 3D kalkuliert würde in 3D annähernd das doppelte Kosten. Wohingegen wir bei einem hochwertigen Imagefilm der vielleicht 800000€ kostet für 3D nicht mehr die doppelten Kosten haben, sondern durchaus mit 10%-15% den 3D Aufwand covern können.

Denn es ist klar, Schauspieler, Locationmiete, die ganze Drehlogistik u.s.w. bleiben für den 3D Film gleich. Oder auch die Setbauten u.s.w. also erhöht sich dann nur dieser Aufwand bezogen auf mehr Licht und das Personal an der Kamera und natürlich auch die Equipmentkosten für die aufwendigere Kamera, aber diese Mehrkosten sinken ständig über das Ansteigen der gesamten Kostenkurve.

### Spezielle Bildsprache

Die Besonderheiten der 3D Produktion sind nicht erst beim Dreh sondern schon viel weiter im Vorfeld bei der Konzeption eines 3D Films zu berücksichtigen. Es gibt bestimmte Themenbereiche, die eigenen mehr und andere eignen sich weniger für die Wiedergabe mit stereoskopischen Techniken. Reine Talking Heads, nur Köpfe die sprechen sind wenig spannend in 3D, d.h. man sollte doch Objekte / Vorgänge haben im Bild die entsprechend raumdynamische Szenen ermöglichen.

Da das 3D Bild näher an der Realität liegt sind auch bildgestalterische Möglichkeiten, die man beim 2D Film einsetzt, mit ganz langen Brennweiten drehen, oder mit extrem kurzen Brennweiten, mit Schärfeverlagerung zu arbeiten, mit schnellen Schwenks zu arbeiten, mit verwackelter Handkamera zu arbeiten, die verbieten sich teilweise, weil sie den 3D Eindruck stören würden, beziehungsweise weil sie auch ein unschönes räumliches Bild erzeugen. Dies bezieht sich auf die Brennweite.

Beim 3D Film kommen hauptsächlich normal leicht kurzbrennweitige und leicht langbrennweitige Objektive zum Einsatz. In den extremen Brennweiten ist es nicht angeraten diese für den 3D Film zu benutzen, d.h. lange Teleeinstellungen verbieten sich. Insofern gibt es natürlich auch Aufnahmesituationen, ich sag mal die Beobachtung eines Tigers aus weiter



## ANHANG 3

Entfernung, die für den 3D Film kritisch sind.

Dann ist eine Bildsprache zu wählen die auch, bezogen auf den Schnitt und die Dauer der Einstellung, es dem Betrachter ermöglicht sich auch in dem durch jeden Schnitt neu definierten 3D Raum zu orientieren. D.h. man muss diese Adaption an den neuen Raum berücksichtigen und kann deshalb nicht so kurz geschnitten schneiden wie beim normalen 2D Film.

Außerdem hat jedes Bild spezielle Parameter bezogen auf Nah- und Fernpunkt. Wenn diese Parameter von einem bis zum nächsten Bild durch den Schnitt zu stark unterscheiden, wird auch die Adaption länger dauern. Also achtet man darauf, dass sich Einstellungen in Hinblick auf diese Parameter gut matchen lassen. Man wird nicht von einem extremen Outscreen Effekt schnell auf eine Einstellung schneiden, wo sich alles ganz weit hinten im Bild befindet, sondern vielleicht den Outscreen Effekt in der ersten Einstellung beenden um dann auf eine neutralere Einstellung zu kommen und dann erst wieder extrem in die Tiefe zu gehen.

Das sind Dinge, die lassen sich im Schnitt sehr gut kontrollieren, da bei uns jeder Cutter permanent mit einer 3D Projektion arbeitet. Er sitzt vor der 3D Projektion mit Brille und kann live jeden durchgeführten Schnitt sofort kontrollieren. Das ist auch unbedingt notwendig, damit eben dieses räumliche Wirken der Bilder mit berücksichtigt wird.

### Wie ist der Workflow in der Postproduktion?

Bei uns wird in der Postproduktion als ersten Schritt in einer niedrigen Auflösung ein simples 3D Compositing aller selektierten Szenen erstellt. Man dreht also 10 Einstellungen und selektiert davon vielleicht 2 Einstellungen, die man verwenden möchte, kombiniert diese beiden Einstellungen stereoskopisch auf einem HD Stream, der dann durch spezielle Vorsätze unserer Projektoren in 3D betrachtet werden kann, und das ist dann die Basis für die Herstellung des Rohschnitts. Mit dieser Technik wird der Rohschnitt hergestellt und das hat den Vorteil dass ich auch schon im Rohschnitt die stereoskopische Wirkung betrachte und dann sicher sein kann, dass im Final Editing / Online Editing / Compositing auch die stereoskopische Wirkung gut funktioniert.

