

Rudolf Steiner Schule Basel

Abschlussarbeit

Stereoskopie



Andreas Berchtold

Mentor: Bernd Gerold

2002

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort	5
2.	Einleitung	7
3.	Geschichtliches	
3.1	Entstehung und Entwicklung	9
3.2	Historischer Überblick	15
4.	Sehweisen von Stereogrammen	
4.1	Räumliches Sehen	19
4.2	Betrachtungsweise der Stereogramme.....	24
5.	Arten und Funktionsweisen verschiedener Stereogramme	
5.1	Die verschiedenen Arten.....	30
5.2	Bildstereogramme	33
5.3	Anaglyphen.....	36
5.4	Autostereogramme	41
5.5	Computer und Stereoskopie	48
6.	Räumliches Sehen aus medizinischer Sicht	
6.1	Winkelfehlsgichtigkeit und unser räumliches Sehen.....	52
6.2	Auswirkungen künstlich erzeugter, dreidimensionaler Bilder ...	57
6.3	Risiken bei fehlendem räumlichem Sehen	60
7.	Praktische Arbeit	
7.1	Aufnahme stereoskopischer Bilder	66
7.2	Anaglyphen-Panorama	71
8.	Zukunft der stereoskopischen Darstellung	74
9.	Rückblick über meine Abschlussarbeit	76
10.	Glossar	80
	Literaturverzeichnis	87

1. Vorwort

Von Anfang an war mir klar, dass sich meine Abschlussarbeit um etwas Physisches handeln wird. Meine ersten Gedanken gingen in Richtung des Elektromagnetismus. Als praktische Arbeit zu diesem Thema prüfte ich die Machbarkeit eines Magnetschwebebahnmodels, was sich aber nach wenigen Überlegungen als unerreichbar erwies. Da ich nun keine weitere praktische Arbeit zu diesem Thema mehr wusste, studierte ich an neuen Themen herum. Da mich Licht schon lange faszinierte beschloss ich dann, ohne eine praktische Arbeit zum Thema zu haben, dieses einzureichen. Nun suchte ich Literatur zum Thema Licht. Dies war sehr schwierig, weil ich noch keine Ahnung hatte welches Gebiet ich nehmen sollte. Ich lieh ein Buch in der Universitätsbibliothek aus, in welchem unter anderem die Reflexion, die Brechung und die Polarisation des Lichtes behandelt wird¹. Als ich dies gelesen hatte wusste ich, dass ich mir zuerst an etwas einfacheren Büchern ein Grundwissen aneignen musste. Beim nächsten Buch, sprach mich vor allem der Titel an. Es heisst „QED – Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie“². Es faszinierte mich auch beim Lesen weil es in einer gut verständlichen Art geschrieben ist. Als Hilfe zum Verständnis dieses ebenfalls nicht leicht verständlichen Buches empfahl mir mein Mentor, Herr Gerold, das Buch „Ein Blick ins Licht“ auszuleihen. In diesem Buch entdeckte ich dann das Kapitel über Hologramme, welches ich dann auch schnell gelesen hatte. Hologramme zu entwickeln und zu erstellen ist sehr schwierig und deshalb blätterte ich ein paar Seiten vor dem Kapitel der Hologramme herum. Plötzlich stiess ich auf ein Stereogramm. Ich erinnerte mich, dass ich vor vielen Jahren einmal ein Buch mit nur solchen Stereogrammen zu Gesicht bekommen hatte, nun war der Entscheid zu meiner Themenrichtung in der Abschlussarbeit gefallen. Stereogramme sollten mein Thema werden. Wie auch beim Licht war nicht alles leicht verständlich, weshalb ich mich an mehrere Personen wandte, die mir erfolgreich helfen konnten, meine Fragen zu beantworten.

¹ A. C. S. van Heel / C. H. F. Velzel

„Was ist Licht?“

² Richard P. Feynman

„QED – Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie“

An dieser Stelle möchte ich nun all diesen Personen danken, welche mir in irgendeiner Weise geholfen haben. Das sind im besonderen Herr Bitterli, welcher mir alles bezüglich Optik erklären konnte, Frau Dr. Kestenholz, die mir das Gespräch mit einem ihrer Patienten ermöglichte, der von Geburt auf ein unvollständiges Sehvermögen hatte. Dieser Interviewperson danke ich ebenfalls für die sehr interessanten Schilderungen aus ihrem Leben. Meinem Vater für die Durchsicht des Manuskriptes, Herrn Hetzel für die Gespräche in Bezug auf die Auslegung des Raumes von Goethe, welche ich leider des Umfangs wegen nicht mehr mit einbeziehen konnte, er konnte mir auch eine Adresse für meine lange gesuchten Anaglyphen-Filter nennen.

Im besonderen Danke ich auch meinem Mentor Herrn Gerold, welcher immer wieder gute Denkanstösse bereit hatte und mich das ganze Jahr hervorragend unterstützt hatte.

2. Einleitung

Das Wort „Stereoskopie“ ist allgemein wenig bekannt. Obwohl es der Übertitel vieler weiterer Teilgebiete ist. Darunter sind auch die SI Stereogramme vertreten, welche mit dem Buch „Das Magische Auge“ anfangs der 90er Jahre sehr bekannt wurden. Viele erinnern sich sicher auch an Bilder, welche mit einem gewissen Schielblick zu betrachten sind. Fragt man ältere Personen mögen sich diese vielleicht noch an Stereobilder erinnern, die mit einem Stereoskop betrachtet werden mussten.

Dass viele nur das Buch „Das Magische Auge“ kennen, ist nicht weiter verwunderlich, da dieses Buch weltweit über 20 Millionen mal verkauft wurde. In der „NY Times Bestseller List“ waren die Bücher „Magic Eye“ I, II und III, 34 Wochen ohne Unterbruch vertreten. Insgesamt wurden die Bücher in über 25 Sprachen übersetzt. Auch viele andere solcher Bücher kamen in dieser Zeit auf den Markt.

Die Anziehungskraft solcher Bilder liegt an der Eigenart des heutigen Menschen, er ist nun mal sehr neugierig und Rätselhaftes oder Unerklärliches fasziniert ihn. Aus meiner Sicht ist ein solches Buch auch eine ideale Geschenkidee und lässt sich immer wieder aufs Neue anschauen.

Doch nun zuerst zum Überbegriff „Stereoskopie“. Das Wort „Stereo“ entstammt dem Griechischen und bedeutet soviel wie „körperlich“ oder auch „räumlich“. Stereoskopie heisst demnach räumlich sehen. Die Übertragung des Begriffs „Stereo“ auf die Musik erfolgte erst sehr viel später.

Die Stereoskopie ist vor der Fotografie erfunden worden und hat mit ihr deshalb nur in Bezug auf die Bildstereogramme einen Zusammenhang. Ansonsten sind die Gebiete nicht voneinander abhängig. Vielmehr benötigt die neuere Generation von Stereoskopien Computerprogramme und sogar spezielle Bildschirme zur Darstellung.

Die Stereoskopie darf aber nicht mit dem allgemein gebräuchlichen 3D verwechselt werden. Denn dreidimensionale Schriften auf dem Computer sind nicht automatisch auch stereoskopisch. Man spricht zwar bei stereoskopischen Bildern auch von 3D Effekt oder ähnlichem, es ist aber eine ganz andere Dimension damit gemeint als die perspektivische Ansicht eines Schriftzuges oder Gegenstandes. Eine normale Fotografie ist nicht stereoskopisch, aus diesem Grund nennen Stereofotografen die normalen Fotos auch Flach-

bilder. Die meisten 3D Spiele sind keine stereoskopischen Spiele und basieren ebenfalls nur auf dem Prinzip der Perspektive. Es gibt Ausnahmen, diese sind aber meist gekennzeichnet als stereoskopische Spiele und erfordern auch spezielles Zubehör und Zusatzprogramme für die Grafikkarte des Computers.

Da der Begriff dreidimensional oft falsch gebraucht wird, taucht die Frage auf, was sehen unsere Augen?

Folgefragen sind dann beispielsweise: Wie sehen unsere Augen? Wie können wir Entfernung und Grösse eines Objekts bestimmen?

Bei der Bestimmung der Grösse eines Objekts verlassen wir uns oft auf unseren Erfahrungswert, welcher uns sagt, wie gross ein Objekt zu sein hat. Diesen Erfahrungswert kann man jedoch auch täuschen, indem man optisch alles verkleinert. Diese Methode wird oft bei Filmen eingesetzt, bei welchen Flugzeuge explodieren, Ufos landen oder sonst ein Ereignis dargestellt werden soll, welches nicht wirklich geschehen und gefilmt werden kann. Diese so genannten Miniaturmodelle werden bis ins kleinste Detail gestaltet und möglichst realistisch aufgebaut. Filmt man dann mit einer Kamera nur gerade das Miniaturmodell, so kann der Betrachter nicht mehr unterscheiden zwischen Miniatur und Wirklichkeit. Denn vergleicht nun das Auge beispielsweise das aus Erfahrung 1 Meter grosse Velo mit dem Haus, welches sich im Hintergrund befindet und proportional zum Velo ebenfalls verkleinert wurde, so bekommen wir das Gefühl einer wirklichen Szene.

Ein Gefühl von wirklicher Umgebung wird auch mit stereoskopischen Bildern erreicht. Die 3. Dimension benötigt jedoch, mit wenigen, immer zwei Ausgangsbilder. Teilweise sind auch spezielle Brillen oder anderes Zubehör zur Betrachtung nötig. Weil aber jede Möglichkeit drei-dimensionale Bilder zu erstellen oder anzuschauen mit Aufwand verbunden ist gab es wohl nie einen Durchbruch der Stereoskopie, welcher evtl. sogar die normale Fotografie hätte verdrängen können. Würde man eine simple und billige Methode erfinden stereoskopische Bilder zu erstellen und zu betrachten, wäre die herkömmliche Fotografie innerhalb weniger Jahre verdrängt und vergessen. Dies wird jedoch nicht so bald der Fall sein. Mit einem Computer und entsprechender Software ist es zwar schon recht einfach, stereoskopische Bilder herzustellen und zu betrachten. Die Herausforderung für die Zukunft wird jedoch darin bestehen, ein möglichst flexibles und einfaches System für die Handhabung zu entwickeln.

3. Geschichtliches

3.1 Entstehung und Entwicklung

Der griechische Mathematiker „Euklid“ war einer der Ersten welche sich mit dem räumlichen Sehen auseinandersetzen. Schon im 4. Jh. v. Chr. befass- te er sich mit diesem Thema und veröffentlichte seine Erkenntnisse in den Bänden 11-13 seiner Lehrbücher zur Mathematik und Stereometrie. Er war sich auch über den Zusammenhang des räum- lichen Seheindrucks und den, von beiden Augen übermittelten, Stereohalbabbildern³ bewusst.

Viele meinen, dass die Stereoskopie ein Zweig der Fotografie sei. Dies ist jedoch falsch.

