

Alexander Dreyer

# **Bildtrennverfahren bei 3D-Projektionen**

*Facharbeit in Physik*

*Überarbeitete Version*

# Facharbeit Physik

[ Bild SIRD.GIF ]

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>I. EINLEITUNG</u></b> .....	4
<b><u>II. HAUPTTEIL 1: THEORETISCHER TEIL</u></b>	
1. STEREOSKOPISCHE GRUNDLAGEN .....	6
2. VORGESCHICHTE .....	9
2.1. HISTORISCHE ENTWICKLUNG .....	9
2.2. STEREOSKOPE .....	9
2.3. LINSENRASTER .....	13
3. DREIDIMENSIONALE PROJEKTIONEN .....	14
3.1. DIAPROJEKTIONEN UND KINOFILM .....	14
3.2. BILDTRENNUNG DURCH FARBIGE FILTER .....	15
3.3. BILDTRENNUNG DURCH ZEITLICHE ABFOLGE DER BILDER .....	16
3.4. BILDTRENNUNG DURCH POLARISATION .....	19
3.4.1. <i>Polarisation</i> .....	19
3.4.2. <i>Polarisationsfilter zur Stereoprojektion</i> .....	22
<b><u>III. HAUPTTEIL 2: PRAKTISCHER TEIL</u></b>	
1. BAU UND UNTERSUCHUNG EINES STEREOSKOPISCHEN PROJEKTIONSAP- PARATES .....	24
1.1. VERSUCHSZIELE .....	24
1.2. VERSUCHSAUFBAU .....	24
1.3. MESSUNGEN .....	26
1.4. MEßERGEBNISSE .....	30
2. FEHLER UND PROBLEME .....	32
2.1. FEHLERQUELLEN .....	32
2.2. PROBLEME .....	32
<b><u>IV. SCHLUß</u></b> .....	34
<b><u>V. FOTOS UND ANLAGEN</u></b>	
1. STEREOSKOPISCHE POSTKARTEN .....	35
2. VERSUCHSAUFBAU .....	36
3. STEREOAUFNAHMEN ZU DEN VERSUCHEN .....	37
4. ANLAGE: <i>ANAGLYPHISCHES TELEGRAMM DER TELEKOM</i> .....	39
<b><u>VI. QUELLENANGABEN</u></b> .....	40

# I. Einleitung

Diese Facharbeit aus dem Gebiet der Optik befaßt sich mit der *Stereoskopie*. Die Stereoskopie (*griechisch: festes, körperliches Sehen*) hat die Aufgabe, bei Aufnahme und Wiedergabe optischer Eindrücke die räumliche Tiefe zu erhalten.

Es handelt sich um einen alten Menschheits Traum nicht nur die farblichen Eindrücke eines gesehenen Bildes wiedergeben zu können, wie das schon in der Urzeit die Menschen mit Zeichnungen zu Ritualzwecken versucht haben, sondern auch die Tiefe wiedergeben zu können. Die Möglichkeit „Tiefe“ zu empfinden unterscheidet den Menschen von den meisten Tieren. Das von den Augen aufgefangene dreidimensionale Bild entsteht dabei durch die Kombination der Bilder aus den beiden Augäpfeln, insofern dieses System nicht durch Krankheit (z.B. Schielen oder einseitige Blindheit) beschädigt ist.

Wie das Gehirn die beiden Bilder zusammensetzt und weiterverarbeitet soll zunächst im theoretischen Teil geklärt werden. Danach soll kurz der historische Weg bis zu den Grunderkenntnissen der Stereoskopie beschrieben werden und auf die anfänglichen Irrtümer dieser Entwicklung hingewiesen werden. Dann sollen die vielen stereoskopischen Verfahren erklärt werden, die sich vom Ende des letzten Jahrhunderts bis heute entwickelten. Dabei wird absichtlich eine Auswahl getroffen. Es werden nur die wichtigsten Methoden erklärt, da es sich hier um ein weitgefächertes Themengebiet handelt. Immer wieder werden neue 3D-Verfahren der Öffentlichkeit vorgestellt, die allerdings größtenteils wieder schnell verschwinden, da sie meist zu kompliziert sind oder Kopf- bzw. Augenschmerzen verursachen.

Es soll hier auch nicht auf die Holographie eingegangen werden, obwohl sie eigentlich perfekte 3D-Bilder zuläßt, da es sich hier um eine eigenständige, ebenfalls sehr komplexe Materie handelt.

Die Verfahren werden dabei so ausgewählt, daß sie auf das eigentliche Thema der Facharbeit hinzielen, nämlich, das Projektionsverfahren mit linearen Polarisationsfilter zu erklären und zu untersuchen. Dennoch soll der theoretische Teil einen Querschnitt der Literatur zu diesem Gebiet geben, die dem Leser wichtige Daten im Überblick vermitteln soll.

Anschließend soll auch eine entsprechende Apparatur aufgebaut werden, die *Stereoprojektionen* ermöglicht. Das soll auf möglichst einfache Weise geschehen, deshalb werden auch ganz normale Diaprojektoren und fotografische Filter benutzt, die jedermann im Geschäft kaufen kann. Vorher werden dazu zwei Dias aufgenommen, die zur stereoskopischen Projektion geeignet sind. Bewegte Bilder herzustellen ist aber wesentlich komplizierter und würde den Rahmen einer Facharbeit sprengen. Es soll hier gewissermaßen nur die Minimalausstattung aufgebaut werden. Verbesserungen sind ohne weiteres möglich und werden auch sehr kostenintensiv für Vergnügungsparks und Jahrmärkte entwickelt. Für das „Kino um die Ecke“ werden diese Techniken allerdings noch längere Zeit ein Wunschtraum bleiben, da sie alle relativ aufwendig sind (siehe Hauptteil). Hier haben sich allerdings einige Methoden durchgesetzt, die dazu dienen, die Zweidimensionalität der Leinwand nicht noch zu verstärken. Hierzu gehören die breitere Leinwand im Verhältnis 16:9, wie sie jetzt auch für das Fernsehen im Gespräch ist, und die *Stereophonie*, die Raumklang ermöglicht. Es wird auch mit gewölbten Projektionsflächen und Rundumkinos experimentiert. In manchen Vergnügungsparks, wie im *EuroDisney* bei Paris

oder dem *Bavaria-Filmpark* bei München, versucht man sogar mit Flugsimulatoren und bewegten Sitzen den Bildeindruck zu verstärken<sup>1</sup>.

Im praktischen Teil soll die entstandene Stereoprojektion daraufhin untersucht werden, ob das dann gesehene *3D-Bild* auch tatsächlich den Verhältnissen der Umgebung bei der Aufnahme entspricht. Um dies zu messen, wird eine Formel hergeleitet, die Messungen direkt auf der Projektionsfläche ermöglicht. Im weiteren wird auf die möglichen Fehlerquellen eingegangen und wie sich diese auf das Ergebnis auswirken können. Außerdem wird auf Probleme, die bei diesen Versuchen auftreten, näher eingegangen. Dies soll anderen, die an einem ähnlichem Thema arbeiten, die Möglichkeit geben, direkt entsprechende Experimente mit guten Ergebnissen durchzuführen.

Diese Facharbeit soll zeigen, daß man auch mit einfachen Mitteln einen plastischen Eindruck herstellen kann und andere ermutigen, selbst zu versuchen, ein wenig Volumen in die immer noch flache Medienlandschaft bringen.

---

<sup>1</sup> vgl.: B.Richman, T. Delaney u.a., *CINÉMAGIQUE - Featuring „CAPTAIN EO“*, Euro Disneyland, S. 1-3

# II. Hauptteil 1

## Theoretischer Teil

### 1. Stereoskopische Grundlagen

Mit unseren Augen sehen wir unsere Umwelt. Durch das Sehen von Farben und Helligkeiten können wir verschiedene Gegenstände erkennen und voneinander unterscheiden. Schon in der Steinzeit versuchten Menschen das, was sie sehen, in Bildern nachzuahmen und spätestens seit der Erfindung der Fotografie ist das auch im befriedigenden Maße möglich. Betrachtet man nun aber eine Plastik mit bloßem Auge und dann ein Foto des selben Gegenstandes, so bemerkt man selbst bei dem besten Bild einen entscheidenden Unterschied: Bei der Fotografie stellt sich beim Betrachten nämlich kein plastischer Eindruck ein. Normalerweise kann ein Mensch nämlich „Tiefe“ erkennen, d.h. er kann auch unbekannte Entfernungen abschätzen, selbst wenn der entsprechende Bereich senkrecht zu seinem Gesichtsfeld verläuft.

Hierbei stellt sich die Frage: Wie kann das Gehirn diese Tiefeninformation aufnehmen?

Die Wahrnehmung der wirklichen Welt erhält jeder Mensch durch die Kombination von all dem, was ihm seine Sinnesorgane liefern. Hierbei spielt das Auge eine ganz besondere Rolle, da es, wie schon erwähnt, das Erkennen von verschiedenen Objekten auch auf weite Entfernungen erlaubt. Auf der Netzhaut der Augen entsteht durch die vorgeschaltete Linse ein (scharfes) Bild der Umwelt. Der Augenhintergrund ist zwar gewölbt, aber es handelt sich hierbei dennoch um ein zweidimensionales, also ein flaches Bild. Der Mensch hat allerdings zwei Augen, die jeweils einen anderen Bildeindruck an das Gehirn weiterleiten. Erst im Gehirn wird beides dann zu einem räumlichen Bild verschmolzen:

$$2D + 2D = 3D$$

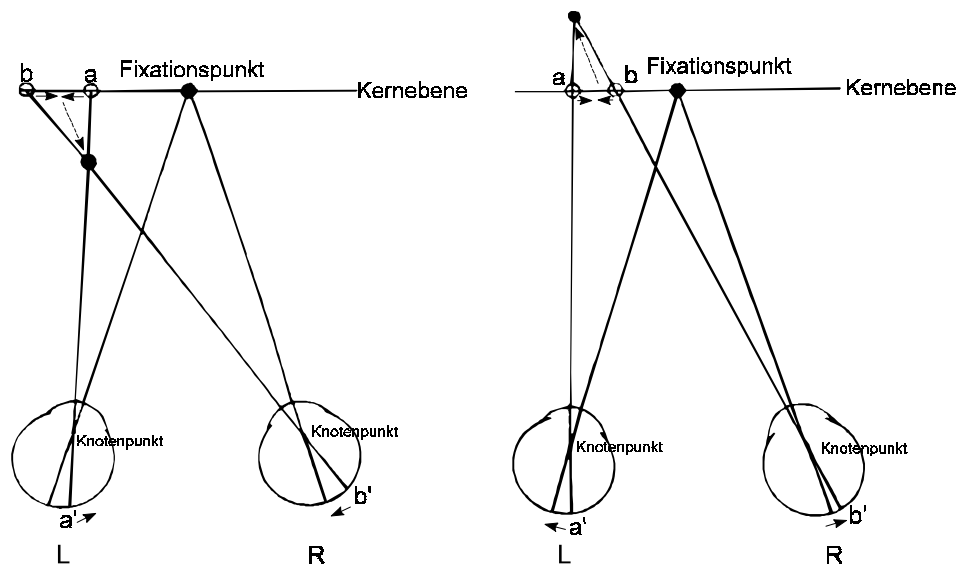
Dieses dreidimensionale Bild ist dann tatsächlich mehr als bloß ein perspektivisches Bild. Weitere Informationen über die Entfernung eines fixierten Gegenstandes erhält das Gehirn außerdem aus der Verarbeitung der Fokussierung und Stellung der Augen sowie der Kopfposition. Des weiteren spielen Erfahrungswerte noch eine große Rolle, so weiß man z. B., daß wenn ein Gegenstand einen anderen überlappt, dieser vor dem anderen stehen muß. Das im Gehirn rekonstruierte Bild zeigt den betrachteten Gegenstand allerdings nur von einer Position aus. Um mehr über den Gegenstand zu erfahren, muß um das Objekt herumgegangen oder zumindest der Kopf gedreht werden. Der räumlich Eindruck an sich entsteht aber nur aufgrund der Kombination der beiden Netzhautbilder. Deswegen ist es nicht nötig, ein wirkliches dreidimensionales Bild zu erstellen, um tatsächlich ein plastisches Bild zu sehen. Man muß lediglich beide Augen dazu bringen, ein unterschiedliches Bild zu sehen<sup>2</sup>. Für diese beiden korrespondierenden Einzelbilder hat sich der Begriff Halbbilder eingebürgert. Die Halbbilder müssen aus verschiedenen Ansichten aufgenommen werden.