Dann gibt es nach dem Rohschnitt eben das Online Editing und Compositing. Wir hatten sehr viele Produktionen, wo in einem 3D Bild sich Monitore befanden, die wieder ein 3D Bild zeigten. Das ist eine ganz spezielle knifflige Aufgabe, weil ich in diese Monitore abgesehen vom Motion Tracking wenn es sich um bewegte Kameraeinstellungen handelt, auch stereoskopisch richtig den 3D Content einfügen muss. Außerdem haben wir Aufnahmen gemacht mit klassischer Setverlängerung, eingefügten digitalen Objekten, denn oft ist es so, dass man speziell für Outscreen Effekte diese mit digitalen Mitteln verstärken möchte. Es gab eine Einstellung in unserem Film für Bosch, wo ein Auto durch ein Wasserbecken fährt und man hat dann in Zeitlupe gedreht, mit 1000 Bildern pro Sekunde, und man hat die Wassertropfen, die auf die Kamera zufliegen durch zusätzliche digitale Wasserpartikel ergänzt, damit diese noch weiter vor die Konvergenzebene kommen und der Eindruck

stärker wird.

Wie schätzen Sie die 2D-3D Konvertierung ein?

Prinzipiell ist dazu zu sagen, es verhält sich wie beim Schwarzweißfilm und dem Farbfilm. Wann immer die Möglichkeit besteht, eine Produktion gleich von vornherein stereoskopisch herzustellen sollte man dies tun. Man dreht auch keinen Film den man als Farbfilm haben möchte erstmal mit einer Schwarzweiß Kamera. Das liegt auf der Hand. Nun denke ich aber dass jetzt gerade mit dem einsetzenden 3D Boom eine Nachfrage nach 3D Content entsteht. Um diese Nachfrage zu befriedigen wird man nicht umhin können, bestehendes Filmmaterial in 3D umzuwandeln. Das ist zum einen im Bereich Imagefilm so, dass es natürlich in jeder Firma historisch wichtige Aufnahmen gibt, die man auch im neuen Imagefilm zeigen möchte. Also würde es sich da anbieten eine 3D Konvertierung durchzuführen. Es gibt im Spielfilmbereich natürlich Blockbuster die mal erfolgreich waren und die man bei einem Relaunch dann in 3D zeigen möchte, da mag es auch wirtschaftlich sinnvoll sein eine 3D Konvertierung durchzuführen. Dann haben wir jetzt aktuell auch den Fall, dass wir in einem Film mit Stockmaterial arbeiten, mit Archivmaterial eben, was man von der Archivdatenbank kauft um einen Film aufzuwerten, mit Szenen deren Herstellung zu teuer wäre, und da ist es auch durchaus lohnend und sinnvoll eine 3D Konvertierung durchzuführen.

Die 3D Konvertierung ist dann gut und sinnvoll, wenn sie auch wirklich von Experten mit den entsprechenden Tools durchgeführt wird und da geht an einer manuellen Bearbeitung mit viel Rotoscoping eigentlich kaum ein Weg daran vorbei. Mir sind noch keine wirklich funktionsfähigen, verlässlichen automatischen Konvertierungstools bekannt. Das ist eine Aufgabe an die Softwareprogrammierer für die nahe Zukunft auch da das manuelle Konvertieren durch Automatisierung zu unterstützen, aber man wird sich nie komplett auf automatisierte Prozesse verlassen können.

Wenn wir einen 2D Film eins zu eins konvertieren, haben wir so und soviel Szenen, die einfach in 2D wunderbar funktionieren, wo mit Unschärfen gearbeitet wird, mit Teleobjektiven gearbeitet wird und wo man dann bei der Konvertierung natürlich an Grenzen und Probleme stößt, die sich so einfach nicht lösen lassen.

Z-Kameras, das ist sicherlich eine sehr sinnvolle Überlegung und die wird sich auch gerade in Hinblick auf autostereoskopische Displays als sinnvoll erweisen, denn da ist es sehr gut, wenn man zusätzlich zu den Informationen aus linkem und rechtem Bild noch speziell beim Dreh gleich Tiefeninformationen generiert.