Die Stereoskopie entstand unabhängig von der Fotografie. 1833 beschrieb der englische Physiker Sir Charles Wheatstone zum ersten Mal ein Stereo- skop, ein so genanntes Spiegelstereoskop, welches als Versuchs- und Demonstrationsapparatur verwendet wurde. Am 21.Juni 1833 hält Wheatstone einen Vortrag vor der königlichen Gesellschaft in Lon- don über seine Entdeckung des stereoskopischen Phänomens. Da die Foto- grafie zu dieser Zeit noch nicht erfunden war, arbeitete er mit geometrischen Zeichnungen.

Es existieren jedoch schon ältere gezeichnete Bilder, welche vermutlich den stereoskopischen Effekt darzustellen versuchten.

Ca. 1600 erstellte Jacopo Chimenti da Empoli eine doppelte Tuschezeich- nung, welches als erstes bekanntes Stereogramm betrachtet werden kann. Diese Tuschezeichnung war vermutlich für Johann Baptista Porta entstan- den. Es wird jedoch zum Teil bestritten, dass dies die erste stereoskopische Abbildung sei. Und Manche behaupten diese beiden, beinahe identischen, Bilder seien nur zufällig nebeneinander.



Abb. 1 Charles Wheatstone, Erfinder des Spiegelstereo- skops

³ Siehe Kapitel 4.1 Räumliches Sehen.

Chimenti war auf jeden Fall ein Gelehrter aus Neapel. Er versuchte schon 1593 den 3D-Effekt anhand eines veröffentlichten Buches, zu beweisen.

Sir David Brewster machte sich Ende der 40er Jahre des 19. Jahrhunderts die Fotografie zu nutze. Denn 1839 hatte Mandé Daguerre, ein französischer Maler, die Fotografie erfunden. Brewster erstellte nun nach dem fotografischen Verfahren von Daguerre erste stereoskopische Fotos. Diese Fotos



Abb. 2 Junge auf Stein, Stereohalbbilder von J. Chimenti da Empoli

und Stereogramme nennt man heute noch Daguerreotypien.

Ab 1850 wurde die Stereoskopie immer populärer und es wurden mehrere Firmen gegründet, welche Stereoskope und stereoskopische Fotografien produzierten. Bei dieser Massenherstellung wurde vor allem der Prismenstereoskop-Gerätetyp von Sir David Brewster verwendet. Dieser erfand zwar nicht das Stereoskop, entdeckte aber den dreidimensionalen Effekt an Mustern die sich wiederholen und nur kleine gegenseitige Abweichungen haben. Das so genannte „Amerikanische Stereoskop“ von Oliver Wendell Holmes, welches dieser 1861 entwickelte, fand in Amerika und später in Europa, dank seinem bescheidenen Preis, grosse Verbreitung. Es gab beinahe keinen

Haushalt mehr ohne irgendeine Art Stereoskop. Man konnte ganze Kollektionen von Bildern kaufen. Sehr beliebt waren die Fotos von anderen Ländern und auch von Katastrophen. Aber auch Bilder mit erotischen Motiven waren erhältlich. Ein Vorteil des Amerikanischen Stereoskops gegenüber dem Prismenstereoskop von Brewster war, dass man nicht mehr in einen Kasten hineinschauen musste, sondern, dass man hinausschaute, auf die Halterung wo die beiden Bilder standen (Abb. 3). Dies wurde als eine Art Befreiung angesehen.

1858 erfanden Wilhelm Rollmann und J. Ch. D'Almeida unabhängig voneinander das Anaglyphenverfahren. Die genaue Funktionsweise wird im Kapitel 5.3 dieser Arbeit noch erklärt. M. Skladanowski gab mit seinen "Plastischen Weltbildern" zur Jahrhundertwende dieser Technik einen gewaltigen Populäritätsschub. Im 20. Jahrhundert fanden die 3D-Anaglyphen-Filme vor allem in den 30er und 50er Jahren grosse Verbreitung. Mit dem Aufkommen der Farbfilme und dem Breitleinwandverfahren wurden die dreidimensionalen Anaglyphenfilme jedoch aus dem Kinorepertoire verdrängt.

Von 1860 an versuchte jeder Hersteller von Fotoapparaten auch mindestens ein stereoskopisches Aufnahmegerät anzubieten. Daneben wurde natürlich jede Menge an Zubehör und Anschaungsmaterial verkauft. Schon über eine Million Stereoskope sind zu dieser Zeit in Europa verkauft worden.

Um 1900 beginnt die Zeit der Kleinbildkameras. Sie wurde sowohl bei Fotografen wie auch bei Amateuren schnell beliebt. Das Interesse an der Stereoskopie lässt nach, um gegen Ende des Zweiten Weltkrieges wieder aufzuleben. 1955 wird ein Klassiker dieser Epoche erschaffen. Die „Belplasca“ ist eine Kamera von Carl-Zeiss, welche einzeln oder auch mit dem so genannten „Belplascus“, einem Projektor, welcher sich die Polarisation des Lichtes



Abb. 3 Amerikanisches Stereoskop

zu nutzen macht, zu kaufen war. Die Kamera und der Projektor sind heutzutage heiß begehrte Sammelobjekte (Abb. 4).

1959 entdeckte Dr. Bela Julesz die RandomDot-Stereogramme (RDS). Bei diesen Bildern ist es beinahe unmöglich etwas zu erkennen, ohne das Bild mit einem Schielblick zu betrachten. Mit diesen Stereogrammen gelang es ihm zu beweisen, dass 3-dimensionale Bilder nicht in den Augen, sondern im

Gehirn entstehen.

Einige Quellen behaupten auch, dass das älteste bekannte Zufallspunkt-Stereogramm von Boris Kompaneysky sei und aus dem Jahre 1939 stamme. Auch die Aussage, dass Dr. Bela Julesz 1959 die RD-Stereogramme entdeckte ist in Frage zu stellen. Da teilweise behauptet wird, dass Dr. Christopher Tyler, Mitarbeiter von Julesz am Bell Laboratorium, mit einem Apple-II Computer und der Pro-



Abb. 4 Kamera „Belplasca“ und Projektor „Belplas-cus“ genannt stammen beide von Carl-Zeiss

grammiersprache BASIC, 1979 das RandomDot-Stereogramm entwickelt habe. Doch weiter heißt es, dass dieses RandomDot-Stereogramm unter dem Namen Autostereogramm bekannt wurde. Aus diesem Wirrwarr ist klar zu ersehen, dass sich viele nicht so sicher in der Bezeichnung der Stereogramme sind.

Aber auch über das Jahr wird gestritten, was anhand dieses Artikels zu sehen ist:

“1960 Julesz, B. Binocular depth perception of computer generated patterns. Bell Systems Technical Journal 39, 1125-1162. (First article considering RDSs)”⁴

⁴ Quelle: <http://www.cs.waikato.ac.nz/~singlis/sirds/general.html>

Ich würde sagen es war folgendermassen:

1959 Dr. Bela Julesz erfindet die RandomDot-Stereogramme.

1979 Dr. Christopher Tyler entwickelt das SI-Stereogramm

Die Firma Toshiba wagte 1989 etwas ganz spezielles in Sachen 3D-Video. Sie brachte nämlich den ersten stereoskopischen NTSC-Camcorder in den USA auf den Markt. Über das Betrachtungsverfahren der aufgenommenen Videos ist leider nichts überliefert. Toshiba hat sich kurze Zeit später komplett aus dem Camcorder-Geschäft zurückgezogen.

1990 werden in den USA erstmals Autostereogramme auf der Basis von SI-Stereogrammen verkauft. Diese finden bald auch den Weg nach Europa und erleben bis 1994 eine gewaltige Verbreitung vor allem mit dem Buch „Das Magische Auge“. Auch unzählige Buchzeichen und Karten mit Stereogrammen wurden und werden immer noch angeboten.

Obwohl die Stereoskopie vor der Fotografie entstanden ist, ordnet Jochen Schönfeld die „Abbildung der Realität“ folgendermassen:

„Skizziert man die Geschichte der Medien des 19.Jahrhunders, lassen sich vereinfacht folgende Entwicklungsschritte formulieren:

1. Im Panorama und Diorama wurde die Illusion durch ein gemaltes Bild erreicht.
2. Die Fotografie erschien nicht als Illusion der Realität, sondern als naturgesetzliches und daher wahres Abbild der Realität.
3. Mit der Stereoskopie wurde die dritte Dimension erschlossen.
4. Der Film vermochte schliesslich auch Bewegung darzustellen.“⁵

Bei dieser Betrachtungsweise taucht bei mir einfach die Frage auf, wo ordnet Jochen Schönfeld einen stereoskopischen Film ein. Denn ein solcher Film besitzt die grösste Ähnlichkeit mit der Wirklichkeit welches ein Medium erreichen kann, das die Vergangenheit festhält. Obwohl ich das Datum seiner

⁵ Jochen Schönfeld Magisterarbeit, S. 72

Magisterarbeit nicht kenne ist diese Arbeit neueren Datums (dies ist ersichtlich anhand seines Literaturverzeichnisses). Aus diesem Grund finde ich es schade, dass er diesen Fall in seiner Arbeit nicht berücksichtig hat. Denn es taucht mit der Vollkommenheit dieses Mediums auch automatisch die Frage auf, gibt es ein, der Wirklichkeit näheres Medium als das des stereoskopischen Filmes.

In der Musikwelt ist der Schritt Richtung 3. Dimension schon lange erreicht. Als erstes gab es Monolautsprecher welche nur einen Kanal hatten. Man kann diese Monomusik mit Bildern vergleichen. Als nächstes kam die Stereomusik, welche etwa dem Film entspricht. Denn mit Stereomusik ist es möglich den Eindruck eines vorbeifahrenden Autos zu vermitteln. Die heutigen Surround-Systeme ermöglichen eine noch perfektere Illusion von Wirklichkeit und sind deshalb mit 3D Bildern zu vergleichen. Es wird auch schon von 3D Sound gesprochen, was dies verdeutlicht.

Betrachtet man die Gegenüberstellung Foto-Musik in Bezug auf die Namensgebung, so erscheint alles in einem neuen Licht. Wie schon gesagt, ein Bild entspricht der Monomusik. Folglich gehört zu einem Stereobild die Stereomusik. Wenn nun der Film zum Surround-System gehört, zu was gehört dann der stereoskopische Film? Dies würde ja heissen, dass die Musik, in der Entwicklung, gegenüber dem Visuellen (noch) einen Schritt ~~zuweileckst~~ lässt sich aber das Visuelle auch nicht mit der Musik so direkt vergleichen. Eine Überlegung ist es aber allemal wert.