Dabei entsteht, genauso wie beim natürlichen Sehraum, durch die Tiefenwahrnehmung ein relatives räumliches Bezugssystem, bei dem die Bildpunkte in Hinsicht auf eine Bezugsebene

---

<sup>2</sup> vgl. John O. Merritt, „Visual-motor realism in 3D teleoperator display systems“, *True Three-Dimensional Imaging Techniques and Display Technologies*, David F. McAllister, Woodrow E. Robbins, Editors, Proc. SPIE 761, Seite 88 (1987)

lokalisiert werden. Als Bildpunkt versteht man hier nach Linschoten<sup>3</sup>, die kleinste theoretisch analysierbare Einheit, die das selbe Tiefenempfinden hervorrufen kann, wie eine komplizierte Figur. Die Bezugsebene bildet hier die sogenannte *Kernebene*. Es handelt sich hierbei um die zum Gesichtsfeld parallele Fläche, die den mit den Augen fixierten Bildpunkt (*Fixationspunkt*) enthält. Seine Abbildungen befinden sich genau in den Zentren der beiden Netzhäute. Nun besitzt jeder der Bildpunkte eine andere Verschiebungsrichtung, die benötigt wird, um ihn auf den korrespondierenden Punkt zu verschieben, wenn dieser sich auf der selben Netzhaut befände. In beiden Augen ist dies entgegengesetzt. Befindet sich ein Bildpunkt z. B. vor der Kernebene, so ist sein Bild im linken Auge in Bezug auf den anderen Bildpunkt nach rechts verschoben und im rechten Auge nach links; die Verschiebungsrichtungen sind also nach innen gerichtet. Umgekehrt wäre es bei einem Bildpunkt, der hinter der Bezugsebene liegt. Die Verschiebungsrichtungen wären also nach außen gerichtet (Abbildung 1). Damit die beiden Halbbilder im Gehirn aber auch korrekt zu einem räumlichen Bild der Umgebung verschmolzen werden können, bedarf es zunächst einer motorischen Fusion. Sie kommt durch die Augenmotorik zustande. Um einen (nahen) Gegenstand betrachten zu können, dürfen die beiden Augen nämlich nicht gleichgerichtet sein, sondern müssen in einem Winkel zueinander ausgerichtet werden. Diesen Effekt nennt man *Parallaxe*<sup>4</sup>. Dazu müssen die Augen ihre Stellung konvergieren oder divergieren (*Konvergenz*), bis sie in der Position stehen, die einen optimalen Blick auf den Gegenstand zuläßt. Da dies mit beiden Augen geschieht, handelt es sich hierbei um eine *binokulare* Einstellung des Auges. Außerdem sorgt die Augenmuskulatur dafür, daß das Bild scharf auf der Netzhaut erscheint. Diese *monokulare* Einstellung des Auges, bei der die Linse gedehnt oder gestreckt wird, nennt man *Akkomodation*.



a', b': Bildpunkte auf der Netzhaut  
a, b: Bildpunkte bezogen auf die Kernebene

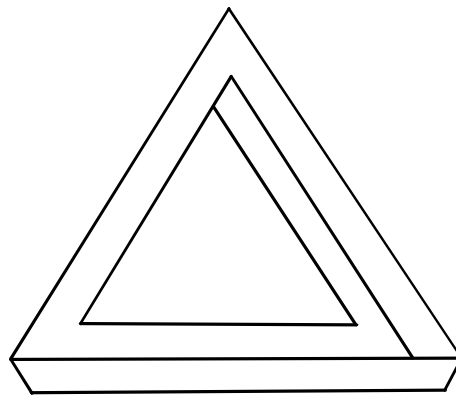
**Abbildung 1**

<sup>3</sup> aus: Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, „Stereoskopisches Sehen“, Verlag Werner Dausien, Hanau/Main, Seite 855 ff (1961)

<sup>4</sup> vgl.: Takanori Okoschi, *Three-Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York San Francisco London, Seite 51 (1976), sowie *Wie geht das*, Heft 55, „Stereoskopie“, Marshall Cavendish Ltd., Seite 1513 (1984)

Es ist nicht nötig, daß die einzelnen Bildteile immer genau auf die korrespondierenden Netzhautstellen fallen. Es genügt vielmehr, daß die Bildkonturen in einem engen Bereich um diese Stellen liegen (*Panumscher<sup>5</sup> Satz*). Ansonsten wäre eine gute Tiefenwahrnehmung auch gar nicht möglich, sonst würde man ja alle Objekte, die nicht in der Kernebene liegen in jedem Fall doppelt gesehen werden. Die elliptische Fläche um jedes Sehelement in den Augen nennt man *Panum-Bereich* und ist horizontal etwas größer als vertikal. Das ergibt sich daraus, daß jeder Netzhautstelle nicht nur mit einer Stelle des anderen Auges korrespondieren kann, sondern mit einer ganzen Schar anderer, die um die entsprechende Stelle herum angeordnet sind. Geht man über diesen Bereich hinaus, können nur noch Doppelbilder wahrgenommen werden. Mit Ihnen ist zwar noch eine beschränkte räumliche Lokalisation der Bildpunkte möglich, aber eine Verschmelzung zu einem plastischen Bild ist nicht mehr möglich<sup>6</sup>.

Das Tiefenempfinden wird noch verstärkt durch bestimmte psychologische Faktoren, die sich durch die Erfahrung ergeben, die jeder Mensch schon früh in seinem Leben macht<sup>7</sup>. Jeder kennt die ungefähren Größen von den meisten Gegenständen, die uns im täglichen Leben umgeben. Sieht man nun einen Gegenstand aus weiter Entfernung, so erscheint er uns kleiner. Mit Hilfe dieser Unterschiede läßt sich die Entfernung ebenfalls bestimmen. Dieser Effekt wird oft bei Trickaufnahmen für Film und Fernsehen verwendet, bei denen man kleine Modelle statt teurer Aufbauten benutzt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Perspektive. Sieht man z. B. die Gebäude in einer Straße immer kleiner werden, so weiß man, daß diese von einem wegführt. Ähnliches gilt für gleichmäßige Muster, dessen Elemente kleiner wirken, wenn sie vom Betrachter weiter entfernt sind. Selbst bei mehreren scheinbar gleich großen Objekten kann man erkennen, wo sie sich befinden, weil das vordere das hintere meist verdeckt oder überlappt. Eine weitere Rolle spielen Schatten und Schattierung. In Zusammenhang mit der Form des Gegenstandes erkennt man nämlich welche Teile der Oberfläche von der Lichtquelle abgewandt sind und kann abschätzen, wie das Objekt im Raum steht. Diese psychologischen Elemente des Tiefenempfindens können aber durch ungewohnte Formen wie in Abbildung 2 getäuscht werden.



**Abbildung 2:** Geometrisch unmöglicher Körper

---

<sup>5</sup> P.L. Panum, (1820-1885)

<sup>6</sup> aus: Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, „Stereoskopisches Sehen“, Verlag Werner Dausien, Hanau/Main, Seite 855 ff (1961)

<sup>7</sup> vgl.: Takanori Okoschi, *Three-Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York San Francisco London, Seite 54 ff (1976)

## 2. Vorgeschichte

### 2.1. Historische Entwicklung

Die psychologischen Elemente des Tiefenempfindens erkannte man bereits in der Antike<sup>8</sup>. Dennoch bemerkten viele der berühmten griechischen Forscher und Wissenschaftler nicht, daß es einen Unterschied zwischen ein- und beidäugigem Sehen gibt. Zwar erkannte Galen (129-179 n. Chr.) schon, daß das Bild, das der Mensch wahrnimmt, durch Verbindung der beiden Netzhautbilder entsteht, wobei die Augen immer gleichgerichtet seien. Er glaubte aber, daß Tiefe nur durch Größenunterschiede empfunden wird, obwohl er selbst erkannt hatte, daß sich die Projektion auf den Augenhintergründen in beiden Augen unterscheiden muß. Auch Claudius Ptolemäus (\* um 100, † nach 160 n. Chr.) wußte dies, glaubte aber, daß das Gehirn die Entfernung direkt anhand der Länge der Sehstrahls zwischen Objekt und Auge bestimmen kann. Lediglich Euklid vermutete 280 n. Chr., daß der Tiefeneindruck durch das gleichzeitige Sehen von zwei verschiedenen Ansichten des gleichen Gegenstandes entsteht<sup>9</sup>. Im Mittelalter und der beginnenden Neuzeit wurde zwar mehr über die den Aufbau und die Funktionsweise von Auge und Sehnerven bekannt, aber in bezug auf die Tiefe hielten sich die Wissenschaftler im Prinzip an die Theorien von Galen und Ptolemäus<sup>10</sup>. Johannes Kepler (1571-1630) hielt den Unterschied der Abbildungen in beiden Augen schlichtweg für zu gering, um für das Tiefenempfinden verantwortlich zu sein. Er führte das Tiefenempfinden, wie auch René Descartes, hauptsächlich darauf zurück, daß das Gehirn die unterschiedliche Stellung der Augäpfel registriert. Die Motorik spielt zwar auch eine Rolle (s. Kap. 1, Seite 7), aber das plastische Sehen wird damit noch nicht vollends erfaßt.

---

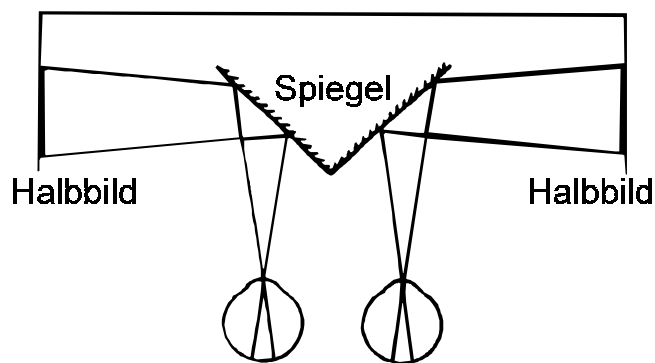
<sup>8</sup> vgl.: Robert A. Crone, „The history of stereoscopy“, *Documenta Ophthalmologica* 81, Seite 1 ff (1992)

<sup>9</sup> vgl.: Takanori Okoschi, *Three-Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York San Francisco London, Seite 8 (1976)

<sup>10</sup> vgl.: Robert A. Crone, „The history of stereoscopy“, *Documenta Ophthalmologica* 81, Seite 6 ff (1992)

## 2.2. Stereoskope

Erst der englische Physiker Charles Wheatstone (1802-1876) beschrieb 1832 die Grundlagen der stereoskopischen Darstellung<sup>11</sup>. Er bewies als erster, daß es genügt, zwei aus verschiedenen Standorten aufgenommene Bilder betrachten, um denselben körperlichen Eindruck zu erhalten, wie beim Anblick eines Gegenstandes. Dazu erfand er 1838 das *Stereoskop* (Abbildung 3)<sup>12</sup>. Das war der Anfang der *Stereoskopie*, die es ermöglicht einen räumlichen Eindruck bei den erst 16 Jahre vorher erfundenen Fotos zu erhalten. Wheatstones Stereoskop besteht aus einem länglichen Kasten, der an einer dem Betrachter zugewandten Längsseite offen ist. Die beiden Halbbilder befinden sich an den Schmalseiten. Sie werden vom Betrachter über zwei zueinander senkrechte Spiegel beobachtet, so daß jedes Auge nur das ihm zukommende Bild sieht. Dadurch ergab sich durch beide Seheindrücke für den Beobachter ein Raumbild des vorher fotografierten Gegenstandes. Die Anordnung ist so ausgerichtet, daß die Bilder genau im Abstand von 65 mm erscheinen<sup>13</sup>. Hierbei handelt es sich um den durchschnittlichen Augenabstand beim Menschen. Die Fotos müssen aus dieser Entfernung aufgenommen und gezeigt werden, damit der Betrachter einen möglichst wirklichkeitsgetreuen Eindruck des aufgenommenen Raumes erhält. Dieses Spiegelstereoskop ist allerdings sehr unpraktisch, weil es ziemlich sperrige Ausmaße hat. Außerdem werden die Bilder an zwei entgegengesetzten Seiten des Kastens angebracht. Dadurch sind sie nur äußerst ungünstig zu justieren, zumal es ja spiegelbildliche Abzüge sein müssen.