Wann ist die KUK das erste Mal mit Autostereoskopie in Berührung gekommen?

Das erste Mal kamen wir mit Autostereoskopie in Berührung als von unserem Kunden Bosch der Wunsch geäußert wurde für spezielle Vorführungen in kleinem Kreise für spezielle Kunden, für spezielle Vorstände u.s.w. den Film, den wir ursprünglich für die Leinwand produziert hatten auch mit autostereoskopischen Displays vorzuführen. Ohne Brille, ganz unkompliziert. Das war das erste Projekt bei dem wir damit in Berührung kamen wo dann dieser Image Film eben umgewandelt wurde für die Vorführung auf Newsight Displays,

## ANHANG 3

d.h. aus den beiden Ansichten, linkes, rechtes Bild wurden insgesamt dann zusätzliche 6 Ansichten generiert um die insgesamt erforderlichen 8 Ansichten für das Newsight Display herzustellen. Das passiert durch einen externen Dienstleister, der das angeboten hat speziell für Newsight Displays.

Bei diesem ersten Projekt war es auch so, dass aus Zeitgründen schon die fertig composten Filmbilder umgewandelt wurden. Es hat sich sehr bald rausgestellt, dass speziell bei Compositings, wo reale mit digitalen Elementen verknüpft werden es auf jeden Fall sinnvoll ist, dass unbearbeitete real aufgenommene Bild als erstes umzuwandeln, davon eine Tiefenmap zu erstellen und das weitere Compositing dann mit dieser Tiefenmap durchzuführen. Denn digitale Bildelemente verhalten sich anders als reale Bildelemente und sind oft schwer von den automatischen Konvertierungsprogrammen zu erkennen, beziehungsweise man hat natürlich in der digitalen Welt die Möglichkeit die Tiefenmaps viel genauer zu berechnen und man sollte diese Möglichkeit auch nutzen und deshalb das Compositing nach der Konvertierung durchführen anstatt fertige comosete Bilder zu konvertieren.

Was sich aber in Zukunft im Bereich 3D Fernsehen gar nicht vermeiden lässt, denn wenn wirklich der Bedarf ansteigt und immer mehr Content konvertiert werden soll von 3D zu 2D+Tiefe, das Format das man braucht jetzt zum Beispiel für das Philips Display, und wenn diese Konvertierung auch in realtime stattfinden soll, dann müssen die Konvertierungsprogramme entsprechend verbessert werden um auch mit composeten Material klarzukommen.

**Mit welchen Monitoren wurde bisher bei der KUK gearbeitet?**

Bei Multi View Geräten waren es sowohl die Produkte von Newsight, mit denen wir Erfahrung gesammelt haben, als auch die Displays von Philips. Wir haben aber auch mit so genannten Single View Monitoren gearbeitet, das sind also autostereoskopische Displays bei denen die 3D Betrachtung nur von einer Person durchgeführt werden kann, da waren es in Kooperation mit Fraunhofer die Displaysysteme von Fraunhofer Heinrich Hertz mit Eye Tracking Systemen. Dann waren es die System von Sharp und wir haben eigentlich mit allen Displayherstellern in Deutschland Kontakt und haben alle, auch Spatial View und andere Firmen mit Content versorgt, damit die mit unserem Content ihre Displays testen konnten und auch wir umgekehrt das Feedback bekommen, wie unserer Content auf den verschiedenen Displays dargestellt wird.

**Gibt es einen Unterschied zum „normalen“ 3D Dreh?**

Es gibt einen theoretischen Unterschied. Man könnte es sich bei einem Dreh für autostereoskopische Displays, insbesondere wenn man mit dem Philips System arbeitet, wenn also 2D+Tiefe, könnte man schlampiger oder toleranter umgehen mit den Nah- und Fernpunkten. Weil letztlich durch die Generierung der Tiefenmap hat man die Möglichkeit durch die Kontraste innerhalb der Tiefenmap die Tiefe im finalen 3D Bild zu bestimmen. Es muss in sich stimmen, aber es funktioniert ja so, dass die Tiefenmap im Prinzip eine Graustufenskala ist, die vom entferntesten bis zum nächsten Objekt die jeweilige Tiefe in Bezug auf die Entfernung vom Kameraobjektiv angibt. D.h. In der Graustufenskala gibt es irgendwo ein

definiertes Schwarz für das am weitesten entfernte Objekt, und es gibt ein Weiß für das nächste Objekt, beziehungsweise Weiß wird dann auch schon als Outscreen Effekt definiert und ein mittleres Grau ist in etwa die Konvergenzebene.