3.2 Historischer Überblick⁶

Im 4. Jh. v. Chr. befasst sich der griechische Mathematiker "Euklid" mit dem Thema des räumlichen Sehens und veröffentlicht seine Erkenntnisse in den Bänden 11-13 seiner Lehrbücher zur "Mathematik mit der Stereometrie". Schon zu dieser Zeit ist sich Euklid über den Zusammenhang des räumlichen Seheindrucks und den zwei Stereo-halbbildern bewusst.

- 1838 Sir Charles Wheatstone (1802-1875) erfindet die Stereobildpaare und den Stereobetrachter
Am 21.Juni 1838 hält er einen Vortrag vor der königlichen Gesellschaft in London über seine Entdeckung des stereoskopischen Phänomens.
- 1839 Mandé Daguerre, französischer Maler, experimentiert in den 20er Jahren mit der „Camera obscura“, die er um eine mit Sammellinse erweitert. In den 30er Jahren gelingt es ihm, Gegenstände auf lichtempfindliche, mit Joddämpfen behandelte Silberplatten abzubilden, nachdem sie durch Quecksilberdämpfe entwickelt worden waren. Zum Fixieren gebraucht er Kochsalz. 1839 wird das Verfahren von der französischen Regierung der Öffentlichkeit übergeben. Es ist nun möglich drei-dimensionale Fotos zu erstellen. Der Erfinder erhält eine lebenslange Pension von 6000 Francs.
- 1844 Der englische Physiker Sir David Brewster (1781-1868) findet heraus, dass bei der Betrachtung von sich wiederholenden Mustern mit kleinen gegenseitigen Abweichungen drei-dimensionale Effekte gesehen werden können.
- 1849 David Brewster baut seine erst Stereokamera.
- 1851 Auf der Weltausstellung in London 1851 stellt der französische Optiker Jules Dobascq seine Stereoskope der Öffentlichkeit vor. Die Konstruk-

⁶ Quellen: <http://home.wtal.de/schwebin/3d/hist3d.htm>

http://www.traxxdale.de/deutsch/stereogramme_d/geschichte_d/geschichte_d.html

<http://www.stereoskopie.de/Multi.html>

<http://medien.informatik.uni-ulm.de/lehre/courses/ss02/Computergrafik/DagmarPeters.pdf>

<http://www2.inf.fh-rhein-sieg.de/mi/lv/mf/ws00/stud/Mueller.Roland/>

tion beruht auf den Erkenntnissen von Brewster mit denen er Stereo-Daguerreotypien zeigte. Die Publikumsresonanz ist überwältigend. Ganz besonders begeistert sich auch Königin Victoria für die "neue" Art des Sehens. Damit ist der Siegeszug der Stereoskopie nicht mehr aufzuhalten.

- 1852 erscheint die zweite Abhandlung von C. Wheatstone zum Thema Stereoskopie in der er die Vorzüge der Stereoskopie für die Fotografie beschreibt.
- 1855 Der Franzose Barnard erfindet den ersten Stereo-Adapter für Kameras mit nur einem Objektiv.
- 1856 Stereobetrachter werden in größeren Mengen hergestellt
- 1858 Wilhelm Rollmann und J. Ch. D'Almeida erfinden unabhängig voneinander das Anaglyphen-Verfahren.
- 1860 Bereits sind in Europa über eine Million Stereoskope und Unmengen an dazugehörigen Stereokarten verkauft worden. In dieser Zeit versucht auch jeder Hersteller von Kameras ein stereoskopisches Aufnahmegerät in seinem Lieferprogramm anzubieten.
- 1890 William Friese-Green erstellt erste stereoskopische Filmaufnahmen im Hyde-Park.
- 1893 Gründung der Londoner Stereoskopischen Gesellschaft
- 1900 Am Anfang des 20. Jahrhunderts verliert man das Interesse an stereoskopischen Bildern. Die Kleinbildkamera (35mm) findet nun ihre Verbreitung bei Fotografen und Amateuren, so dass ein zunehmendes Angebot an Bildmaterialien vorhanden ist. Dabei gerät die Stereoskopie fast in Vergessenheit. Stereokameras werden zwar weiter verkauft, aber ohne nennenswerten Erfolg.
- 1903 Die Gebrüder Lumière stellen zur Weltausstellung in Paris erste dreidimensionale Kurzfilme vor, welche allerdings nicht auf eine Leinwand projiziert werden können, sondern mit Hilfe eines „Betrachters“ anzusehen sind.
- 1922 Carl Pulfrich entdeckt bei einem Pendelexperiment das nach ihm benannte Phänomen, bei dem durch unterschiedliche Helligkeiten in beiden Augen, die Reize auf neuronaler Ebene zeitversetzt wahrgenommen werden und deshalb ein pseudo-dreidimensionaler Eindruck entsteht.

- Im selben Jahr wird auch der erste anaglyphe Spielfilm, mit dem Titel "The Power of Love", gezeigt. Er spielt vom Abenteuer eines Kapitäns in Kalifornien um 1840.
- 1928 Die „Deutsche Gesellschaft für Stereoskopie“ (DGS) wird gegründet. Diese organisiert jährlich einen Raumbildtag, welcher auch von den Nachbarstaaten rege genutzt wird.
 - 1939 Ältestes bekanntes Zufallspunkt-Stereogramm (RDS) von Boris Kompaneysky.
 - 1948 Dennis Gábor erfindet die Holografie. Dies ist eine Technik zur Speicherung und Wiedergabe von Bildern in dreidimensionaler Struktur. Sie wird in zwei zeitlich voneinander getrennten Schritten, durch kohärentes Licht von Laserstrahlen erzeugt. Ein wesentlicher Vorteil der Holografie ist, dass die Raumwirkung ohne Betrachtungsgerät entsteht. Sie ist "autostereoskopisch".
 - 1955 wird ein Klassiker dieser Epoche geboren. Die "Belplasca" aus dem Hause Carl-Zeiss in Jena wird einzeln oder als komplettes Set mit dem dazugehörigen Projektor "Belplascus" und zwei Polfilterbrillen im Transportkoffer angeboten und verkauft. Diese wird bis in die frühen 60er Jahre produziert. Wegen ihrer hervorragenden Objektive ist sie bis heute eine der begehrtesten Stereokameras und Sammelobjekt. Etwa zur gleichen Zeit gewinnt das Viewmaster-System an Popularität. Dieses besteht aus einer oder mehreren runden Scheiben mit jeweils 7 Stereopaaren. Durch ziehen eines Hebel am Gerät selbst können diese nacheinander angeschaut werden. Dieses System findet weltweite Verbreitung mit Tausenden von Bildserien. Dieses System wird mit dem Image als "Kinderspielzeug" bis Ende der 60er Jahre verkauft.
 - 1959 Dr. Bela Julesz, der „Vater“ der Stereogramme, entdeckt 1959 die RandomDot-Stereogramme (RDS). Er arbeitet mit zwei Zufallspunkt-Raumbildern. Dabei gibt es keine drei-dimensionalen Information auf dem Bild zu sehen, bevor nicht die einzelnen Zufallspunkte in unserem Gehirn zusammengelaufen und verschmolzen sind. Bis anhin glaubte man, dass die stereoskopische Wahrnehmung auf der Netzhaut der beiden Augen stattfindet.
Mit diesen aussergewöhnlichen Experimenten beweist er, dass dreidimensionale Bilder im Gehirn entstehen.

- 1960 Bis in die 70er Jahre sorgen vereinzelte Kinofilme, stereoskopische Magazine oder Bücher die meist im Anaglyphenverfahren hergestellt werden, für kurzfristige Begeisterung.
- 1971 wird der Nobelpreis an den Ingenieur Dr. Dennis Gabor für die Erfindung der Holografie vergeben.
- 1975 Mehrere stereoskopische Landesverbände gründen eine internationale Organisation, die „International Stereoscopic Unionquot“ (ISU). Diese führt im zweijährigen Rhythmus internationale Kongresse durch.
- 1979 C. W. Tylor erstellt das erste Single-Image Random-Dot Stereogramm, auch bekannt als Autostereogramm, basierend auf der Wiederholung zufällig erzeugter Muster. Er benutzt hierzu einen Apple II Computer und die Programmiersprache BASIC.
- 1989 wagt die Firma Toshiba einen Vorstoß in Sachen 3D-Video mit einem stereoskopischen NTSC-Camcorder. Er wird nur kurze Zeit in den USA angeboten. Toshiba zieht sich kurze Zeit später aus dem Camcorder-Geschäft zurück. Über das Betrachtungsverfahren der aufgenommenen Videos ist nichts überliefert.
- 1990 Autostereogramme werden zum ersten Mal in den USA in den Handel gebracht.
In den 90er Jahren dringen die Autostereogramme in die Computerszene vor und sorgen bis 1994 für einen außergewöhnlichen Boom.

4. Sehweisen von Stereogrammen

4.1 Räumliches Sehen

Als erstes die Frage: Wieso können wir eine Distanz mehr oder weniger in unserer Distanzeinheit, dem Meter, abschätzen?

Die Möglichkeit der Distanzeinschätzung hängt beim Menschen mit dem räumlichen Sehen zusammen. Die wichtigste Voraussetzung für das räumliche Sehen ist, dass sich das Sehfeld der beiden Augen überschneidet. Ohne diese Überschneidung wäre räumliches Sehen unmöglich. Eine Distanzabschätzung mit einem Auge ist deshalb für den Menschen nicht optimal möglich.

Beim Chamäleon ist dies ein wenig anders. Sein Gesichtsfeld überschneidet sich kaum, doch es fängt die Fliegen mit einer erstaunlichen Sicherheit, wie wir es niemals könnten. Dies liegt an einer sehr speziellen Methode der Distanzabschätzung. Das Chamäleon kann anhand der Akkommodation die Entfernung ermitteln.

Unter Akkommodation versteht man das Scharfstellen der Augen auf ein bestimmtes Objekt. Zieht sich der Akkommodationsmuskel zusammen, werden die Fasern, an denen die Linse befestigt ist, schlaffer und die Linse kann sich durch ihre Eigenelastizität so verformen, dass das Bild auf die Netzhaut zu liegen kommt. Wir haben jedoch nicht die nötige Übung, welche eine Ermittlung der Distanz anhand der Akkommodation zulassen würde.

Es gibt aber noch verschiedene andere Methoden zur Einschätzung von Entfernungen. Eine Methode ist die Bewegungsparallaktoskopie, sie spielt bei der räumlichen Wahrnehmung eine sehr grosse Rolle. Mit der Bewegungsparallaxe ist die relative Verschiebung der einzelnen Objekte zueinander gemeint. Bewegen sich zwei Gegenstände in unterschiedlicher Entfernung mir der gleichen Geschwindigkeit in eine Richtung, so bewegt sich der Näherr e scheinbar schneller und verschwindet auch früher aus dem Geschichtsfeld als der Gegenstand weiter weg. Sie kennen sicher den Sternen-Bildschirmschoner eines Computers. Man hat das Gefühl, als würden die Sterne an einem vorbei fliegen. Dieser faszinierende Bildschirmschoner nutzt aber nur gerade die Bewegungsparallaxe und die Zentralperspektive aus.