**Abbildung 3:** Wheatstone Stereoskop

Eine Weiterentwicklung stellte das *Prismenstereoskop* von David Brewster (1781-1868) dar, das er auf der Weltausstellung 1851 vorstellte und damit aufsehen erregte (Abbildung 4). Er vereinigte beide Halbbilder auf einer frontalparallelen Ebene. Damit man keine zwei Bilder sieht, muß die Blickrichtung der Augen künstlich divergent gemacht werden. Deshalb benutzte er Teile von Linsen, die wie Prismen wirkten. So konnten die Bilder derart betrachtet werden,

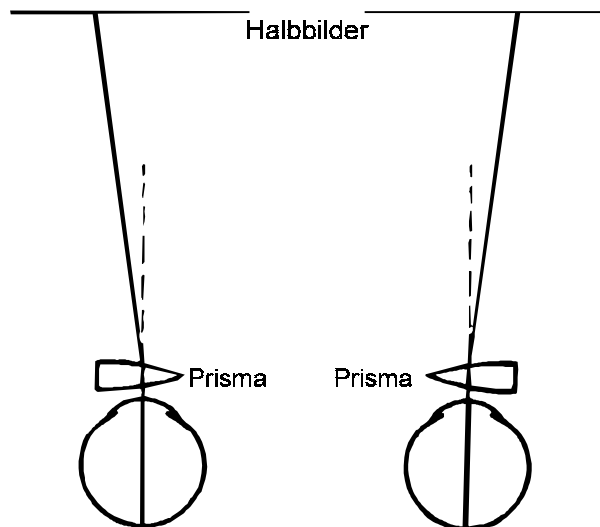
---

<sup>11</sup> aus: *Wie geht das*, Heft 55, „Stereoskopie“, Marshall Cavendish Ltd., Seite 1513 (1984)

<sup>12</sup> aus: Takanori Okoschi, *Three-Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York San Francisco London, Seite 9 ff (1976) sowie Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, „Stereoskopie“, Verlag Werner Dausien, Hanau/Main, Seite 849 f (1961)

<sup>13</sup> Dr. Carl Pulfrich nennt in seinem Werk *Stereoskopisches Sehen und Messen* (Verlag Gustav Fischer Jena, Seite 10 (1911)) **64 mm** als mittleren Augenabstand. Nach Dr. F. Stolze (*Die Stereoskopie und das Stereoskop...*, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle, 1894) sind mittlere Augenabstände zwischen 63 und 68 mm denkbar.

als ob sie auf der selben Stelle liegen würden. Hierfür müssen die Halbbilder im Abstand der optischen Achsen der Linsen befestigt werden.

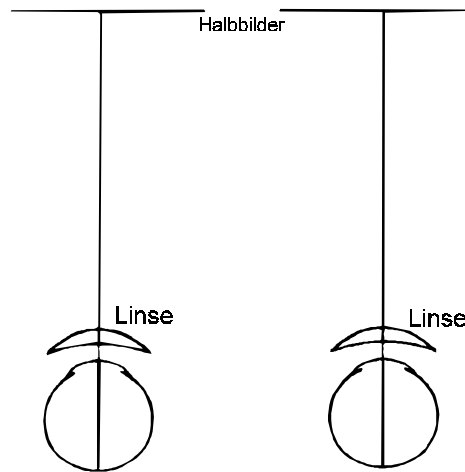


**Abbildung 4:** Prismenstereoskop nach Brewster

Diese Betrachtungsanordnung dieses Prismenstereoskopes läßt aber keine Wiedergabe zu, die dem aufgenommenen Objekt ähnlich ist, sondern verursacht Verzerrungen. Deshalb verwendet man heute statt den Prismen kleine Linsen. Vor den Augen positioniert, lassen Sie es zu, daß man kleine Abbildungen auch bei kleinen Entfernungen zum Gesicht scharf sehen kann. Für die Augen erscheinen jetzt die Bilder in unendlicher Entfernung, so daß die Blicklinien parallel gestellt werden können (Abbildung 5). Der Eindruck erscheint allerdings nicht ganz wirklichkeitsgetreu, da das Gehirn die Augenstellung registriert. Mit Hilfe dieses *Linsenstereoskopes* kann man die beiden Halbbilder direkt im Augenabstand vor den Augen anordnen. Hierzu müssen die Bilder genau in den Brennpunkten der Sammellinsen angeordnet werden. Besser wirken die Bilder allerdings, wenn sie, wie bei Diapositiven von hinten beleuchtet werden. Dieses Verfahren ist recht beliebt, da die *stereoskopischen Betrachter* und die *Stereobilder* relativ einfach herzustellen sind. Sehr beliebt war lange Zeit der *Viewmaster*. Mehrere Stereobilder sind gegenüber in einem Kreis angeordnet. Eine größere Anzahl Bilder kann so betrachtet werden, ohne daß jedesmal der Bildträger gewechselt werden muß; die runde Scheibe kann einfach durch einen Hebel weitergeschaltet werden. Für größere Fotografien wird allerdings eine verbesserte Version des Spiegelstereoskopes verwendet. Damit die Bilder auch auf einer Ebene liegen können und nicht seitlich des Betrachters angebracht werden müssen, verwendet man auf beiden Seiten jeweils noch einen zweiten Spiegel, der die Lichtstrahlen auf die beiden mittleren umleitet. Ein weiterer Vorteil ist hierbei, daß die Stereofotografien keine spiegelbildlichen Abzüge sein müssen und so auch mit bloßem Auge richtig betrachtet und so besser ausgerichtet werden können. Die kleineren, auf einen Bildträger montierten, Halbbilder nennt man auch *Stereogramme* (Abbildung 6). Sie lassen sich auch mit bloßen Augen und ein wenig Übung durch einfaches Schielen betrachten. Zunächst muß das Bild direkt vor die Augen des Betrachters gelegt werden. Der Betrachter versucht dann durch das Bild hindurch zu schauen. Dann versucht er das Bild bis in Leseentfernung von den Augen wegzubewegen und die entsprechenden Bildpunkte miteinander zu verbinden. In neuerer Zeit sind eine besondere Art von Stereogrammen recht bekannt geworden, die sogenannten *Sirds*: Hierbei handelt es sich um größere Bilder mit einem scheinbar zufälligen, sich in Längsstreifen wiederholenden,

Muster. Die Punkte des Grundmusters werden aber jedesmal nach rechts oder links verschoben, falls das zu sehende Objekt vor oder hinter der Kernebene liegen soll. Betrachtet man diese Art von Stereogrammen mit schielenden Augen, indem man gleiche Punkte übereinander zu bringen versucht, so hebt sich vom Hintergrund eine Figur allein durch den Tiefeneindruck ab<sup>14</sup>. Zu sehen ist dies im zweiten Deckblatt, welches vom Autor erstellt wurde.

Bei Stereogrammen, egal, ob sie durch Schielen oder mit Hilfe eines Stereoskops betrachtet werden, entspricht das Sehgefühl nicht dem natürlichen. Die Augen stehen nämlich immer parallel. Für ein natürliches Sehgefühl müßten sich der Winkel zwischen den Augen aber ändern können, um jeweils dem natürlichen zu entsprechen. Dazu müßten die beiden Halbbilder aber übereinander liegen, oder komplizierte Stereoskope gebaut werden, die eine Anpassung der Stellung der Bildträger zulassen<sup>15</sup>.



**Abbildung 5:** Linsenstereoskop

**[Bild: Stereo.jpg]**

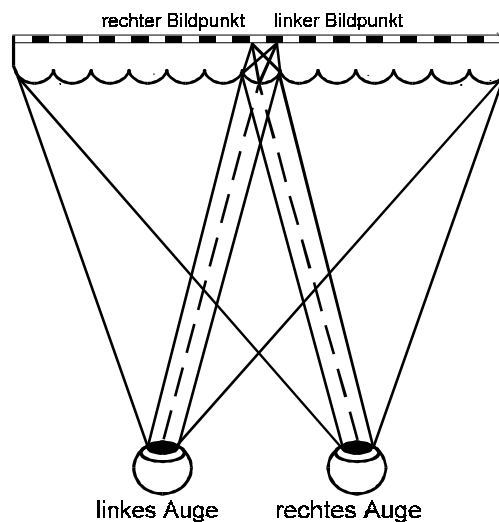
**Abbildung 6:** Stereobildpaar für Linsenstereoskope

<sup>14</sup> aus: Tom Baccei (N.E. Thing Enterprises), *Das Magische Auge*, arsEdition, München, 1993 und Nicolai Schirawski, „Das Geheimnis der 3-D-Bilder“, *P.M.* 8/1994, Gruner + Jahr AG & CO Verlagsgruppe München, Seite 51 ff (1994)

<sup>15</sup> vgl.: Dr. F. Stolze, *Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis*, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle, Seite 14 f (1894)

### 2.3. Linsenraster

So gut der räumliche Eindruck bei Stereoskopen auch ist, sie haben den Nachteil, daß sie immer nur von einer Person benutzt werden können und sehr unhandlich sind. Deshalb kam es schon bald zur Entwicklung eines anderen Verfahrens, das hier nur kurz angesprochen werden soll. Man zerteilt die beiden Halbbilder in sehr kleine Streifen und setzt abwechselnd die Streifen für das rechte und das linke Auge nebeneinander. Legt man nun vor das zusammengesetzte Bild ein vertikales Raster (*Strichraster*), so gibt es jedem Auge nur den entsprechenden Anteil des Halbbildes preis<sup>16</sup>. Eine Weiterentwicklung dieses Verfahren verwendet man bei dreidimensionalen Postkarten, aber auch bei Projektionsflächen für Film oder Dias. Das kombinierte Foto ist mit einer Kunststoffschicht überzogen, die Wellenform haben. Dadurch entsteht eine große Zahl winziger Zylinderlinsen, die zusammen eine sogenannte Fresnellinse bilden (Abbildung 7). Diese sind so ausgerichtet, daß, wie beim Strichraster, wieder jedem Auge sein Halbbild gezeigt wird, da die Augen ja in einem anderen Winkel auf das Blatt sehen. Die Linsen lassen nämlich nur einen kleinen Teil der Vorlage scharf erkennen. Aus der entsprechenden Richtung betrachtet erscheint die ganze Linse mit dem einzelnen Bildpunkt ausgefüllt. Die benötigten Längsstreifen müssen nicht unbedingt „von Hand“ erstellt werden, sondern können auch durch die Belichtung über eine solche Fresnellinse erstellt werden. Genauso kann man zur Wiedergabe auf die Rückseite des Linsenrasters statt einer festen Fotografie entsprechend zusammengestellte Dias und Filme projizieren oder einen Monitor aufstellen. Über solche *Linsenraster* lassen sich dreidimensionale Bilder sehr einfach betrachten, wobei allerdings die Herstellung sehr kompliziert ist. Deshalb eignen sich diese Bilder weniger für private Aufnahmen, sondern eher für Produkte der Andenken- und Werbeindustrie (Siehe Fotos 1 und 2). Denkbar wäre aber auch der Einsatz für Computermonitore und Fernseher.