Ich kann im Compositing oder hinterher in der Bildbearbeitung durch die Kontrastverhältnisse innerhalb der Tiefenmap mein Bild also noch gestalten, kann aber für das Auge des Betrachters die Tiefe sozusagen nie überziehen. Denn mehr als ein Schwarz für den am weitesten entfernten Punkt und mehr als ein Weiß für den weitesten Outscreen kann es nicht geben. Wohingegen ich bei einer Projektion durchaus Nah- und Fernpunkt theoretisch beliebig weit auseinander ziehen könnte, um dadurch das Auge zu überreizen. Dieses Überziehen / Auseinanderziehen ist eben limitiert durch die Funktionsweise der Tiefenmap. Also könnte ich auch Einstellungen drehen, mit einem Basisabstand, der für eine Projektion zu groß wäre, der aber durchaus für die Tiefenmap noch funktionieren würde. Nun ist das jetzt aber eigentlich nur ein theoretischer Ansatz, denn man ist schlecht beraten einen Film zu drehen, der dann nur noch für autostereoskopische Displays vorführbar ist.

Also wird man sinnvoller Weise die stereoskopischen Parameter in der Weise berücksichtigen, dass es möglich ist, daraus auch eine saubere 3D Projektion herzustellen. Also definieren schon wieder die Parameter für die Projektion im Prinzip das Vorgehen beim Dreh. Man kann sich aber sicher sein, und das zeigt auch unsere Erfahrung, dass alle stereoskopischen Parameter die für eine Leinwandprojektion gut und richtig sind, auf jeden Fall auch auf einem autostereoskopischen Display gut funktionieren und da auch entsprechend des Umgangs mit der Tiefenmap optimiert werden können.

**Gibt es einen Unterschied in der Postproduktion?**

Herstellerbedingt (Tiefenmap). In Produktionen, die für die Projektion vorgesehen sind, funktioniert im Prinzip der Konvergenz durch verschieben der beiden Bilder gegeneinander

**Wie wird das fertige Material bereitgestellt?**

Das ist ein breites Feld, womit sich auch mehrere aktuelle und geplante Forschungsprojekte beschäftigen, weil im Anbetracht auf die wirklich neuen Technologien gibt es eigentlich noch keine definierten Abspielnormen. Wir arbeiten für die Projektion mit einem Side by Side Format, d.h. das linke und rechte Bild werden nebeneinander auf einem wie auch immer gearteten digitalen Datenstrom gekoppelt, und auch dann als eine Datei abgespielt. Das hat den großen Vorteil, dass die Synchronität absolut gegeben ist. Es ist ein File, das kann nicht gegeneinander verrutschen. Umgekehrt kommt man dann natürlich auch an Grenzen der derzeit verfügbaren Abspielsoftware, sprich der Server, so dass bei einer zweistreifigen Full HD Auflösung es doch dann geboten ist dann durchaus auch mit zwei Abspielgeräten zu arbeiten, oder mit 2 Streams, die wirklich gekoppelt sind in entsprechender Weise.

Philips arbeitet mit einem eigenen Stereoscopic Player, bei Newsight gibt es auch wieder ein spezielles Newsight Format. Das ist ein großes und wichtiges Thema. Wir haben uns mit allen Zuspieldateiformaten beschäftigt, wir können für jedes Display produzieren und für jedes

## ANHANG 3

Display die entsprechende Codierung herstellen. Es werden oft MPEG Streams verwendet, es gibt aber auch Zuspielungen basierend auf dem AVI Codec, also da ist alles möglich und man muss sehen wie sich das in Zukunft gestaltet, welches Verfahren dann wirklich eingesetzt wird. Inwieweit auch die neuen High Definition DVD Systeme da eine Rolle spielen werden. Das liegt auch außerhalb unseres Einflussbereiches, wird werden das beobachten und werden uns mit jedem neuen Format sofort auseinandersetzen.