Bei aktiver Bewegungsparallaxe bewegt man sich selbst. Das klassische Beispiel ist ein fahrender Zug. Sie blicken aus dem Zugfenster. Was sehen Sie? Sie sehen vorbeisausende Bäume vielleicht Häuser oder einfach das weite Feld mit einer Telefonleitung. In jedem Fall bewegen sich die näher liegenden Objekte schneller als die Berge im Hintergrund. Aus dem Unterschied, in welcher Geschwindigkeit sich etwas vorbeibewegt können wir die Distanz abschätzen. Die Bewegungsparallaxe kommt auch in jedem Zeichentrickfilm zum Einsatz. Neben der Zentralperspektive ist dies dort die einzige Möglichkeit um zu zeigen wie weit etwas entfernt ist.

Für Einäugige ist die Bewegungsparallaxe eine der wenigen Tiefeninformationen welche sie bekommen. Für Normalsichtige hilft die Bewegungsparallaxe nur bei sich sehr schnell vorbeibewegenden Objekten, weil die Stereoverzögerung im Gehirn dann zu lang ist um ein klares räumliches Bild zu erhalten.

Als Stereoverzögerung ist die Zeit definiert, welche vergeht bis man ein Objekt dreidimensional wahrnimmt. Sieht man ein Objekt nur sehr kurz kann man die Distanz kaum richtig abschätzen. Diese Zeit kann von Mensch zu Mensch verschieden sein. Vor allem bei Menschen mit unexakter Fixation (so genanntem verstecktem Schielen oder einer grösseren Winkelfehlsichtigkeit). Auch bei Menschen, bei denen das eine Auge weniger gut sieht als das andere, ist die Stereoverzögerung oft grösser. In extremen Fällen beträgt die Stereoverzögerung über 15 Sekunden! Das heisst diese Person muss einen Gegenstand 15 Sekunden betrachten bis er räumlich wird.

Für Einäugige oder Personen welche über kein normales Stereosehen verfügen, gibt es außer der Bewegungsparallaxe noch drei weitere Tiefeninformationen. Zum einen, die schon erwähnte Zentralperspektive zum anderen die Luftperspektive. Mit Luftperspektive ist die Trübung weit entfernter Objekte, welche durch die unreine Luft erzeugt wird, gemeint. Ein oft wichtiges Kriterium zu Raumbeurteilung ist die Verdeckung der Gegenstände. Steht ein Objekt vor einem anderen, so wird das Hintere vom Vorderen teil-

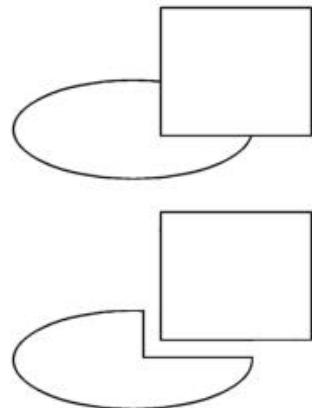


Abb. 5 Verdeckung von Objekten

weise verdeckt (Abb. 5). Ohne diese Verdeckung ist es bei keiner Zeichnung möglich, zu sagen welches Objekt vorne ist.

Das räumliche Sehen basiert also auf mehreren Voraussetzungen. Bei schnellen Bewegungen nutzen wir die Bewegungsparallaxe ansonsten bedienen wir uns der Stereoskopie, resultierend aus den beiden Halbbildern unserer Augen.

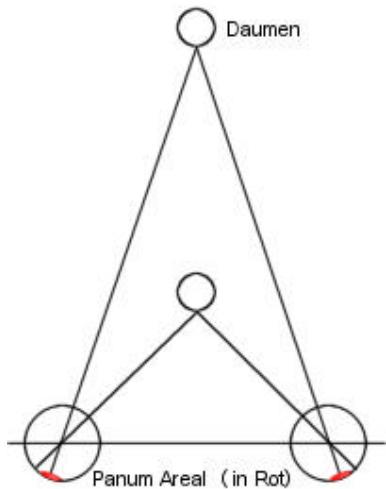


Abb. 6 Einer der Daumen erscheint immer doppelt!

stand vor die Augen, konvergiert auf den Näheren und stellt ihn scharf, so erscheint der Andere doppelt. Das heisst, der Unterschied war zu gross um beiden Objekten eine Entfernung zuzuordnen oder besser gesagt, in ein Verhältnis zu setzen.

In der Zeichnung verkörpern die kleinen Kreise die beiden Daumen und die grossen Kreise die Augen. Die rot markierten Stellen in den Augen stellen den so genannten Panumschen Bereich dar. Dieser Bereich existiert aber nicht real in den Augen, sondern ist ein vom Gehirn festgelegter Wahrnehmungsbereich. Alle Objekte die von beiden Augen gesehen und innerhalb des Panumschen Bereiches abgebildet werden, kann das Gehirn zu einem dreidimensionalen Eindruck verarbeiten. Da sich der Panumbereich normalerweise in einer Ovalen Form um die Fovea centralis (Schärfster Punkt der

Die Voraussetzung für stereoskopisches Sehen ist das Überlappen der von den Augen wahrgenommenen Bilder. Die beiden Bilder welche von den Augen zum Gehirn geleitet werden, müssen also gleiche Objekte enthalten. Da unsere Augen einen Abstand von ca. 65 mm haben stimmen die zwei Bilder des selben Objektes aber nicht genau überein, diese seitliche Verschiebung nennt man auch Querdisparation. Aus diesem geringen Unterschied errechnet dann das Gehirn die Entfernung und wir sehen räumlich.

Hat man nun eine grössere Stereoverzögerung, so dauert dieses „Errechnen“ etwas länger.

Das Gehirn kann aber nicht alles kombinieren. Hält man Beispielsweise beide Daumen wie in Abbildung 6 in unterschiedlichem Ab-

Augen, auch Sehgrube genannt) befindet, kann man auch sagen man soll auf den einen Daumen konvergieren um den anderen doppelt erscheinen zu lassen. Der andere Daumen erscheint deshalb doppelt, weil er nicht mehr auf dem Panumschen Bereich abgebildet werden kann. Er wird nun irgendwo ausserhalb dieses Bereiches abgebildet. Trotzdem ist es möglich, dass man nun auf den doppelten Daumen scharf stellt. Oder zumindest auf einen der doppelten. Haben wir nun auf den entfernteren Daumen konvergiert, sehen den näher liegenden Daumen doppelt und haben auf ihn akkommodiert, so haben wir den Blick, der für Stereogramme nötig ist. Bei einem Stereogramm ist es so, dass man anstatt des näheren Daumens zwei stereoskopische Halbbilder hat die dann übereinander zu liegen kommen, wenn man hinter oder vor der Ebene der Halbbilder einen Punkt fixiert.

Hinter oder vor dem Bild deshalb, weil man auswärts- und einwärts schielen kann. Bei Auswärtsschielen schaut man den entfernteren Daumen an, beim Einwärtsschielen den näheren, akkommodiert aber auf den weiter entfernten. Den auswärtsschielenden Blick nennt man auch Parallelblick, den einwärtsschielenden auch Kreuzblick. Kreuzblick deshalb, weil sich die Blicke bei einem Stereogramm vor der Bildebene kreuzen und gekreuzt auf das Bild auftreffen. Parallelblick kommt daher, da beide Blicke praktisch parallel sind.

Dieses Übereinanderschielen zweier Bilder nennt man allgemein in der Fachsprache Haploskopie. Und ist wie folgt definiert:

Haploskopie DIN 5340 – 172

„Methode der für jedes Auge getrennten simultanen oder sukzessiven Objektdarbietung, die eine gleichzeitige visuelle Wahrnehmung ermöglicht.“

Sukzessive bedeutet, dass die beiden Bilder für je ein Auge nacheinander gezeigt werden, wie beispielsweise bei der Shutterbrillen-Methode⁷.

Simultan wird die gleichzeitige Bildübermittlung an die Augen genannt - die auch schon Wheatstone benutzte - mittels Linsen und Prismen. Dabei müssen die Bilder jedoch nicht unbedingt das gleiche Objekt darstellen, so wie dies bei stereoskopischen Fotos der Fall sein muss. Die simultane Haploskopie dient vielmehr auch zum Testen ob jemand leicht schielt.

Der Untersucher hat hierzu zwei Bilder. Dem einen Auge wird zum Beispiel ein Ball, dem anderen Auge ein Knabe dargeboten. Schaut nun der Kunde

⁷ Siehe Kapitel: 5.5 Computer und Stereoskopie

mit Hilfe von Linsen diese Bilder an, so muss der Knabe den Ball in den Händen halten, ansonsten deutet dies auf eine Schielstellung der Augen hin. Haploskopie ist also der Überbegriff für die getrennte Zuführung zweier Bilder an beide Augen, egal ob die Bilder stereoskopisch sind oder nicht.

Es gibt viele verschiedene Methoden die Welt möglichst naturgetreu abzubilden. Eine der Besten ist die des stereoskopischen Films, weil er so etwa alles in Sachen Dreidimensionalität vermitteln kann. Solche Filme werden ab und zu auch im Fernsehen ausgestrahlt und finden immer grossen Anklang, weil sie Bewegungsparallaxe, Perspektive und das räumliche Sehen enthalten.

Es gibt nur zwei Hindernisse, aufgrund derer sich eine Verbreitung praktisch nicht durchsetzen kann. Das eine ist, man muss sich eine geeignete Brille kaufen um die Filme am Fernsehen auch dreidimensional zu sehen, das andere ist der grosse Herstellungsaufwand, den ein solcher Film erfordert. Jede Szene muss von doppelt so vielen Kameras aufgenommen werden wie bei einem normalen Film. Doch durch das neue Medium Internet, welches in Sachen Leistungsfähigkeit ständig zulegt und auch Filme übermittelt, dürfte eine grosse Hürde vielleicht bald genommen sein.

4.2 Betrachtungsweise der Stereogramme

Stereoskopische Fotografien kann man auf verschiedene Weisen dreidimensional betrachten. Doch das Ziel aller Betrachtungsarten ist dasselbe. Man versucht den beiden Augen zwei verschiedene Fotos zu zeigen, so dass das rechte Auge nur das eine und das linke Auge nur das andere Bild sehen kann. Dabei ist darauf zu achten, dass die Augen das richtige Bild bekommen. Ist dies nicht der Fall und das für das linke Auge bestimmte Bild wird dem rechten Auge zugeführt, so entsteht ein so genanntes „pseudoskopisches“ Bild in unserem Gehirn. Bei diesen Bildern sind alle Tiefeninformationen Umgekehrt, das bedeutet, nahe Objekte scheinen weit weg und entfernte liegen in der Nähe. Hat ein räumliches Bild die richtige Tiefenfolge, so ist es Orthoskopisch.