**Abbildung 7:** Linsenraster

<sup>16</sup> aus: *Wie geht das*, Heft 55, „Stereoskopie“, Marshall Cavendish Ltd., Seite 1513 (1984)

### 3. Dreidimensionale Projektionen

#### 3.1. Diaprojektionen und Kinofilm

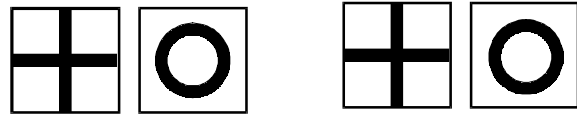
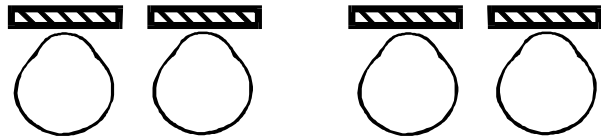
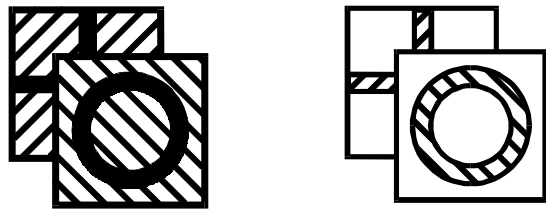
So gut die Bilder bei den oben genannten Verfahren in ihrer plastischen Wirkung auch sind, sie haben den entschiedenen Nachteil, daß sie kaum dafür geeignet sind, Bilder einem größeren Publikum zugänglich zu machen, wie das bei Spielfilmen oder Diavorträgen unbedingt nötig ist. Stereoskope können nicht von mehreren Personen gleichzeitig benutzt werden und das Sehgefühl entspricht wegen der notwendigen Parallelstellung der Augen nicht ganz dem der Wirklichkeit. Außerdem können mit ihnen nicht so ohne weiteres bewegte Bilder dargestellt werden. Hierzu würde eine unverhältnismäßig aufwendige Apparatur aufgebaut werden müssen. Bei Linsenrastern besteht neben dem Problem des aufwendigen Filmstreifens das Problem, daß bei einem größeren Kino mit vielen Sitzplätzen ein optimaler Blick auf die Leinwand nur an bestimmten Plätzen möglich wäre. Sitzt man genau zwischen den Idealpositionen, so erhält jedes Auge genau das falsche Bild und man bekommt einen *pseudoskopischen Eindruck* des Bildes, bei dem sich die Tiefenverhältnisse umdrehen. Außerdem wäre der Aufwand, um diese Leinwand aufzubauen, ziemlich groß.

Deshalb versucht man, die beiden Einzelbilder zu kodieren, damit jedes Auge nur das ihm bestimmte Bild zu sehen bekommt, obwohl sie nur auf eine einzige Leinwand projiziert werden. Das führt auch zu einem wesentlich natürlicherem Sehempfinden, da der Winkel, in dem die Augen zueinander stehen, eher dem der Wirklichkeit entspricht. Dies ist ja bei Stereoskopen ein Problem. Lediglich die monokularen Eigenschaften der Augen werden vernachlässigt, da die Schärfeneinstellung der Augen immer gleich bleibt, egal ob scheinbar ein naher oder weiter Punkt gesehen wird. Die zur Kodierung notwendige *Bildtrennung* geschieht meistens durch optische Filter<sup>17</sup>. Die beiden einzelnen Bilder werden mit zwei Projektoren durch die jeweiligen Filter projiziert. Vor seinen Augen muß der Betrachter nun eine 3D-Brille tragen, auf der die korrespondierenden Filter sitzen. Diese trennen das vermischte Bild auf der Leinwand nun wieder in die beiden Einzelbilder auf, um dann im Auge unterschiedliche Netzhautbilder entstehen zu lassen (Abbildung 8). Diese werden dann im Gehirn zu einem ganzen dreidimensionalen Bild zusammengebaut.

Es gibt nun zwei Grundprinzipien einem Auge sein zugehöriges Bild zu zeigen. Eines funktioniert dermaßen, indem man das falsche Bild abdunkelt und schwarz erscheinen läßt (*additive Methode*), das andere, indem man das andere Bild soweit überleuchtet, so daß es hell erscheint und verblaßt (*subtraktive Methode*).

---

<sup>17</sup> aus: Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, „Bildtrennung“, Verlag Werner Dausien, Hannover/Main, Seite 135 ff (1961)



**additive Methode**

**subtraktive Methode**

**Abbildung 8**

### 3.2. Bildtrennung durch farbige Filter

Das älteste Bildtrennverfahren ist das *Koppelfarbenverfahren*<sup>18</sup>. Hierbei benutzt man zur Unterscheidung der beiden Halbbilder verschiedene Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichtes. Die beiden Halbbilder werden durch komplementär gefärbte Filter, d.h. Filter, die sich gegenseitig auslöschen, projiziert. Der Betrachter erhält eine 3D-Brille, die genauso gefärbt ist. Diese lassen nur das Licht eines bestimmten Wellenlängenbereiches durch und das Auge nimmt so nur das ihm zukommende Bild wahr. Das andere Bild erscheint durch Auslöschung der komplementären Farben jeweils dunkel und wird nicht gesehen. Das entspricht der additiven Methode. Bei einer anderen Methode, dem *Anaglyphverfahren* werden die Halbbilder schon in den beiden Komplementärfarben nebeneinander auf den Film oder Papier aufgebracht (siehe: Abbildung 15 und Anlage). Die Konturen der Bilder, die vorher durch den komplementären Filter projiziert worden waren, erscheinen jetzt dunkel, während die des gleichfarbigen Filters nicht erkannt werden können (subtraktiv).

Beide Verfahren haben den Vorteil, daß die bisherige Standardausrüstung der Kinos weitgehend weiterverwendet werden könnte. Lediglich beim Koppelfarbenverfahren müßte die Anzahl der Projektoren verdoppelt werden, wenn das Vorführen der Filme weiterhin ohne Unterbrechungen gewährleistet bleiben sollte. Außerdem wäre eine Synchronisation der Projektoren notwendig. Beide Geräte und die Betrachter müßten lediglich mit den entsprechenden, recht billigen Filtern ausgerüstet werden. Die bisherige Leinwand kann aber ohne Einschränkungen weiterverwendet werden.

Beim Anaglyphverfahren kommt man sogar mit der gleichen Anzahl Projektoren aus. Die Filme für dieses Verfahren wurden allerdings erst auf einfache Weise produzierbar, als der Farbfilm erfunden wurde. Vorher mußten die Einzelbilder erst in einem komplizierten chemischen Prozeß eingefärbt werden.

Die Filter und die Filmfarben müssen aber genau aufeinander angestimmt werden, um sich gegenseitig auslöschen zu können, da ansonsten unliebsame Doppelbilder erscheinen. Außerdem müssen beide Bilder die gleiche Helligkeit aufweisen, da sonst ein Bild das andere überleuchtet. Natürlich ist die Wiedergabe farbiger Filme mit diesem Verfahren nicht möglich, da ja die Farben des Filmstreifens durch die Filter verändert werden. Diese wäre höchstens durch sehr helle Filter möglich, die keine völlige Auslöschung zulassen. Damit beim Betrachten dann keine bewußten Doppelbilder auftreten, dürften die beiden Bilder nicht zu unterschiedlich sein. Damit nimmt der Stereoskopische Effekt allerdings ab und die Natürlichkeit der Farben leidet darunter<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> aus: Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, „Bildtrennung“, Verlag Werner Dausien, Hahn/Main, Seite 135 ff (1961)

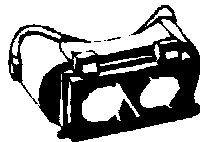
<sup>19</sup> vgl.: J.G., „The Aspex System“, *Image Technology* (April 1988) vol.70, No.4, London (Autor unbekannt)

### **3.3. Bildtrennung durch zeitliche Abfolge der Bilder**

Sehr alt und zunächst einmal ohne optische Filter ist auch der Versuch die Trennung und Zuordnung der Bilder durch zeitliche Abfolge der Halbbilder für rechtes und linkes Auge. Sie werden nacheinander auf der Projektionsleinwand dargeboten. Der Betrachter erhält eine Brille, die synchron mit der Projektion jedem einzelnen Auge abwechselnd die Blickmöglichkeit freigibt oder sie durch Vorschaltung einer Blende behindert und zwar je nachdem, ob gerade das dem betreffenden Auge zukommende Bild, oder das dem anderen Auge zukommende projiziert wird. Der Wechsel der Bilder wird nicht mehr Wahrgenommen, wenn er schnell genug geschieht. Der Nachteil dieses Verfahrens ist allerdings die notwendige Synchronisation zwischen der Betrachterbrille und dem Projektor. Die Brille ist als mechanisches Gerät außerdem sehr aufwendig, obwohl die Miniaturisierung dies schon verbessert hat (Abbildung 9). Da die Bilder aber sehr schnell wechseln müssen, um ein Flimmern zu verhindern, wird der Film durch die höhere Bildanzahl unnötig lang. Man müßte dann schon zwei nochmals synchronisierte Projektoren einsetzen. Diese alte Methode hat man unlängst für das Fernsehen wiederentdeckt und vereinfacht. Die Bedingungen für die testweise Einführung von 3D-Fernsehsendungen waren<sup>20</sup>:

- Die Sendung sollte man mit einem handelsüblichen Fernseher empfangen können.
- Jeder, der keine Brille benutzt, sollte ein normales Fernsehbild sehen können, da das Fernsehen immer auf eine hohe Einschaltquote angewiesen ist. (Das war bei der ersten Raumbildsendung nach dem Anaglyphverfahren des NDR 1982 in der Tat ein Problem<sup>21</sup>.)

Um diesen Voraussetzungen gerecht zu werden, machte man sich einer biologischen Ungenauigkeit des Auges zunutze. Das Auge nimmt nämlich dunkles Licht ein wenig später auf, als helles. Man verwendet also eine Brille, die ein Auge abdunkelt. Außerdem sind diese Brillen noch leicht in Komplementärfarben getönt, um eine Vermischung zu einem normalfarbigen Bild zu erreichen. Die aufnehmende Kamera muß um die zu zeigenden Objekte in einer bestimmten Geschwindigkeit und Richtung herum gefahren werden. Stimmt die Geschwindigkeit, dann erhält das verdunkelte Auge eine andere Ansicht des gleichen Objektes, als das helle Auge, das das Bild direkt sieht (Abbildung 10). Das ist an und für sich mit jeder Fernseh- oder Videokamera möglich. Ein Problem stellt nur die gleichmäßige Bewegung der Aufnahmegeräte dar. Für Testsendungen stellte die Herstellerfirma der entsprechenden Brillen den Sendern eine entsprechende Filmausrüstung zur Verfügung. Aber da das Bild nie stillstehen durfte, ließ diese Technik dem Regisseur relativ wenig Spielraum und stellte für das Aufnahmeteam einen unnötigen Streßfaktor dar. Da ein sich immerzu bewegendes Bild außerdem für den Zuschauer ziemlich unangenehm ist, verschwand diese Technik wieder schnell vom Bildschirm.