### Welche Kunden / Einsatzgebiete?

Aktuell sind für die Projekte die wir realisieren zwei Einsatzgebiete von Relevanz. Das eine ist die hochwertige Unternehmenskommunikation, d.h. Firmen die für Messen, spezielle Events etwas Besonderes bieten wollen, da ist es ratsam auch mit 3D zu arbeiten, und da haben wir auch sehr erfolgreich Projekte hergestellt. Dann gibt es bei uns den zweiten Bereich, ich nenne es mal umfassend Entertainment. Das ist der Bereich Themenparks, Science Center wo man dadurch, dass man sowieso auch im Themenpark die eigene Vorführinstallation herstellt, auch mit Stereoskopie gut umgehen kann.

Im Moment haben wir einfach noch für eine Verbreitung im Unternehmenskommunikationsbereich mit der Problematik umzugehen, dass eben die Technik eine spezielle sein muss. Also was für den 2D Film völlig unproblematisch ist, eine DVD herzustellen und die an 10000 Kunden zu verschicken, und damit rechnen zu können, dass jeder Kunde einen DVD Player hat, diese Möglichkeit hat man im 3D Film noch nicht. Das wird sicherlich verbessert werden, wenn auch die Displays breiter in den Markt kommen. Das ist so ein bisschen Henne und Ei Problematik. Und deshalb sind es auch jetzt eher Einzelevents, Einzelanwendungen bei denen unsere Projekte zum Einsatz kommen.

Ich denke aber, dass sich das wandeln wird, dass durch neue Technologien auf der Displayseite, auch durch Folien eine sinnvolle Preisgestaltung bei jetzt noch teuren Multi View Geräten sich diese Displays einfach verbreiten, dass Content auch aus der Gaming Ecke kommt, die es für den Konsumenten dann sinnvoll erscheinen lassen, sich so einen Display anzuschaffen, und dass wir dann plötzlich über diese verbreiteten Wiedergabemöglichkeiten auch mehr Kunden gewinnen können, die sagen, -okay, ich habe ja jetzt bei meinem Publikum einfach schon die Möglichkeit 3D zu präsentieren, dann komme ich auch mit dem Content hinterher.

Spielfilm in 3D prinzipiell ja, wir haben 2 Beispiele jetzt aktuell in den letzten Monaten in Deutschland gesehen, das war „Chicken Little“ und das war auch der konvertierte Film „Nightmare before Christmas“. Wo in beiden Fällen zu beobachten war, dass auch bei einer Spielfilmlänge von über 90 Minuten, wenn man gut und richtig mit dem 3D Effekt umgeht, dass durchaus Spass macht sich so ein Projekt anzuschauen. Ich denke, dass 3D Spielfilm einfach kommen wird, beziehungsweise man weiß, dass Regisseure wie George Lucas wandelt um und James Cameron dreht neu auf 3D. Also 3D wird aus vielen Ecken vorange-  
trieben.

Wie schätzen Sie die autostereoskopische Displays persönlich ein?

Rein nach meiner persönlichen Einschätzung haben wir im Moment die beste Qualität mit den Philips Displays gesehen was Multi View angeht, und da muss man eben sehen, wie sich in Zukunft die Preise gestalten. Das ist ja ein ähnliches Problem wie High Definition, wobei natürlich da noch das Problem des Contents dazukommt, okay das haben wir bei HD auch, aber das ist noch etwas kritischer im 3D Bereich. Ich denke, es wird dann funktionieren wenn 3D als Zusatzfunktion zu einem sehr vernünftigen Zusatzpreis angeboten wird. So dass ich ein schönes großes HD Display kaufe und der 3D Knopf kostet mich nur einige Hundert Euro. Das wäre ein Marketing Strategie, die in der Hinsicht zum Erfolg führen kann. Reine 3D Displays zum hohen Preis wird man kaum auf dem Consumer Markt erstmal absetzen können weil es dafür einfach keinen Content gibt. Selbst der Early Adapter wüsste nicht was er momentan auf einem solchen Display anschauen soll, also werden die reinen 3D Displays eigentlich nur im Business to Business Markt abgesetzt, wenn Firmen sich einen Showroom einrichten, oder auf eine Messe gehen. Ich weiß dass einige Medientechnikverleiher jetzt sich auch schon mit 3D Displays ausgestattet haben, eben für diesen professionellen Einsatz.