Allgemein unterscheidet man in der Stereoskopie zwischen zwei Bildtypen. Die einen Bilder benötigen technische Hilfsmittel wie beispielsweise eine Brille, die anderen können ohne jegliche Hilfsmittel betrachtet werden. Bilder welche ohne Hilfsmittel betrachtet werden können nennt man Autostereoskopisch.

Die einfachste Methode zwei stereoskopische Halbbilder ohne Hilfsmittel zu betrachten, ist das Schielen. Es gibt zwei Arten von Schielen. Zum einen das Einwärtschielen und zum andere das Auswärtschielen. In welche Richtung Sie schielen ist abhängig von der Tendenz Ihrer Augen. Schielen Ihre Augen eher gegen aussen dann sind Ihre Augen auf einen Punkt in der Ferne gerichtet. Das bedeutet, dass Sie bei einem Stereogramm durch das Bild „hindurch“ sehen. Das Auswärtschielen wird oft mit Parallelblick bezeichnet, da sich Ihre Augen beinahe parallel ausrichten.

Das Einwärtschielen wird mit Kreuzblick bezeichnet. Das heißtt Ihre Augen fixieren einen Punkt der vor dem Stereogramm ist. Die Blicke der beiden Augen kreuzen sich und gehen weiter bis sie auf das Bild treffen.

Diese beiden Blickarten kann man anhand der beiden Daumen relativ einfach ausprobieren. Halten Sie dazu einfach den linken Daumen in einer Entfernung von 30 cm und den rechten in ca. 50 cm vor das Gesicht. Schauen Sie nun auf den näheren Daumen, so erscheint der Entferntere doppelt. Diesen Blick nennt man Kreuzblick. Schauen Sie nun auf den Entfernteren, so erscheint der Nähere doppelt. Dies ist dann der Parallelblick.

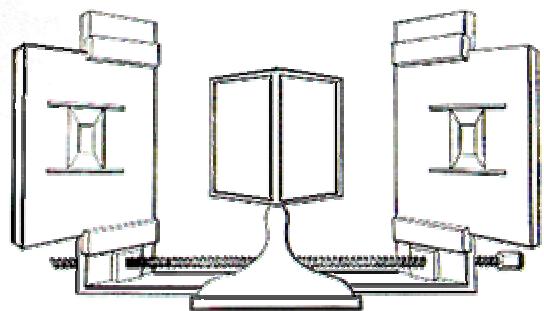


Abb. 7 Erstes Spiegelstereoskop von Charles Wheatstone 1838

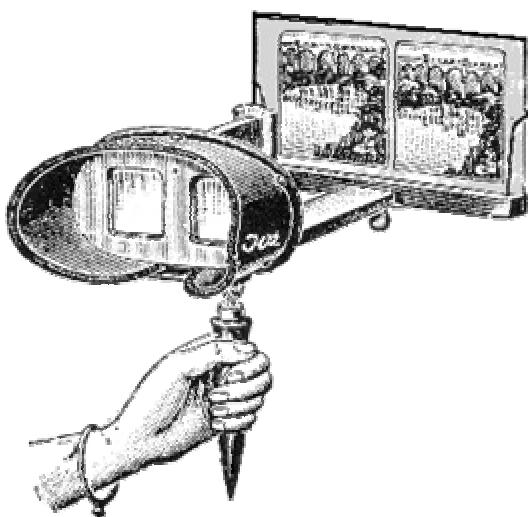


Abb. 8 Holmes-Linsen-Stereoskop Ende des 19. Jahrhunderts

Bei stereoskopischen Halbbildern ist zu berücksichtigen, auf welche Art Sie schielen, um diese in der richtigen Reihenfolge nebeneinander legen zu können. Für eine stereoskopische Fotografie sind immer zwei seitlich verschobene Bilder nötig, sonst kann man ja nichts übereinander schielen. Ein solches Bild nennt man nun Halbbild, weil das andere zum Paar gehörende Halbbild zur Betrachtung ebenfalls nötig ist. Zwei stereoskopische Halbbilder ergeben im Gehirn ein scheinbar räumliches Bild.

Legt man die beiden Halbbilder einer solchen Fotografie nebeneinander auf einen Tisch, so kann man die beiden Halbbilder übereinander schielen.

Stereoskop:

Damit man die beiden Bilder nicht mehr übereinander schielen muss, hat nun schon Wheatstone Stereoskope entwickelt, welche die Sichtachse der Augen automatisch auf das jeweilige Bild lenken. Zum umlenken der Blicke werden entweder Linsen oder Prismen benutzt. Die einen Geräte nennt man Linsen- und die anderen Prismen stereoskope. Stereoskope gibt es auch in anderen Formen. Ein

eher kompliziertes Verfahren ist in Abbildung 7 dargestellt. Der Vorteil dieses sehr alten Systems an Spiegeln liegt darin, dass man relativ grosse Bilder damit mühelos betrachten kann. Bei Stereoskopen wie in Abbildung 8 ist die Grösse des Bildes zum einen durch die Haltevorrichtung und zum anderen durch die Linsen beschränkt.

Das weit verbreitete View-Master-System nutzt zur Betrachtung eine Apparatur in der Gestalt eines Feldstechers. Man muss eine runde Scheibe mit vielen kleinen Bildpaaren hineinstecken und kann dann beim Hndurchsehen das räumliche Bild wahrnehmen. Bei diesem System wird das Bildchen von der Gegenseite des Betrachters beleuchtet. Eine Umlenkung durch Linsen ist hier nicht mehr nötig, aber dafür eine Vergrösserung.

Polarisation:

Eine andere Methode der getrennten Bildzuführung zu den Augen ist die Polarisation. Bei diesem Verfahren, werden mit zwei Projektoren zwei Dias auf dieselbe Leinwand projiziert (Abb. 9). Vor die Linsen der Projektoren werden zusätzlich zwei Polarisationsfolien so befestigt, dass die beiden Polarisationsrichtungen senkrecht zueinander sind (Abb. 9). Diese Folien polarisieren das Licht so, dass man dann mit Hilfe einer Polarisationsbrille die beiden projizierten Bilder wieder einzeln, das heisst für je ein Auge ein Bild, aufnehmen kann. Dieses Verfahren birgt aber sehr viele Probleme. Die Rahmung der Dias muss von Hand vorgenommen werden und zur Betrachtung sind zwei Projektoren nötig und eine spezielle Silberleinwand. Eine normale Leinwand wäre ungeeignet, da sie das polarisierte Licht nicht in der gleichen Richtung reflektieren würde und der Effekt verloren ginge.

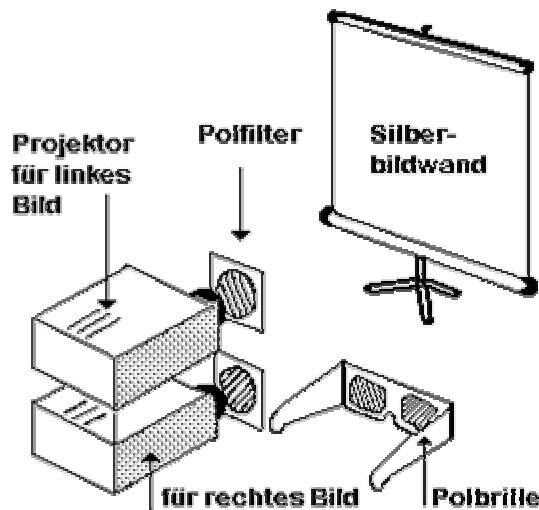


Abb. 9 Polarisationsverfahren

Anaglyphen:

Eine andere Methode, bei welcher ebenfalls beide Halbbilder übereinander gelegt werden, nennt man Anaglyphen. Die Trennung wird hier nicht mit polarisiertem Licht, wie bei der Polarisation, sondern mit Farben erreicht (Abb. 10). Die beiden Halbbilder werden rot bzw. grün eingefärbt und dann aufeinander multipliziert. Dies geschieht mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms auf dem Computer.

Anaglyphen-Bilder betrachtet man mit einer Brille bei welcher das rechte Glas grün und das linke Glas rot gefärbt ist.

Anstatt normalen Grüns wird heute vermehrt auch die Farbe Cyan verwendet, da so in den Bildern Farben wie grün und blau besser erkannt werden können. Teilweise wird auch die Farbe blau als Farbfilter eingesetzt, nur kann man dann die unterschiedlichen Blautöne des Himmels nicht mehr wahrnehmen.



Abb. 10 Dei Fiori, Italien mit grosser Raumtiefe

Computergenerierte Stereogramme:

Die Vorgänger der „Das Magische Auge“ Stereogramme sind die RD-Stereogramme, welche ebenfalls aus zwei Halbbildern bestehen (Abb. 11). Schielt man die beiden Halbbilder übereinander ergibt sich ein räumliches Bild.

Bei SIRD-Stereogrammen kann man nicht sagen, dass sich beide Halbbilder darin überlagert befinden. Diese Stereogramme haben keine Halbbilder (Abb. 12). Sie sind wie auch die RDS vollständig auf dem Computer entstanden und stammen nicht von einer Fotografie. Sie können auch keine Farben darstellen, jedoch Farben enthalten. Das wichtigste bei diesen Bildern ist, dass aus einem Chaos von Punkten oder Mustern beim Betrachten plötzlich ein Gegenstand sichtbar wird.

Man muss zwar schielen um die verborgene 3. Dimension sehen zu können, nur sind bei SIRDS nicht mehr zwei Bilder vorhanden wie bei Anaglyphen, welche das Gehirn einfach übereinander legen kann, sondern das Gehirn muss eine noch grössere Leistung vollbringen und aus einem sich wiederholenden Muster Unregelmässigkeiten erkennen. Anhand dieser Unregelmässigkeiten und Verschiebungen in einem solchen SIRD-Stereogramm kombiniert unser Kopf die räumlichen Informationen und macht sie für den Betrachter sichtbar. Bei SIRDS und SIS muss man mit den Augen so stark schielen, dass die Ansichten beider Augen um genau ein Muster verschoben sind. Zudem ist bei dem Buch „Das Magische Auge“ der Parallelblick erforderlich um die Tiefeninformationen richtig zu erhalten. Betrachtet man sie mit dem Kreuzblick, so entsteht das räumlich negative Abbild des Gegenstandes.