**Abbildung 9:** mechanische 3D-Brille

---

<sup>20</sup> aus der ARD-Sendung *Leo's Magazin in 3D* von 4. März 1991

<sup>21</sup> aus der ARD-Sendung *Leo's Magazin* von 25. Februar 1991

**[ Bild: Leos.jpg ]**

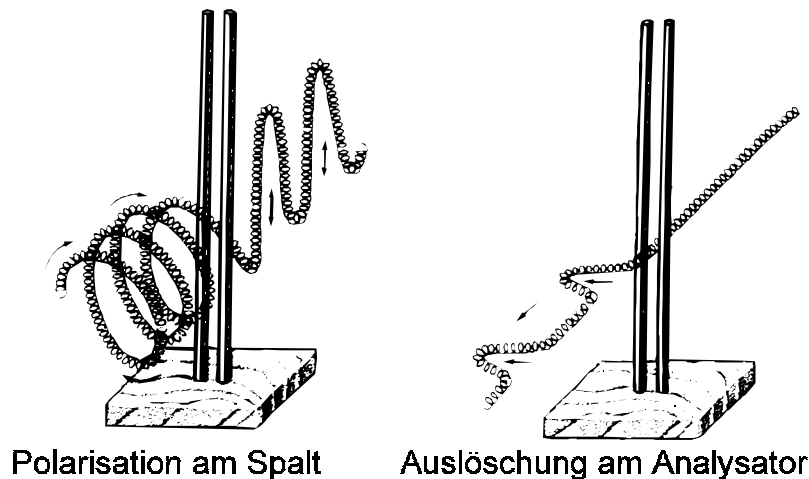
**Abbildung 10:** Hell-dunkel-3D-Brillen zum Fernsehen

### 3.4. Bildtrennung durch Polarisation

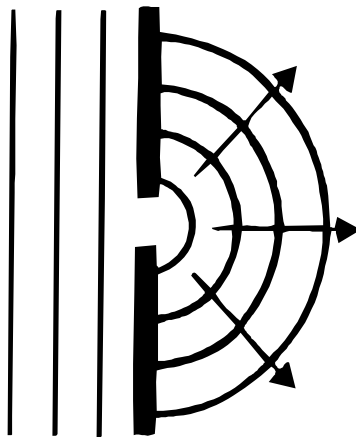
#### 3.4.1. Polarisation

Bei polarisiertem Licht handelt es sich um Licht, dessen Schwingungsvektoren parallel zueinander in einer Schwingungsebene bewegen.

Setzt man das auf mechanische Schwingungen um, so kann man den Lichtstrahl im Modell als Federseil betrachten, mit dem drehende und kreisende Bewegungen ausgeführt werden<sup>22</sup>. Es handelt sich dabei um Transversalwellen, ähnlich wie beim Licht. Führt man diese Wellen durch einen Spalt, den man dann *Polarisator* nennt, so bewegt sich hinter dem Spalt die Feder nur noch parallel zum Spalt weiter. Diesen Vorgang nennt man dann auch *Polarisation*. Führt man diese dann nur noch zu einer Schwingungsebene parallelen Schwingung nochmals durch einen zweiten Spalt (*Analysator*), der wiederum zum ersten senkrecht ist, wird die Welle ganz aufgehoben, so daß sich die Feder nicht mehr bewegt (Abbildung 11).



**Abbildung 11:** mechanisches Modell zu Polarisation



**Abbildung 12:** Beugungserscheinung am Spalt

Überträgt man dieses Verhalten aber auf Lichtwellen, so kann man es nicht einfach durch mehrere winzige Spalte hindurchleiten, da es hier zu Beugungserscheinungen kommt und am

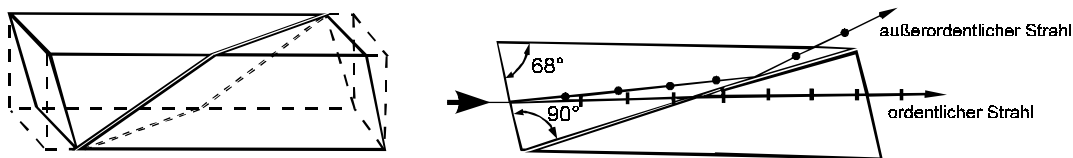
<sup>22</sup> aus: Joachim Grehn (Hrsg.), *Metzler Physik*, J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Ernst Poeschel Verlag GmbH, Stuttgart, S. 213 ff, 318 ff (1992)

Spalt Kreiswellen statt polarisiertem Licht erscheinen würden (*Huygensches Prinzip*, Abbildung 12).

Zur Polarisation von Licht verwendet man vielmehr doppelbrechende Kristalle. Schickt man ein dünnes Lichtbündel durch einen Kalkspat, also einem Kalkkristall, so wird der Strahl in zwei Bündel aufgespalten. Ein Strahl, der *ordentliche*, geht ungebrochen durch, wohingegen der zweite, der *außerordentliche* gebrochen wird. Auf eine Buchseite gelegt, erscheinen durch diese Kristalle die Zeilen doppelt. Die Strahlen sind dabei schon linear polarisiert und zwar genau senkrecht zueinander. Diese Aufspaltung des Lichtes je nach Schwingungsebene nennt man *Doppelbrechung*.

Dies hat Huygens zuerst untersucht. Sie beruht einfach darauf, daß in manchen Körpern, wie nicht kubischen Kristallen oder elastisch verformten Gläsern oder Kunststoffen die Ausbreitungsrichtungen des Lichtes getrennt werden und zwei senkrecht zueinander polarisierte Lichtbewegungen entstehen. Beide besitzen nämlich in solchen Materialien unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten und werden deshalb auch unterschiedlich stark gebrochen. Deswegen kommen die beiden Strahlen an unterschiedlichen Stellen des Kristalls wieder zum Vorschein<sup>23</sup>.

Noch existieren aber beide Schwingungsebenen. Einen Polarisator entwickelte erst der englische Physiker W. Nicol 1828 nach Vorarbeiten von David Brewster (1919) durch einen Trick<sup>24</sup>. Er schleift die Seiten eines gewachsenen Kalkspats auf  $68^\circ$  ab (Abbildung 13). Normalerweise stehen die Seiten nämlich in einem Winkel von  $71^\circ$ . Dann schneidet er den Kristall diagonal durch. Hierbei muß der Kristall allerdings die entsprechende Länge haben, so daß die Schnittflächen mit den abgeschliffenen Flächen senkrecht stehen. Werden danach die Schnittflächen abgeschliffen, poliert und wieder wie ursprünglich zusammengeklebt, so bildet diese Fläche eine Grenzfläche. Jetzt fällt der außerordentliche Strahl genau so auf die Grenzfläche, daß der Einfallswinkel den Grenzwinkel der Totalreflexion überschreitet und an der Kittfläche zur Seite hin abgelenkt und an der Seitenfläche absorbiert. Der ordentliche Strahl hingegen wird lediglich parallel verschoben und bleibt dem Betrachter erhalten, wobei er ein wenig dunkler wird.



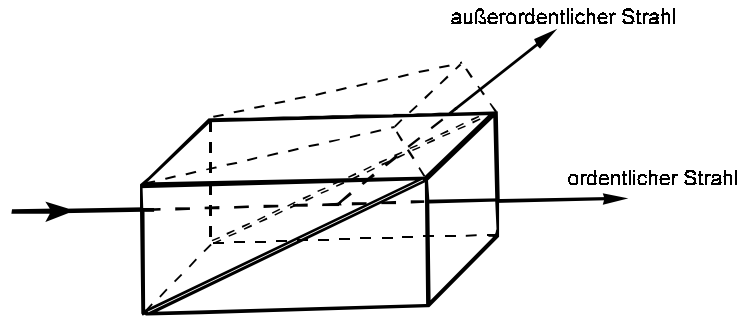
**Abbildung 13:** Nicol'sches Prisma

Durch die ziemlich länglichen Abmessungen und den ungewöhnlichen Winkel des Nicol'schen Prismas ist dieses allerdings sehr unhandlich. Außerdem ist der Strahlengang leicht parallel verschoben, so daß ein betrachtetes Bild beim Drehen des Prismas immer wieder verschoben wird. Deshalb verwendet man heute eher das Polarisationsprisma von P.Glan (1877) und S.P.Thompson (1883). Es hat senkrechte Endflächen und ist so aus dem Kalkkristall geschnit-

<sup>23</sup> vgl.: Godehard Lenzen, *Edelsteinbestimmung mit gemmologischen Geräten*, Verlagsbuchhandlung Elisabeth Lenzen, Kirschweiler, S.41 ff (1984)

<sup>24</sup> aus: Bergmann-Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III, Optik*, Verlag Walter de Gruyter, Berlin und New York, Seite 509 ff (1974)

ten, daß die Kittfläche senkrecht zu einer Seitenfläche steht (Abbildung 14). Der totalreflektierte außerordentliche Strahl kann so über ein zusätzlich aufgeklebtes Glasprisma seitlich austreten. Dadurch entfällt die starke Erwärmung durch die Absorption an der Seitenfläche, die bei starken Lichtquellen auftritt, wie sie bei Projektoren verwendet werden. So wird eine daraus resultierende Trübung des Kittes verhindert.



**Abbildung 14:** Glan-Thompson Prisma

Große plattenförmige Polarisationsfilter (*Polarisationsfolien*) lassen sich künstlich herstellen, indem man kleine Kristallnadeln von Herapothit (Schwefelsaures Jodchinin, das eine sehr starke doppelbrechende Wirkung hat.) in einen Zellulosefilm geordnet einlagert. Eine weitere Möglichkeit der Herstellung von Polarisationsfolien besteht darin, in Zellulosehydratfolie durch Streckung eine Spannungsdoppelbrechung hervorzurufen, und es dann mit Farbstoffen wie z.B. Methylenblau einzufärben, die nach gerichtetem Aufstreichen eine einheitliche Doppelbrechung erreichen.

Stellt man nun zwei solche Filter hintereinander und ordnet sie parallel an, so geht das Licht, das den ersten Filter verläßt, fast ungeschwächt durch den zweiten hindurch. Anders ist es, wenn man den Winkel, in dem sie zueinander stehen, ändert. Der zweite Polarisationsfilter wirkt dann als Analysator und läßt von der Lichtintensität  $I_0$  hinter dem Polarisator nur noch den die Intensität  $I_A = I_0 \cdot \cos^2 \Psi$  durch. Daraus ergibt sich, daß gekreuzte Filter kein Licht durchlassen.

$$I_A = I_0 \cdot \cos^2 \Psi$$

Dabei handelt es sich aber nur um theoretische Werte. Gute Polarisationsfolien lassen aber nur 25-38% in der entsprechenden Richtung durch, in der gekreuzten Stellung liegt die Durchlässigkeit nur bei 0,01%<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> aus: Bergmann-Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III, Optik*, Verlag Walter de Gruyter, Berlin und New York, Seite 509 ff (1974); sowie vgl. Thomas J. Haven, „A liquid-crystal video stereoscope...“, *True Three-Dimensional Imaging Techniques and Display Technologies*, David F. McAllister, Woodrow E. Robbins, Editors, Proc. SPIE 761, Seite 88 (1987)

### 3.4.2. Polarisationsfilter zur Stereoprojektion

Die Verwendung dieser Filter zur stereoskopischen Projektion funktioniert im Prinzip ähnlich, wie das Koppelfarbenverfahren<sup>26</sup>: Vor die beiden Projektoren mit den beiden Halbbildern werden zwei zueinander senkrechte Polarisationsfilter gebracht. Die Zuschauer erhalten die selbe Filteranordnung als Analysatoren in ihrer 3D-Brille. Hier gibt es zum einen die Möglichkeit das Bild, das man dem jeweiligen Auge zeigen möchte, senkrecht zu dem Filter vor dem entsprechenden Auge zu polarisieren. Dann erscheinen die Konturen schwarz. Das Halbbild, das in gleicher Richtung polarisiert wird erscheint dann weiß und kann nicht wahrgenommen werden (subtraktiv, Seite 14).