Ich denke wenn es gut gemacht wird, wenn es richtig vermarktet wird, dass die 3D Folien eine große Zukunft haben, weil ich hier wirklich im wenige hundert Euro Bereich die Möglichkeit habe 3D zu sehen, und wenn das auch abgestimmt ist auf Games, dann ist einfach auch schon der Content vorhanden. Der Konsument braucht ja eine Motivation, warum er sich jetzt so eine Folie kauft und die kann durchaus durch ein Game gegeben sein, dass er dann Gaming in 3D macht.

Man darf allerdings auch eins nicht vergessen, dass habe ich auch jetzt auf der CeBIT gesehen, dass es durchaus sehr schlaue Verfahren gibt, die mit einer einfachen Polarisationsbrille zum Beispiel auf einem großen Monitor das 3D Sehen ermöglichen. Und das ist ein Konzept, das halte ich durchaus auch für zukunftsfähig, denn so im Heimbereich wird der Konsument wahrscheinlich wenig Problem haben, so eine Brille aufzusetzen, vor allem auch wenn die Qualität stimmt, das ist überhaupt nicht vergleichbar mit dem, was auch die ganzen Experimente mit Pulfrich Verfahren und Rot Grün Brillen an Qualität gebracht haben, beziehungsweise nicht Qualität gebracht haben. Also hat man da auch eine Möglichkeit durchaus mit Brille zu arbeiten und das ist um Längen besser als das, was bis jetzt mit Shutterbrillen ermöglicht wurde.

Die Shutterbrille hat auch speziell ihre Macken und ist weniger consumergeeignet als solche Displays, die eben mit dem Polarisationsverfahren arbeiten. Es gibt sehr viele neue Techniken, die auch preislich immer vernünftiger gestaltet werden, dass der Konsument also bald eine Auswahlmöglichkeit hat und dann ist eigentlich viel davon abhängig, welcher Content dann einfach angeboten wird, damit die Motivation für den Consumer besteht, sich auch so ein Gerät zu kaufen und damit mehr anzusehen als eine mitgelieferte Demo DVD.

Die Entwicklung von Stereokopie ist vergleichbar mit dem Quantensprung von Schwarz



## ANHANG 3

Weiß zur Farbe. Dies gilt eingeschränkt. Ich würde das jetzt nicht hundertprozentig vergleichen, denn man muss einfach sehen, von Schwarzweiß zu Farbe war eine Entwicklung die auch wirklich eine hundertprozentig sinnvolle Übertragung ermöglicht hat. Also das war bis auf wenige künstlerisch angelegte Projekte durchaus sinnvoll eigentlich im gesamten Spektrum der Content Produktion Farbe zu produzieren. Und da sehe ich es etwas eingeschränkt im 3D Bereich. Ich denke nicht, dass auch wenn die technischen Möglichkeiten vorhanden sind, so meine Prognose, denke ich nicht, dass man zukünftig sinnvoller weise alles in 3D herstellt. Es gibt durchaus Dinge wo ich sage, der Nachrichtensprecher in 3D wird wohl gemacht werden, weil man es einfach kann, aber die Frage ist, ob das sinnvoll ist.

Es gibt auch nach unseren Erfahrungen einen schnellen Gewöhnungseffekt an 3D. Und mit dem muss sehr sorgfältig und behutsam umgegangen werden. Es kann auch durch inflationäres Einsetzen von 3D der Effekt wieder verwässert werden und somit wenig spektakulär für den Betrachter erscheinen lassen, weil er eben alles in 3D sieht und plötzlich hat er sich daran gewöhnt. Aber wie gesagt, das ist ein Prognose, ich kann mir auch gut vorstellen, dass einfach weil es gemacht werden kann es auch einfach gemacht wird und irgendwann ist alles in 3D wir haben uns so daran gewöhnt, dass es halt normal ist so wie wir heute nicht mehr darüber nachdenken, dass das Fernsehbild in Farbe kommt.

Das ist ja das von dem jeder träumt, das Bild im Raum ohne Medium, da haben wir viele Kundenanfragen, gibt es so was schon, die wir im Moment aufgrund der Physik die hier noch herrscht einfach verneinen müssen, so was gibt es noch nicht. Es gibt aber durchaus Konzepte, die in diese Richtung erste Lösungsansätze gebracht haben. Da gibt es schon Ansätze, das will ich nicht ausschließen, dafür hat sich auch in der Vergangenheit gezeigt, welche unglaublichen Dinge sich doch realisieren lassen, aber es ist auch immer eine Frage des Zeithorizonts.