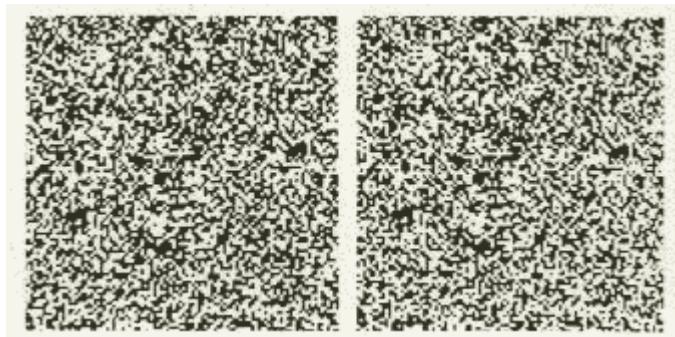


Abb. 11 RDS von Bela Julesz mit quadratischem 3D-Effekt

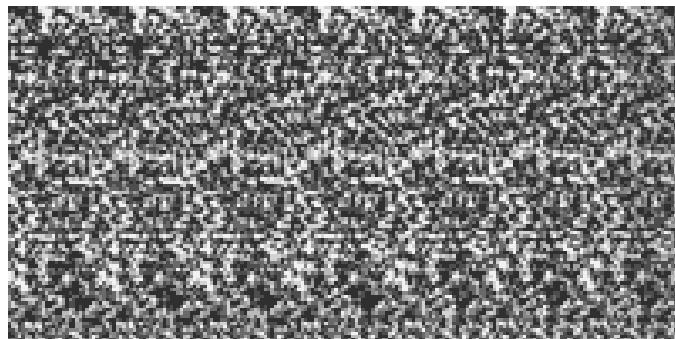


Abb. 12 SIRDS von C. Tyler mit Herz-Motiv

Linsenraster:

Das Linsenraster besteht aus vielen kleinen Linsen die in einer Art dünner Folie direkt auf die dafür präparierten Bilder geklebt wird. Die Bilder unter dem Linsenraster können Fotos aber auch RD-Stereogramme sein.

Linsenraster-Bilder können, wie die SIRD-Stereogramme nur am Computer erstellt werden. Diese Bilder erkennt man an deren gerippten Oberfläche und sind ihnen vielleicht vom Arzt her bekannt. Er benutzt diese Stereogramme zum Testen des räumlichen Sehvermögens. Linsenraster-Stereogramme sind deshalb so geeignet, weil sie autostereoskopisch sind. Das heisst, Sie müssen nicht schielen und brauchen keine technischen Hilfsmittel um diese Bilder zu sehen.

Doch wie ist das möglich?

Optische Linsen haben bekanntlich die Fähigkeit Lichtstrahlen umzulenken. Blickt man aus verschiedenen Richtungen auf eine Linse, so sieht man auch jedes Mal ein anderes Bild darin. Genau dies wird beim Linsenraster ausgenutzt.

Unter dem Linsenraster befinden sich zwei Bilder, welche Streifen für Streifen abwechselungsweise nebeneinander angeordnet sind. Die beiden Halbbilder sind also in viele kleine vertikale Streifen zerschnitten und wieder zusammengesetzt worden. Der unterschiedliche Blickwinkel der beiden Augen und die spezielle Anfertigung reichen nun aus, dass jedes Auge nur ein Bild sehen kann, beziehungsweise die einzelnen Streifen eines Bildes als ganzes wahrnimmt. Die Einzelbilder beider Augen zusammen verschmolzen ergeben im Gehirn den räumlichen Eindruck.

5. Arten und Funktionsweisen verschiedener Stereogramme

5.1 Die verschiedenen Arten

Das erste bekannte Stereogramm stammt von Jacopo Chimenti da Empoli. Er zeichnete mit Tusche zweimal nebeneinander einen Knaben von einem ganz leicht verschobenen Standpunkt. Sehr überzeugend wirkt dieses Bild aber nicht. Chimenti hätte sich besser zuerst an einfachen Gebilden geübt, bevor er ein solches anspruchsvolles Bild in angriff nahm. Manche behaupten sogar, dies sei reiner Zufall, dass er diesen Knaben zweimal nebeneinander gezeichnet hätte. Aus diesem Grund gilt auch Wheatstone als eigentlicher Erfinder der Stereoskopie. Dieser zeigte nämlich an ganz einfachen Körpern, wie zum Beispiel einem Würfel, den stereoskopischen Effekt.

Eine stereoskopische Zeichnung oder Fotografie benötigt, mit einer Ausnahme, der SIRD-Stereogramme, welche Graustufenbilder als Basis haben, zwei Bilder. Das eine Bild ist die Ansicht des rechten Auges das andere die des linken Auges.

Um den stereoskopischen Effekt möglich zu machen, können die beiden Bilder in Komplementärfarben eingefärbt werden (es wird meistens Rot und Grün oder Rot und Cyan verwendet). Danach kopiert man die beiden Bilder übereinander. Mit einer Brille, bei welcher das eine Glas rot und das andere Glas grün ist, sieht nun das eine Auge nur das eine Bild und das andere Auge nur das Andere. Diese Art von Bildern nennt man Anaglyphen. Anaglyph heisst so viel wie reliefartig, ziseliert oder erhaben. Anaglyphen können sowohl aus farbigen als auch aus schwarz-weißen Bildern erstellt werden. Bei farbigen Bildern muss darauf geachtet werden, dass die beiden Komplementärfarben möglichst im Originalbild nicht vorkommen, weil es sonst zu irritierenden Farbeffekten beim Betrachten kommen kann.

Bei Anaglyphen-Bildern verhilft uns die farbige Brille zum Tiefeneffekt. Bei „Random Dot Stereogrammen“, kurz RDS, müssen wir im Gegensatz zu den Anaglyphen-Bildern aktiv schielen um die dritte Dimension zu sehen.

Die beiden Bilder eines RDS bestehen aus lauter Punkten, von welchen einige beim Schielen korrespondieren (zusammentreffen) und so einen 3 dimensionalen Effekt hervorrufen.

Entwickelt wurden diese Bilder von Bela Julesz. Dieser konnte anhand von ihnen beweisen, dass menschliches Tiefensehen im Gehirn entsteht.

Die beiden RDS-Halbbilder kann man aber auch in einem Bild vereinen. Diese haben dann den Namen „Single Image Random Dot Stereogramm“ (SIRDS) und bilden dann einen Spezialfall. Bekannt wurden diese Bilder mit dem Buch "Das Magische Auge"

In einem „Single Image Stereogramm“ (SIS) besteht der Hintergrund aus einem sich wiederholenden Muster. Durch leichte Verschiebung von Teilstücken des Bildes können Partien 3-dimensional hervorgehoben werden. Mit Hilfe von Computern lassen sich sogar konkrete Objekte verschlüsselt abbilden.

Die SIRTS (Single Image Random Text Stereogramm) bestehen nur aus Zeichen und Buchstaben, welche ein raffiniertes Zeichen- und Buchstabemuster ergeben. Der 3D-Effekt ist verblüffend, obwohl das Zeichen die kleinste Einheit dieser Bilder ist. Das bedeutet, nicht jeder Pixel kann vorne oder hinten stehen sondern nur immer ein ganzer Buchstabe oder Zeichen.

Zusammenfassender Überblick:

Eine Deutsche Namensgebung gibt es eigentlich nicht, ich habe die Fremdwörter deshalb wortgemäss übersetzt.

Stereogramm:

Dies ist der Überbegriff aller stereoskopischen Abbildungen. Im Allgemeinen bezeichnet man mit Stereogramm aber vor allem die SIS, RDS, SIRDS, SIRTS und SITS. Ansonsten ist mehr von Stereofotos oder Anaglyphen die Rede.

Anaglyphen:

Setzen sich aus zwei Bildern zusammen, die jeweils eine komplementäre Farbe haben und danach überlagert sind.

RDS:

Random Dot Stereogramm heisst soviel wie Zufallspunktstereogramm. Ein solches Stereogramm setzt sich aus zwei Bildern zusammen.

SIRDS:

Single Image Random Dot Stereogramm heisst auf deutsch etwa Einbildzufallspunktstereogramm. Es besteht nur aus einem Bild.

SIS:

Single Image Stereogramm. Bei diesem Stereogrammtyp wird ein Bild welches sich regelmässig wiederholt als Hintergrund genommen.

SIRTS:

Ein Single Image Random Text Stereogramm besteht, wie der Name schon sagt, aus Text. Wobei der Text selten einen Sinn ergibt, da die Buchstaben und Zeichen oft nur zum erstellen von Mustern genutzt werden.

Anmerkung: Auf Computern müssen Sie in einem Programm erstellt werden, welches jedem Buchstaben den gleichen Platz bereitstellt. Auf Computern mit dem Betriebssystem Microsoft Windows kann man den mitgelieferten Text-Editor benutzen.

SITS:

Single Image Text Stereogramm. Dieser Stereogrammname ist eine Eigenbenennung. Es ist die logische Schlussfolgerung, da SIS und SIRDS auch getrennt werden. Man kann ohne weiteres Stereogramme mit Zeichen erstellen, in welchen die Zeichen zu einem Bild angeordnet werden. Solche Bilder sind ohne zu schielen erkennbar, nur noch nicht räumlich.

5.2 Die Bildstereogramme

Diese Art von Stereogrammen machten sich einige Fotografen zum Hobby. Mittlerweile existieren mehrere Gemeinschaften und ganze Organisationen, welche Tagungen und andere Aktivitäten durchführen. Das Prinzip von Stereofotos (so werden Bildstereogramme auch genannt), ist relativ einfach und es braucht dazu nicht einmal eine spezielle Kamera. Es gibt jedoch einige Modelle, welche extra für stereoskopische Aufnahmen entwickelt oder umgebaut wurden. Ihre Zahl wird leider immer kleiner, da sich der Vertrieb dieser nicht gerade billigen Kameras, im Vergleich zu den Normalen kaum lohnt. Ein Bildstereogramm kann auf verschiedene Arten aufgenommen werden. Die einfachste aber ungenauste ist die Methode mit nur einer Kamera. Man muss die Kamera auf einen ebenen Untergrund stellen, und sie an einer geraden Kante entlang schieben können. Als erstes macht man eine Aufnahme aus der ersten Position der Kamera. Danach verschiebt man die Kamera entlang der Kante um ca. 65 mm, was etwa dem normalen Augenabstand entspricht. Von diesem Punkt aus erstellt man die zweite Aufnahme. Es ist darauf zu achten, dass die Einstellungen der Kamera, bezüglich Distanz und Blende, identisch bleibt. Nun besitzt man, vorausgesetzt man hat alles richtig gemacht, zwei Bilder, welche den stereoskopischen Effekt ergeben.

Zum gleichen Resultat gelangt man, wenn man zwei identische Kameras nebeneinander stellt oder sich eine teure Spezialanfertigung mit zwei Objektiven kauft. Auch erhältlich sind spezielle Vorsätze welche vor das Objektiv geschraubt werden. Diese Vorsätze teilen dann das Foto in zwei Hälften auf. Es befinden sich dann beide Hälften einer Stereoskopie auf demselben Filmabschnitt.

Nun kommt das grössere Problem der Bildstereogramme, nämlich die Beobachtung. Die einfachste Methode ist, man legt die beiden Bilder nebeneinander und fokussiert seine Augen auf eine grössere Distanz, als den Abstand zu den Bildern, ein. So kann man die beiden Bilder im Gehirn übereinander schieben und es entsteht der 3-dimensionale Effekt. Diese Methode ist die Einfachste, da keine weiteren Hilfsmittel zur Beobachtung benötigt werden. Eine andere Möglichkeit ist die Benutzung eines Stereoskops. Ein Stereoskop lenkt mit Linsen die Blicke so um, dass das Schielen nicht mehr nötig ist. Aber auch Prismen- und Spiegelstereoskope sind sehr oft im Gebrauch.