Verwendet man aber Farbdias, so müssen die Filter vor den Projektoren und die korrespondierenden Analysatoren vor dem entsprechenden Auge parallel stehen. Der Betrachter sieht dann nur die Bilder in gleicher Schwingungsebene (additiv, Seite 14). Das falsche Bild für das andere Auge wird nicht mehr wahrgenommen und erscheint hingegen dunkel, weil der Analysator ja senkrecht dazu steht. Dieses Verfahren läßt sich auch sehr gut zur Projektion von Farbfilmen verwenden, da die Farben des Filmbandes kaum verändert werden. Ein Problem stellt allerdings der relativ große Lichtverlust dar. Das projizierte Bild kann dann nicht mehr so groß eingestellt werden, wie ohne Filter. Bei gleichbleibender Lichtintensität auf der Leinwand und gleich starker Glühbirne könnte das Bild nur noch ungefähr die halbe Fläche einnehmen. Deshalb benötigt man für große Kinos eine stärkere Projektionseinrichtung.

Außerdem kann man keine diffus zurückstrahlende Textilleinwand mehr verwenden, da der Stoff die beiden Halbbilder wieder depolarisiert. Gleiches geschieht bei Kunststoff und den sonst üblichen Materialien. Deshalb braucht man beispielsweise eine matte metallische Oberfläche, also einen Aluminium- oder Silberschirm. Die beiden Projektoren müssen außerdem äußerst genau synchron laufen (Toleranz bei 0,02 sec Abweichung), da sonst der 3D-Effekt verloren geht, weil die beiden Augen Teilbilder von unterschiedlichen Raumbildern sehen. Reißt dann eines der Bänder und müssen Bilder entfernt werden, so muß man den Schnitt bei beiden Filmstreifen vornehmen oder ein genauso langes Leerband einfügen. Man kam auch auf die Idee, ein 3D-Filmsystem mit einem Band zu entwickeln. Bei diesem Einbandsystem werden die beiden Halbbilder nebeneinander oder untereinander angeordnet (Abbildung 15). Die beiden Bilder können besser senkrecht auf dem Streifen angeordnet werden. Bei der Projektion werden diese dann durch Prismen gedreht. Hierbei kommt es in jedem Fall zu einem noch stärkeren Lichtverlust durch die Prismen und die kleineren Bilder. Die Lichtintensität nimmt beim Film am Rand jedes Einzelbildes sowieso schon ab. Teil man das Bild noch, so werden diese Bereich nicht nur größer, sondern sind auf völlig verschiedenen Seiten der beiden Halbbilder, was sich störend auswirken kann (Abbildung 16)<sup>27</sup>. Hier wird deshalb oft 70 mm-Film verwendet.

Dieses Einbandverfahren soll hier nicht weiter erörtert werden, weil es Aufgabe dieser Facharbeit sein soll, ein möglichst einfaches 3D-Projektionsverfahren mit guten Ergebnissen herzustellen und zu untersuchen. Immerhin gibt es für Foto- und Diaapparate einen speziellen Stereovorsatz mit Prismen, die die Aufnahme vom beiden Halbbildern auf ein Diapositive er-

---

<sup>26</sup> aus: Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, „Bildtrennung“, Verlag Werner Dausien, Hannover/Main, Seite 137 (1961)

möglichen. Bei einem entsprechenden Zweibandverfahren ist dies allerdings unnötig, hier müssen nur die Filter vor die Projektionsgeräte gestellt werden.

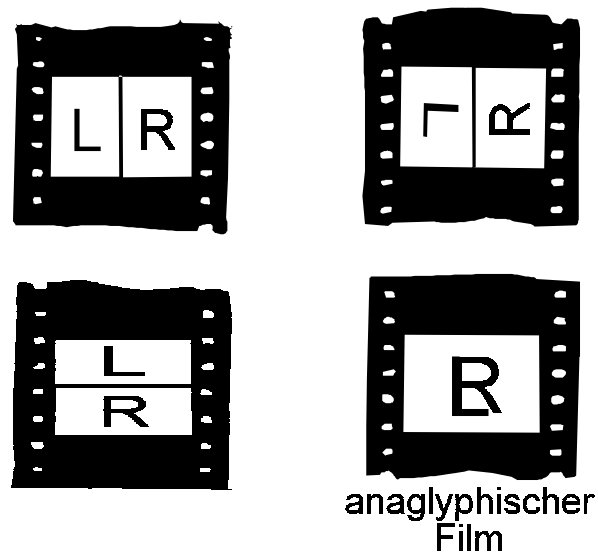


Abbildung 15: Verschiedene Einbandverfahren

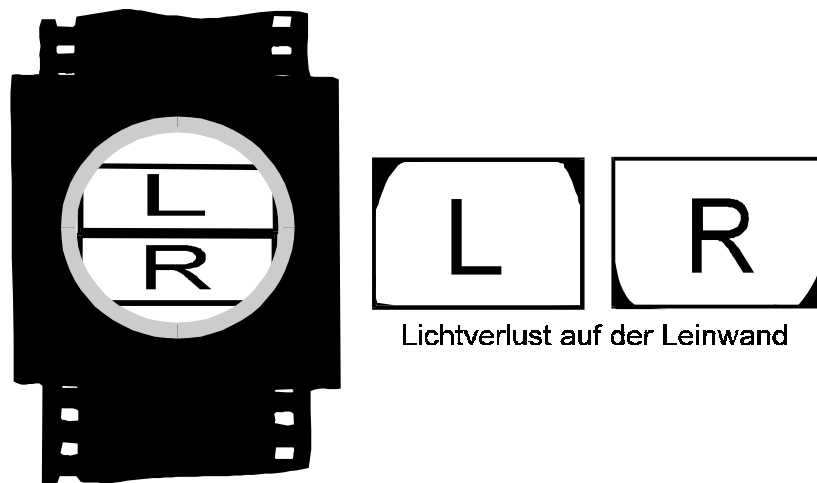


Abbildung 16: Lichtverlust beim Einbandverfahren

<sup>27</sup> vgl. Stephen P. Hines, „Three-Dimensional Cinematography“, *Optics in Entertainment*, Chris Outwater, Editor, Proc. SPIE 462, Seite 44 (1984)

# III. Hauptteil 2:

## Praktischer Teil

### 1. Bau und Untersuchung eines stereoskopischen Projektionsapparates

#### 1.1. Versuchsziele

Nachdem im vorhergehenden Kapitel ausführlich über die stereoskopischen Grundlagen und die Anwendungsmöglichkeiten bei dreidimensionalen Projektionsverfahren berichtet wurde, soll nun im praktischen Teil ein möglichst einfacher Apparat zusammengestellt werden, mit dem gute Ergebnisse erzielt werden können. Außerdem müssen zunächst einmal die entsprechenden Stereobilder aufgenommen werden. Hier soll sich allerdings nur mit Dias beschäftigt werden, da der Aufwand für Filme wegen der notwendigen Synchronisation zu groß wäre und den Rahmen einer Facharbeit schlichtweg sprengen würde. Außerdem kann man an bewegten Bildern keine sinnvollen Messungen anstellen. Um eine bestmögliche Wiedergabe auch von Farbbildern zu ermöglichen, wird hier das Projektionsverfahren mit linearen Polarisationsfiltern verwendet. Ferner muß ein Meßverfahren gefunden werden, mit dem die gesehene Tiefe mit der wirklichen verglichen werden kann.

#### 1.2. Versuchsaufbau

Einen möglichst einfachen Versuchsaufbau erhält man nach dem Zweibandverfahren. Das erste Ziel ist die Aufnahme von mehreren stereoskopischen Testbildern. Die beiden Halbbilder werden einzeln aufgenommen und getrennt als Dias gerahmt. Um einen möglichst wirklichkeitsgetreuen Bildeindruck zu erreichen, müssen die beiden Einzelbilder genau im Abstand von 65 mm aufgenommen werden. Dies entspricht genau dem mittleren Augenabstand beim Menschen. Bei Kindern sind geringere Abstände möglich, bei Erwachsenen sogar weit mehr. Übertreibt man aber den Objektivabstand, wie man es in der Anfangszeit der Stereoskopie im letzten Jahrhundert oft tat, kann es zu starken Tiefenverzerrungen kommen. Die Gegenstände wirken wesentlich tiefer als sie eigentlich sind. Das würde aber der Aufgabe widersprechen, ein möglichst originalgetreues Abbild des Fotografierten zu erstellen<sup>28</sup>.

Die Aufnahme solcher Bilder ist bei stehenden Objekten mit einem einzigen Fotoapparat möglich. Am besten verwendet man eine Spiegelreflexkamera, da diese gute Einstellungen bei Schärfe und Blende zuläßt. Außerdem kann man diese auf einem Stativ befestigen, da die beiden Halbbilder einigermaßen wackelfrei sein sollten. Es ist dabei wichtig, daß weder die Schärfen-, noch die Blendeneinstellung verändert werden. Wenn man Gegenstände fotografiert, die sehr nahe vor der Kamera stehen, wird man in den meisten Fällen den größten Teil des Objektes auf dem zweiten Halbbild nicht mehr sehen können. Deshalb ist es notwendig, die Kamera - ohne sie zu verschieben - wieder soweit in die entsprechende Richtung zurückzudrehen bis man scheinbar wieder den gleichen Bildausschnitt zu sehen bekommt. Das entspricht dem Konjugieren der Augen beim Betrachten eines nahes Gegenstandes. Man erhält dann

---

<sup>28</sup> vgl.: Dr. F. Stolze, *Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis*, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle, Seite 8 (1894)



Als Leinwand kann man allerdings kein Material aus dem Fotogeschäft verwenden, da diese aus Textilien bestehen, die ja die Polarisierung bei einer Reflexion nicht erhalten würden. Deshalb braucht man eine matte metallische Oberfläche, die diffus zurückstrahlen kann. Das einfachste und sehr wirkungsvolle Material, das man hier verwenden kann, ist handelsübliche Haushaltsaluminiumfolie. Sie besitzt eine matte Rückseite, die sehr gut für diesen Zweck geeignet ist. Das einzige Problem besteht im Aufspannen der Folie als Projektionsfläche, da sie sehr dünn ist. Hierzu muß die Folie auf eine feste Fläche gelegt werden und auf deren Rückseite mit Klebestreifen befestigt werden. Außerdem muß unbedingt darauf geachtet werden, daß man das Aluminium nicht mit Fingerabdrücken verschmutzt, da diese sich nachteilig auf die polarisationserhaltende Wirkung der matten Folie auswirken. Die Teilgegenstände des Versuchsaufbaus werden nun nach folgendem Schema aufgestellt und durch eine 3D-Brille betrachtet, die aus den entsprechenden Filtern besteht:

**[ Bild: Aufbau.gif ]**

**Abbildung 18:** Versuchsaufbau zur 3D-Projektion

### **1.3. Messungen**

Der oben aufgezeigte Versuchsaufbau führt beim Einsatz mit den entsprechenden Halbbildern und wenn man die Projektion durch die entsprechenden Polarisationsfilter betrachtet, tatsächlich zu einem guten plastischen Eindruck beim Betrachter. Es ist allerdings nicht ohne weiteres zu erkennen, ob die gesehene Tiefe tatsächlich der der Wirklichkeit entspricht. Deshalb muß noch ein Meßverfahren gefunden werden. Das ist nicht ganz unproblematisch, da es sich hier eigentlich um eine optische Täuschung handelt.

Man könnte also versuchen das gesehene Bild aus dem Gedächtnis mit der Wirklichkeit zu vergleichen, aber dabei gäbe es wohl kaum Ansatzpunkte für nachvollziehbare empirische Messungen, die dann wirklich für die Qualität des 3D-Bildes bürgen könnten.