Eine andere Methode zur Betrachtung stereoskopischer Bilder ist die Erstellung zweier Dias. Mit Hilfe von zwei Projektoren, Polarisationsfiltern und Polarisationsbrillen können dann die Bilder auf einer speziellen Silberleinwand betrachtet werden.

Wie sehen wir die Welt?

Der Winkel zwischen der Blickrichtung der beiden Augen wird Konvergenzwinkel genannt (Abb. 13). Für ein Objekt in 25 cm Abstand beträgt der Konvergenzwinkel a ca. 15° . Bei einem Augenabstand von 65 mm beim Menschen, sieht die Rechnung folgendermassen aus:

$$2 \times \tan^{-1} (32.5 \text{ mm} / 250 \text{ mm}) = 15^\circ$$

Bei einem 4 m entfernten Objekt beträgt der Winkel gerade noch ca. 1° . Dieser Sehwinkelunterschied bedeutet, dass das rechte und das linke Auge nicht das identische Bild der Umwelt bekommen. Diesen Unterschied nennt man „binokulare Disparation“. Je weiter nun ein Objekt von den Augen entfernt ist des-

to ähnlicher sind sich die Bilder. Aus diesen minimalen Unterschieden interpretiert dann das Gehirn die räumliche Tiefe. Um eine räumliche Tiefe zu simulieren kann man den Augen zwei leicht seitlich verschobene Aufnahmen zuführen. Dies geschieht am einfachsten, indem die beiden Ansichten nebeneinander gelegt und mit den Augen übereinander geschielten (Abb. 14). Zum Übereinanderschielten fixieren Sie einen Punkt hinter dem Bild und akkommodieren auf das Bild. Dieser Blick wird auch Parallelblick genannt. Auf einmal entsteht ein drittes Bild in der Mitte der beiden Ursprünglichen. Dieses Bild hat dann den stereoskopischen Effekt.

Schielt man auf die Bilder, indem man seine Augen auf einen Punkt fokussiert, welcher vor der Bildebene liegt, so bekommt man den umgekehrten räumlichen Eindruck. Da sich die Augenachsen vor dem Bild kreuzen wird dieser Blick auch Kreuzblick genannt. Dies führt zu einem pseudoskopischen Eindruck, bei manchen Bildern sogar zum Chaos und man sieht überhaupt

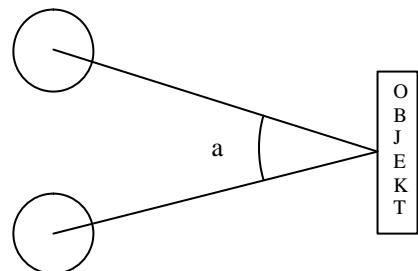


Abb. 13 Konvergenzwinkel a des menschlichen Auges

keine räumliche Tiefe mehr. Das Stereobildpaar (Abb. 14) kann auf beide Arten angesehen werden. Mit Parallelblick scheint das Haus aus dem Bild zu kommen und die Sonne und der rechte Berg nach hinten zu verschwinden. Bei der zweiten Art, dem so genannten Kreuzblick scheint das Haus nach hinten zu gehen und die Sonne nach vorne zu kommen. Dieser Effekt ist anhand des Parallelblicks sehr leicht zu erklären. Da das rechte Auge ein wenig mehr um den Berg sehen kann, habe ich den Berg rechts im rechten Bild etwas nach rechts verschoben und eine kleine Horizontale Linie eingefügt. Die Sonne habe ich ebenfalls etwas nach rechts verschoben, da das rechte Auge die Sonne, gegenüber den Bergen, etwas mehr nach rechts verschoben sieht. Das Haus musste ich, um es nach vorne zu kommen lassen, ein wenig nach links verschieben, da das rechte Auge etwas weiter hinter das Haus schauen kann als das linke. Sehr wichtig in einem solchen Bild ist im-

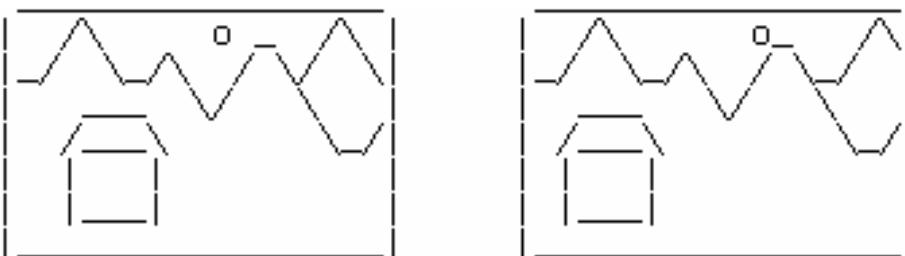


Abb. 14 Einfaches Bildstereogramm

mer der Vergleich. Am besten stellt man das Ganze in einen Rahmen und fügt dann die einzelnen Objekte hinein.

Um einen Gegenstand weiter in den Hintergrund zu verschieben, muss man einfach den Unterschied zwischen beiden Bildern vergrössern. Der räumliche Eindruck wird mit zunehmender Differenz immer stärker. Wären unsere Augen weiter auseinander, hätten wir einen verstärkten Eindruck der räumlichen Tiefe. Das Vergrössern der Unterschiede beider Bilder entspricht einer Auseinanderbewegung beider Augen. Je grösser der Unterschied beider Bilder ist, desto mehr sind die Augen scheinbar auseinander. Bei einer zu grossen Differenz beider Bilder kann das Gehirn diese nicht mehr zur Deckung bringen und sie fallen auseinander.

5.3 Anaglyphen

Anaglyphen-Comics kennt selten jemand unter diesem Namen, aber die rot-grünen Comics waren noch vor nicht all zu langer Zeit ein Renner. Diese Comic-Art konnte aber nicht lange bestehen, weil sie meistens nur schwarz-weiss waren, und eine Brille erforderten. Auch das Erstellen solcher Comics ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden.

Die Anaglyphen-Technik ist im Grunde genommen eine sehr praktische Anwendung der Stereoskopie. Der einzige Nachteil besteht darin, dass farbige Bilder schwierig zu erstellen sind, da auch Farben gleichzeitig zur Trennung eingesetzt werden. Trotzdem werden solche Bilder oft angewendet. Ein gutes Beispiel ist die Topografie. Es gibt verschiedenste Unternehmen, welche

auf die Anaglyphen-Technik setzen. Die Farbe spielt bei Landkarten eine kleinere Rolle. Erstellt werden solche 3 dimensionale Fotografien von Städten oder Ländern mit Hilfe von Satelliten. Diese fotografieren das Gebiet welches sie überfliegen zweimal kurz hintereinander mit einer genau festgelegten Zeitdifferenz. Diese beiden Bilder sind dann wie die

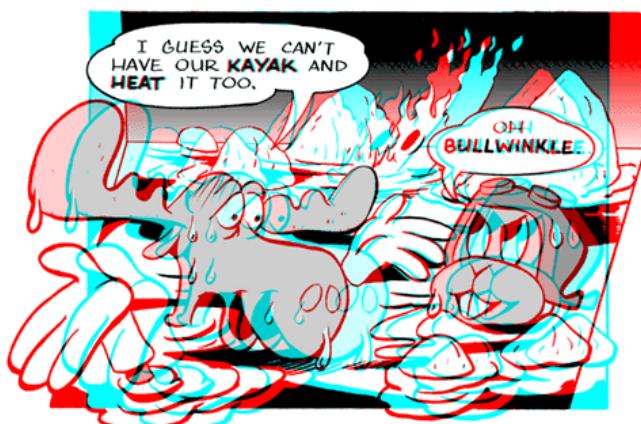


Abb. 15 Anaglyphen-Comic

Ansicht zweier Augen. Weil sich die Satelliten aber hoch über der Erde befinden ist deren Positionsunterschied, zwischen denen die Bilder geschossen werden, nicht so klein wie der Augenabstand, sondern viel grösser. Vom All aus sehen wir die Erde als glatte Kugel und nicht als hügeligen Ball. Da der Satellit rasch fliegt wird die Distanz der beiden Bilder grösser, sodass der stereoskopische Effekt sichtbar wird.

Der Vorteil von Anaglyphen liegt darin, dass man seine Augen nicht verdrehen muss. In einem Anaglyphen-Bild wird alles vereinigt und man braucht zur Betrachtung nur eine Brille mit einem roten und einem grünen Filter. Betrachtet man so das Bild, so wird für das Auge mit dem roten Filter, der grüne Bereich des Bildes dunkel und der rote hell. Beim anderen Auge verhält es sich genau umgekehrt.

Nimmt man das Phänomen von dunkel und hell auseinander wird es etwas komplizierter. Wie Sie sicher selbst schon beobachtet haben, sieht man im Dunkeln praktisch nichts. In der Dämmerung sind Farben schwer erkennbar und das Auge registriert vor allem Grautöne. Die so genannten Zäpfchen in unseren Augen sind für die Farbbestimmung zuständig. Auf ein solches Zäpfchen kommen durchschnittlich 18 Stäbchen, welche für hell und dunkel verantwortlich sind. Die Zäpfchen sind weniger lichtempfindlich, weshalb wir abends oft nur noch hell und dunkel wahrnehmen.

Für die Betrachtung von Anaglyphen-Bildern ist wegen der abdunkelnden Brille eine ausreichend helle Beleuchtung nötig um einen ausreichenden Bild-Kontrast zu haben.

Weisse Flächen auf weissem Papier reflektieren die gesamte Farbenskala des Lichtes. Diese Flächen bleiben weiss. Die rote Farbe des Anaglyphen-Bildes absorbiert alle Farben der Lichtquelle ausser dem Rot, welches reflektiert wird. Dieses reflektierte Rot nimmt nun den Weg zu unseren Augen. Bevor es aber auf die Netzhaut fällt, muss es noch die Anaglyphen-Brille mit grüner oder roter Folie passieren.

Das rote Licht kann die rote Folie vor dem linken Auge ohne Schwierigkeiten passieren und auf der Netzhaut das Rot abbilden. Ebenso weisse Flächen die das ganze Farbspektrum reflektieren, d.h. auch Rot enthalten. Rotes Licht ist langwellig und passiert rote Filter. Das vom roten Anaglyphen-Bild reflektierte rote Licht das auf den grünen Filter vor dem rechten Auge auftrifft, kann diesen nicht passieren da dieser nur kurzwelliges grünes Licht durchlässt. Vom rechten Auge werden also die roten Bildanteile schwarz wahrgenommen, Dasselbe passiert umgekehrt für das grüne Bild vor dem linken Auge mit dem roten Filter. Gemeinsam haben beide Augen nur die weissen und schwarzen Flächen. Dass das eine Auge etwas sehen kann was dem anderen verborgen bleibt wird bei Anaglyphen-Bildern ausgenutzt um die beiden Halbbilder in einem Bild zu vereinen.