Eine schon eher zu verwirklichende Möglichkeit bestände darin, Referenzgegenstände, wie kleine Nadelköpfe, dorthin zu stellen, wo man bestimmte Bildpunkte zu erkennen glaubt. Um die Punkte zu untersuchen, die hinter der Projektionsebene liegen, müßte man schon eine halbwegs durchsichtige Projektionsebene haben oder das Bild als Spiegelung an einer Kunststoffscheibe betrachten. Dadurch bleibt die Polarisationsrichtung der beiden Projektoren erhalten. Man kann jetzt Referenzgegenstände aufstellen, die entsprechenden Entfernungen messen und mit der Wirklichkeit vergleichen. Hierbei entsteht allerdings das Problem mangelnder Objektivität beim Betrachter, da es nicht immer möglich ist, die Referenzobjekte den Bildpunkten eindeutig zuzuordnen. Diese Zuordnungen sind nicht kontrollierbar, da jeder Mensch ein wenig anders sieht, allein schon wegen den unterschiedlichen Augenabständen. Auch sind manche Menschen nicht mehr sehr geübt im Konvergieren und Divergieren der Augen, was bei dieser Meßmethode aber unerläßlich ist. Dieses Problem kann auftreten, wenn der Betrachter durch langes Lesen und Starren auf ebene Flächen, wie z.B. Fernseher, auf Zweidimensionalität geprägt wird, obwohl er eigentlich noch plastisch sehen kann.

Besser geeignet wäre also eine Meßmethode, die eine Messung direkt auf der flachen Leinwand mit einem Lineal zuläßt. Hierzu ist es notwendig, wieder zurück zu den stereoskopischen Grundlagen zu gehen. Das Gehirn bestimmt ja die Tiefe hauptsächlich anhand der Unterschiede der Bilder auf den beiden Netzhäuten. Bei einer Stereoprojektion entstehen diese Bilder aber nicht aufgrund eines plastischen Gegenstandes, sondern werden schon durch die beiden Halbbilder vorgegeben. Sie entsprechen jetzt den auf die Kernebene bezogenen Bildpunkte (vgl. Abbildung 1). Ähnlich wie in Abbildung 1 konstruiert sich nun der gesehene Bildpunkt durch die Verbindung der Einzelbildpunkte zu der Projektorenebene (Abbildung 19). Bringt man nun zwei korrespondierende Punkte in der Projektion übereinander, so bildet dieser den Fixationspunkt und die Projektionsebene wird zur Kernebene durch diesen Punkt. Danach ergibt sich folgende Konstruktion:

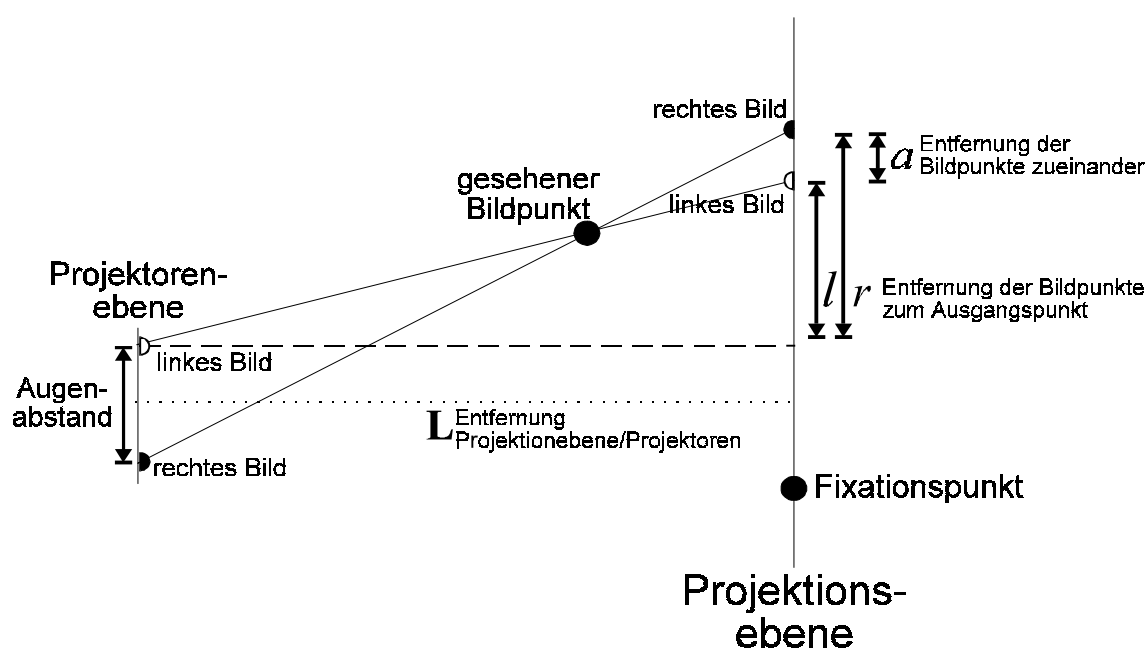


Abbildung 19

Die beiden benutzten Projektoren müßten hierzu ja eigentlich genau im Augenabstand nebeneinander stehen, um Verzerrungen dadurch zu vermeiden, daß die Projektionsfläche nicht mehr senkrecht zum Objektiv steht. In jedem Fall müssen die beiden Dias genau im durchschnittlichen Augenabstand von 65 mm aufgenommen werden.

Nun bestimmt man den Schnittpunkt der beiden Geraden. Da letztendlich nur der Abstand der verschiedenen Ebenen zur Kernebene interessiert, kann man dies zunächst mit zweidimensionalen Gleichungen betrachten:

$$g_l: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1/2 A \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} L \\ l \end{pmatrix}; \quad g_r: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ -1/2 A \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} L \\ r + A \end{pmatrix},$$

### Gleichungen 1

wobei  $A$  für durchschnittlichen Augenabstand steht,  $L$  für die Entfernung zwischen Projektoreneinrichtungen und Schirm, sowie  $l$  und  $r$  für die entsprechenden Entfernungen zu Bildpunkten stehen.

Schneidet man diese Geraden, indem man die Formeln gleichsetzt, ergeben sich folgende lineare Gleichungen:

$$\begin{array}{ll} \text{I:} & 0 + s \cdot L - 0 - t \cdot L = 0 \\ \text{II:} & 1/2 A + s \cdot l + 1/2 A - t \cdot (r + A) = 0 \end{array}$$

### Gleichungen 2

Aus **I** ergibt sich:

$$s = t$$

Und aus **II** ergibt sich:

$$A + s \cdot l - t \cdot (r + A) = 0$$

Mit **I**:

$$A + s \cdot l - s (r + A) = 0 \Rightarrow$$

$$A + s (l - r - A) = 0$$

Daraus ergibt sich:

$$s = \frac{-A}{l - r - A} \Rightarrow$$

$$s = \frac{A}{r - l + A}$$

Nimmt man nun als Abstand die Entfernung der Ebenen zwischen Bildpunkt und Fixationspunkt, so ergibt sich aus der ersten Koordinate in Gleichungen 1 zusammen mit dem Gesamtabstand:

Abstand:

$$d = L - \frac{A}{r - l + A} \cdot L \Rightarrow$$

$$d = \left(1 - \frac{A}{r - l + A}\right) \cdot L$$

Hierbei ist  $r-l$  die Entfernung der beiden korrespondierenden Bildpunkte. Sie wird als positiv abgenommen, wenn der rechte Punkt auf dem Bild links liegt. Dementsprechend wird  $d$  positiv angenommen, wenn der zu sehende Punkt vor der Kernebene liegt. Deswegen kann man  $r-l$  durch ein  $a$  ersetzen, das obigem entsprechen muß und die Formel so vereinfachen:

$$d = \left(1 - \frac{A}{a + A}\right) \cdot L$$

### Gleichung 3

Die Projektion wird nun aber in den seltensten Fällen die gleiche Größe wie der Wirklichkeit haben. Um nun die Tiefe mit der Wirklichkeit vergleichen zu können, muß man in der Kernebene eine bestimmte Breite festlegen, zum Beispiel durch einen Teil eines Lineals. Das Verhältnis dieser Beispielbreite zum errechneten Abstand muß nun in Bild und in der Wirklichkeit übereinstimmen:

$$\frac{d_{Realität}}{B_{Realität}} = \frac{d_{Bild}}{B_{Bild}}$$

### Gleichung 4

Das setzt natürlich voraus, daß die jeweiligen Größen in der Realität bekannt und nachmeßbar sind.

## 1.4. Meßergebnisse

Das erste Fotopaar bildete eine Aufnahme eines Zimmers. Solche Aufnahmen eignen sich besonders gut zum Ausprobieren und demonstrieren, da es ziemlich weit nach hinten geht und so eine große Tiefe besitzen. Außerdem stehen mehrere Gegenstände in verschiedenen Entfernungen zur Aufnahmeebene. Dann werden die Entfernungen zwischen verschiedenen korrespondierenden Punkten gemessen (z.B. Möbelkanten) und die Verhältnisse über eine Beispielbreite mit der Wirklichkeit verglichen. Dazu müssen auch noch die entsprechenden Größen in der Wirklichkeit bestimmt werden.

Aus den Messungen ergibt sich nach Gleichung 3 und Gleichung 4 folgende Tabelle 1 als Versuchsprotokoll:

**Tabelle 1: Messungen an Fotos 4**

$A$ [mm]	$L$ [mm]	$a$ [mm]	$d$ [mm]	$B$ [mm]	$d/B$	$d_{(rel)}$ [mm]	$B_{(rel)}$ [mm]	$d_{(rel)}/B_{(rel)}$ l)	Fehler [%]
65	1250	5,0	89,30	30	2,97	1500	500	3,0	1,00
65	1250	2,0	37,31	30	1,24	650	500	1,3	4,32
65	1250	2,5	46,30	30	1,54	800	500	1,6	3,55
65	1250	4,0	72,46	30	2,42	1200	500	2,4	0,64
65	1250	-2,5	-50,00	30	-1,67	-800	500	-1,6	4,17
65	1250	1,5	28,20	30	0,94	450	500	0,9	4,43
65	1250	2,0	37,31	30	1,24	600	500	1,2	3,65
65	1250	0,5	9,54	30	0,32	150	500	0,3	6,02

Der durchschnittliche Fehler beträgt 3,91%.

Die zweite Meßreihe beschäftigt sich mit einem anderen Ausschnitt des selben Zimmers. Hier boten sich weniger Ansatzpunkte zur Messung:

**Tabelle 2: Messungen an Fotos 5**

$A$ [mm]	$L$ [mm]	$a$ [mm]	$d$ [mm]	$B$ [mm]	$d/B$	$d_{(rel)}$ [mm]	$B_{(rel)}$ [mm]	$d_{(rel)}/B_{(rel)}$	Fehler [%]
65	1350	-7	-162,93	40	-4,07	-1700	400	-4,25	4,16
65	1350	-4	-88,52	40	-2,21	-900	400	-2,25	1,64
65	1350	-5	-112,50	40	-2,81	-1100	400	-2,75	2,27
65	1350	-6	-137,29	40	-3,43	-1300	400	-3,25	5,61

Der Durchschnittsfehler liegt bei 3,22%.

Im Folgenden wurde versucht, die Messungen zu vereinfachen, indem ich ein vielschichtiges Objekt fotografierte, das auf der Leinwand im Maßstab 1:1 dargestellt werden kann. Hierzu wurden mehrere Stecknadeln mit Köpfen in eine Schaumstoffplatte gesteckt. Beim Fotografieren stellte ich in der Kernebene einen genau 2 cm breiten Streifen auf, um später bei der Projektion die richtigen Proportionen herstellen zu können. Bei der Aufnahme wird dann ein Nadelkopf fixiert und scharf gestellt. So erübrigt sich die Umrechnung über eine Beispielbreite:

**Tabelle 3:** Messungen an Fotos 6

$A$ [mm]	$L$ [mm]	$a$ [mm]	$d$ [mm]	$d_{(rel)}$ [mm]	Fehler
65	1700	1	25,76	25	3,03%
65	1700	2	50,75	50	1,49%
65	1700	3,25	80,95	75	7,94%
65	1700	1	25,76	25	3,03%
65	1700	2	50,75	50	1,49%

Der Mittelwert der Fehler ist 2,26%.

Dann wurden an einem weiteren Fotopaar des selben Objektes ebenfalls Messungen vorgenommen. Das Bild zeigt lediglich eine Nahaufnahme des mittleren Bereiches:

**Tabelle 4:** Messungen an Fotos 7

$A$ [mm]	$L$ [mm]	$a$ [mm]	$d$ [mm]	$d_{(rel)}$ [mm]	Fehler
65	1350	1,25	25,47	25	1,89%
65	1350	2,5	50,00	50	0,00%
65	1350	-1,25	-26,47	-25	5,88%
65	1350	-2,25	-48,41	-50	3,19%

Hier liegt der durchschnittliche Fehler bei 2,54%.

Leider können nicht alle Nadeln gemessen werden, da diejenigen, die zu weit von der Kernebene entfernt liegen, hierzu nicht mehr scharf genug sind.

## 2. Fehler und Probleme

### 2.1. Fehlerquellen

Der durchschnittliche Fehler beträgt 2,98%. Das ist ein ganz guter Wert für diesen Versuchsaufbau. Es gibt ein paar Fehlerquellen, die eine relativ kleine Rolle spielen. Die Verschiebung der Kamera kann bei der Aufnahme nicht genau dem Augenabstand entsprechen. Das verursacht eine Verzerrung der Tiefe und so auch der Meßwerte. Diese Distanz ist allerdings mit einem guten Stativ recht gut zu einzuhalten. Auch ist es denkbar, daß die Entfernung Leinwand-Projektor ( $L$ ) nicht korrekt gemessen wurde. Da diese aber proportional in die Formel eingeht, würde bei einer Entfernung zwischen ein und zwei Metern selbst ein Zentimeter Ungenauigkeit lediglich einen Fehler von einem Prozent ergeben.

Der größte Meßfehler wird allerdings am ehesten beim Abmessen der Abstände der korrespondierenden Punkte ( $a$ ) auf der Leinwand entstehen. Hier nimmt die Ablesegenauigkeit ohnehin schon stark ab. Insbesondere bei Bildpunkten, die sehr nahe an der Kernebene liegen, treten schon bei Abweichungen von Zehntelmillimetern Fehler von einigen Prozent auf. Das zeigt die folgende Tabelle:

a [mm]	Fehler bei $a + 0,1$ mm
5	1,82%
2	4,62%
1	8,95%
0,5	16,54%

Deshalb wurden so kleine Abstände auch weitgehend vermieden, da es bestenfalls möglich ist, die Meßwerte auf einen viertel Millimeter genau abzuschätzen. Es ist deswegen auch nicht verwunderlich, weshalb es ein Ergebnis ohne Fehler gibt. In diesem Fall fiel der zu erwartende Wert nämlich zufällig genau auf einen glatten Millimeter.

Dennoch dürfte der relativ geringe Durchschnittsfehler bestätigen, daß dieses Projektionsverfahren eine authentische 3D-Darstellung von Stereobildern ermöglicht. Das Meßverfahren bildet weiterhin eine Ergänzung für die bloße Betrachtung mit den Augen, um dies zu kontrollieren.

## **2.2. Probleme**

Hier sei noch einmal erwähnt, welche Probleme es besonders bei der praktischen Durchführung zu dieser Facharbeit gab. Bei der theoretischen Ausarbeitung gab es anfangs allerdings auch einige Schwierigkeiten. Das lag vor allem daran, daß die benötigte Literatur über viele Themengebiete verstreut war (Optik, Mechanik, Elektrotechnik und Filmtechnik) und meist erst mühsam über Fernleihe besorgt werden mußte. Auch war es manchmal besonders schwer, deutschsprachige Literatur zu erhalten. Dann galt es, eine relativ große Menge an Artikeln zu sichten und geeignetes Material verständlich in dieser Facharbeit zu verarbeiten.

Währenddessen stellten sich im praktischen Teil zunächst kaum Probleme. Da ich den Versuchsaufbau in der Schule aufbaute, war es relativ einfach, zwei halbwegs baugleiche Projektoren zumindestens stundenweise zu bekommen. Die Filterfolien konnten bei einem Fotoladen ohne weiteres bestellt werden. Ein Problem war anfangs auch die Suche nach geeignetem Material für die Projektionsfläche. In der Literatur ist ziemlich verschwommen von Metallschirmen die Rede, wie z.B. dem Messingschirm einer Spinnerei. Es mußte erst ausprobiert werden, daß es auch mit einfacher Aluminiumfolie funktioniert. Erst als der Aufbau mit den Dias komplett war und auch funktionierte, stellte sich die Frage danach, welches Meßverfahren geeignet sei. Die entsprechende Literatur beschäftigte sich allerdings weitgehend nur mit den Aufbauten und nicht mit Messungen. Die oben aufgeführten Formeln mußten also erst hergeleitet werden. Auch die Messungen selbst waren manchmal nicht ganz einfach, da ja nicht immer das ganze Bild scharf aufgenommen ist und so das genaue Bestimmen der Größen erschwert wurde. Das selbe Problem tritt auch bei hellen Bildteilen auf, besonders, weil die Helligkeit durch zwei Bilder ja noch erhöht wird und die Konturen verschwimmen. Die Stellung der Projektoren und der Projektionsfläche darf auch auf keinen Fall verändert werden, da sich sonst auch die Punkte verschieben und die Ergebnisse sich nicht mehr auf die gleiche Kernebene beziehen. Deswegen sollten allzu starke Erschütterungen vermieden werden. Wie obige Fehlerbesprechung zeigt, ist es dennoch nicht vollkommen möglich perfekte Werte zu erhalten. Dennoch sind die Ergebnisse sehr gut brauchbar.

## IV. Schluß

Zum Abschluß möchte ich hier noch einmal feststellen, daß die Meßergebnisse für die Qualität des plastischen Effektes dieses 3D-Verfahrens hinreichend bürden. Den eigentlichen Unterschied zu herkömmlichen Fotografien kann man allerdings nur in der direkten Betrachtung begreifen. Dieses Meßverfahren ist nur eine Hilfe, um das zu rekonstruieren, was das Gehirn vermeintlich vor sich zu haben scheint. Was diese Messungen betraf, war der Aufwand doch etwas größer, als ich zunächst erwartet hatte, vor allem, was das Finden einer geeigneten Meßmethode betraf.

Vielleicht beschäftigen sich ja noch außer den Lehrern, die diese Facharbeit korrigieren, andere hiermit oder sie inspiriert diese ein wenig. Vielleicht dient sie auch ein wenig dazu, etwas Wissen über das große Gebiet der Stereoskopie zu vermitteln und ähnlich schwere Nachschlaggerarbeit zu ersparen, wie ich sie hatte.

Diese Facharbeit zeigte meiner Meinung nach weiterhin, daß die „flache“ Leinwand auch mit recht einfachen Mitteln überwunden werden kann.

## V. Fotos und Anlagen

### 1. Stereoskopische Postkarten

[ **Bild: reh.jpg** ]

**Foto 1:** Linsenrasterpostkarte - Reh im Wald

[ **Bild: cat.jpg** ]

**Foto 2:** Linsenrasterpostkarte - Kätzchen mit Geschenk

## 2. Versuchsaufbau

[ Bild: vers1.jpg ]

**Foto 3a:** Versuchsaufbau

[ Bild: vers2.jpg ]

**Foto 3b:** Versuchsaufbau in Aktion

### **3. Stereoaufnahmen zu den Versuchen**

Abzüge der benutzen Dias:

**[ Bild: foto4a.jpg ]      [ Bild: foto4b.jpg ]**

**Fotos 4 a und b:** Bilderpaar eines Zimmers

**[ Bild: foto5a.jpg ]      [ Bild: foto5b.jpg ]**

**Fotos 5 a und b:** Bilderpaar des selben Zimmers, Nahaufnahme

**[ Bild: foto6a.jpg ]      [ Bild: foto6b.jpg ]**

**Fotos 6 a und b:** Bilderpaar eines Testobjektes

**[ Bild: foto7a.jpg ]      [ Bild: foto7b.jpg ]**

**Fotos 7 a und b:** Bilderpaar eines Testobjektes, Nahaufnahme

#### **4. Anlage:**

*Anaglyphisches Telegramm der TELEKOM*

[ Bild: telekom.jpg ]

# VI. Quellennachweis

Die benutzte Literatur; Seitenzahlen gemäß den Fußnoten:

1. ARD-Sendung *Leo's Magazin in 3D* von 4. März 1991
2. ARD-Sendung *Leo's Magazin* von 25. Februar 1991
3. Tom Baccei (N.E. Thing Enterprises), *Das Magische Auge*, arsEdition, München, 1993
4. Tom Baccei (N.E. Thing Enterprises), *Das Magische Auge II*, arsEdition, München, 1994
5. Bergmann-Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III, Optik*, Verlag Walter de Gruyter, Berlin und New York, 1974
6. Oliver Bialas, Marc Hübner (Hrsg.), *AUD!MAX Juli August 1994*, AUD!MAX Verlag GmbH, Nürnberg, 1994 (Werbung der Firma West)
7. Robert A. Crone, „The history of stereoscopy“, *Documenta Ophthalmologica* 81
8. J. G. (Autor unbekannt), „The Aspex System“, *Image Technology* (April 1988) vol.70, No.4, London
9. Joachim Grehn (Hrsg.), *Metzler Physik*, J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Ernst Poeschel Verlag GmbH, Stuttgart, 1992
10. Thomas J. Haven, „A liquid-crystal video stereoscope...“, *True Three-Dimensional Imaging Techniques and Display Technologies*, David F. McAllister, Woodrow E. Robbins, Editors, Proc. SPIE 761
11. Stephen P. Hines, „Three-Dimensional Cinematography“, *Optics in Entertainment*, Chris Outwater, Editor, Proc. SPIE 462
12. Godehard Lenzen, *Edelsteinbestimmung mit gemmologischen Geräten*, Verlagsbuchhandlung Elisabeth Lenzen, Kirschweiler, 1984
13. John O. Merritt, „Visual-motor realism in 3D teleoperator display systems“, *True Three-Dimensional Imaging Techniques and Display Technologies*, David F. McAllister, Woodrow E. Robbins, Editors, Proc. SPIE 761
14. Karl Mütze (Hrsg.), *ABC der Optik*, Verlag Werner Dausien, Hanau/Main, 1961
15. Takanori Okoschi, *Three-Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York San Francisco London
16. Dr. Carl Pulfrich, *Stereoskopisches Sehen und Messen*, Verlag Gustav Fischer Jena, 1911
17. Nicolai Schirawski, „Das Geheimnis der 3-D-Bilder“, *P.M.* 8/1994, Gruner + Jahr AG & CO Verlagsgruppe München, Seite 51 ff (1994)
18. Dr. F. Stolze, *Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis*, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle, 1894, Seite 14 f
19. B. Richman, T. Delaney u.a., *CINÉMAGIQUE - Featuring „CAPTAIN EO“*, Euro Disneyland, S. 1-3
20. U. Zimmermann-Neufang (Verantwortlich für den Inhalt), *Wie geht das*, Heft 55, Seite 1513, „Stereoskopie“, Marshall Cavendish Ltd., 1984

# **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, daß ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Niederwörresbach, den 22. August 1994

---

Jan Alexander Dreyer