Abb. 16 Ausgangsbild oben und fertiges Anaglyphen-Halbbild für das linke Auge

Abb. 17 Ausgangsbild oben und fertiges Anaglyphen-Halbbild für das rechte Auge

Um Anaglyphen-Bilder erstellen zu können braucht es also als erstes zwei stereoskopische Halbbilder. Dies können entweder Fotos sein oder auch in Grafikprogrammen entstandene Phantasieabbildungen, welche aus leicht verschobener Position zweimal als Bild abgespeichert sind.

Nun bedient man sich eines guten Bildbearbeitungsprogramms und öffnet beide Bilder in diesem Programm. Als erstes bearbeiten wir das links aufgenommene Bild, welches für das linke Auge bestimmt ist. Man nimmt nun am besten den Kanalmixer und setzt die Grün- und Blauanteile auf Null. Beim rechten Bild werden ausser Grün alle anderen Farben auf Null gesetzt.



Abb. 18 Fertiges rot-grün Anaglyphen-Bild

Im nächsten Schritt überlagert man das rote Bild als Ebene über das grüne Bild. Dies geschieht am einfachsten mit den Befehlen „Kopieren“ und danach „Einfügen als Ebene“. Diese Ebene kann auch als Layer bezeichnet werden. Zuletzt setzt man die Eigenschaften der oberen Ebene auf multiplizieren und schon ist das Anaglyphen-Bild fertig.

Jetzt kann man in subtilen Schritten die obere Ebene noch ein wenig nach rechts oder links verschieben, um den Stereoeffekt zu verändern. Die Objek-

te des Bildes kommen dann entweder aus dem Bild heraus oder gehen in das Bild hinein.

Das übermässige Herauskommen eines Gegenstandes nennt man auch Gigantismus, da die normale Stereobasis der Augenabstand vergrössert wurde. Dieser Vorgang kann mit Hilfe spezieller Programme erleichtert werden. Diese Programme machen es sogar möglich, dass die Farben des Bildes einigermassen erhalten bleiben, indem sie anstatt Grün, die Farbe Cyan nehmen.

Zur Betrachtung ist dann aber auch eine Brille mit Rot-Cyan Folien nötig. Diese Bilder können zwar mit einer normalen Rot-Grün Brille betrachtet werden, nur geht dann die Mehrfarbigkeit des Bildes verloren. Das im Bildbearbeitungsprogramm erstellte Anaglyphen-Bild wird am besten mit einer Rot-Grün Brille betrachtet, da es nur die Farben rot und grün enthält. Eine Zeit lang gab es auch rot-blaue Brillen, die zum Betrachten farbiger Anaglyphen-Bilder gedacht waren. Sie wurden aber schon bald von den Cyan-Brillen verdrängt, da die Farbe Cyan eine bessere Farbwiedergabe und Bildtrennung erlaubt.

Sind die Bilder nicht sehr präzise aufgenommen, so empfiehlt sich eine Rot-Grün Brille, weil diese mehr Fehler zulässt und auch angenehmer für die Augen ist. Die Cyan-Brille hat eine grosse Intensität, das heisst sie lässt viel mehr Licht durch als die grüne Brille und macht Fehler sichtbar wie leichte Verkantung, Farbenfehler etc.

Mit Verkantung ist eine Abweichung in der Diagonalen eines der Bilder gemeint. Haben Sie beispielsweise bei der Aufnahme des zweiten Bildes die Kamera etwas abgekippt, so muss dieser Mangel im Bearbeitungsprogramm zuerst wieder rückgängig gemacht werden, ansonsten entsteht eine störende Bildwiedergabe. Mit einer grünen Brille wird eine minimale Verkantung ausgeglichen, eine grössere kann aber die Tiefenwirkung zerstören.

5.4 Autostereogramme

Als Autostereogramme werden Bilder bezeichnet, welche ohne Sehhilfe betrachtet werden können. Stereoskopische Fotografien die ohne zu Hilfenahme einer Brille übereinander geschiebt werden können gehören auch dazu. Die Bezeichnung hat sich jedoch so entwickelt, dass heute nur die „Das Magische Auge“ Bilder als Stereogramm bezeichnet werden und nicht mehr von Stereogramm-Fotos gesprochen wird.

Neben den weit verbreiteten SIS und SIRDS kommt noch ein weniger verbreiteter Typ hinzu, de SIRTS (Single Image Random Text Stereogram). Diese Stereogramme erstellt man in einem Textprogramm, welches jedem Zeichen den gleich grossen Platz einräumt. Das heisst Word, Open Office, Star Office, etc. sind dazu nicht geeignet, weil in diesen Programmen die Buchstaben unterschiedlichen Raum zugeordnet bekommen. Am besten eignet sich der Text Editor welcher auf jedem neueren Windows Betriebssystem standartmässig vorhanden ist.

Obwohl die SIRTS für Sie als Leser bis jetzt vielleicht den kompliziertesten Eindruck hinterlassen, kann ich Ihnen versichern, dass die anderen Stereogrammtypen wesentlich komplizierter aufgebaut sind. Ein SIRTS ist verhältnismässig leicht zu erstellen und ich werde versuchen Ihnen anhand dieses Typs, die Funktionsweise von Stereogrammen generell zu erklären.

Funktionsweise von SIRT-Stereogrammen:

Diese selbst entwickelte Erklärung zeigt, Ihnen den Vorgang im Gehirn auf und macht am Beispiel einer Zahlen-Fläche den künstlich erzeugten räumlichen Effekt verständlich. Haben Sie am Schluss dieses Kapitels nicht viel verstanden ist dies nicht weiter tragisch. Zum entwickeln dieser Erklärung waren mehrere Tage nötig, also dürfen Sie es ruhig nochmals durchlesen.

12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234

Abb. 19 Zahlen-Grundmuster

12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234
12341234123412341234

Abb. 20 Zwei 2er werden entfernt

12341234123412341234
12341234123412341234
12341234134123412341
12341234134123412341
12341234123412341234
12341234123412341234

Abb. 21 Fertiges Stereogramm

Zur Erstellung benötigt man den Text-Editor. Am einfachsten arbeitet man mit Zahlen, es könnten aber auch Buchstaben sein. Unser Grundmuster sieht so aus:

1 2 3 4

Die Anzahl der verschiedenen Elemente spielt eine grosse Rolle. Nimmt man zusätzliche Zeichen, so wird der Abschnitt, welcher sich beim späteren Betrachten in die dritte Dimension verschiebt, grösser. Bevor wir etwas sehen können müssen wir diese Zeichenreihe vervielfachen. Am einfachsten geschieht dies durch kopieren und aneinanderfügen (Abb. 19). In einem nächsten Schritt löschen wir in den beiden mittleren Zeilen 2x die 2er (Abb. 20).

Betrachten wir die Abbildung 19 mit einem Schielblick, so können wir nur ein flaches Zahlenbild erkennen. Betrachten wir hingegen schielend die Abbildung 21, so ist deutlich zu sehen, dass in den beiden mittleren Reihen die Zahlen 3, 4 und 1 nach vorne treten. Es kann aber auch sein, dass diese Zahlen bei ihnen nach hinten gedrückt erscheinen. Das ist nicht weiter schlimm, da sie auf eine andere Art schielen. Sie schielen mit so genanntem Kreuzblick. Wenn die Zahlen nach vorne kommen haben sie das Bild mit dem Parallelblick betrachtet.

Anhand des Parallelblickes versuche ich jetzt zu erklären, wie dieses räumliche

Sehen zustande kommt.

Als erstes müssen wir dazu den Parallelblick genau unter die Lupe nehmen. Parallelblick heisst, dass ihre Augen beinahe parallel schauen, und dass sie sich vor allem nicht auf das eigentliche Bild fixieren, sondern dass der Fixationspunkt der Augen hinter dem Bild liegt. Das heisst, das Bild erscheint doppelt.

Ihr Schielen hat sich also so angepasst, dass die 1er der oberen beiden und unteren beiden Reihen im Gehirn übereinstimmen (Abb. 22). In der dritten und vierten Reihe stimmen die Zahlen nicht immer überein. Dieses nicht Übereinstimmen welches wir durch das Löschen der 2er auf diesen Zeilen erreicht haben, löst den Stereoeffekt aus. Alles was in Abbildung 23 schwarz ist wird von beiden Augen gleich gesehen. Das blaue wird nur vom rechten Auge gesehen, das orange nur vom linken Auge.

Die erste Übereinstimmung hat der Betrachter durch schiearendes Verschieben erreicht.

1234123412341234	
	3412
12341	3412341
	2341
	3412
12341	3412341
	2341
1234123412341234	

Abb. 23 Durch Schielen erreichte Verschiebung

12341234123412341234	1234
12341234123412341234	1234
12341234134123412341234	1234
12341234134123412341234	1234
12341234123412341234	1234
12341234123412341234	1234

Abb. 22 Bild des rechten Auges (blau) und des linken Auges (orange) bei Parallelblick im Gehirn

Nun merkt das Gehirn, dass immer noch Zahlen vorhanden sind, welche durch leichtes Schieben zur Deckung gebracht werden können (Abb. 24). Das Gehirn verschiebt nun die Zahlen so, dass auch noch die 3er, 4er und 1er der zweiten und dritten Reihe sich decken. Danach bleiben noch die Zweier übrig. Diese Zahlen können vom Gehirn aber nicht mehr umplatziert werden, da die Zahlen dazwischen vom Gehirn schon verschoben wurden und deshalb eine weitere Verschiebung andere Zahlen wieder an einen falschen Platz bringen würde. Dass die Zahl 2 übrig bleibt kommt übrigens nicht von ungefähr, denn wir haben in Abbildung 20 ja

1234123412341234

12341 3412341
 2341

12341 3412341
 2341

1234123412341234

Abb. 24 Das Gehirn erkennt gleiche Strukturen

1234123412341234

12341234123412341

12341234123412341

1234123412341234

Abb. 25 Gehirn hat gleiche Strukturen kombiniert

die Zahl 2 in den beiden Reihen gelöscht um den Stereoeffekt zu erzeugen. Aus diesem Grund fehlen nun jedem Auge zwei 2er. Diese 2er der beiden Augen befinden sich aber nicht auf demselben Platz, weil wir das Bild mit dem Parallelblick betrachten.

Die Abbildung 25 ist nun beinahe das Endprodukt in unserem Gehirn. Das rechte Bild in unserem Gehirn besteht aus allen schwarzen Zahlen plus den blauen 2er. Das linke Bild in unserem Gehirn besteht aus allen schwarzen Zahlen und den orangen 2er.

Unser Gehirn interpretiert nun, dass das rechte Auge mehr gesehen hat als das linke, weil es eine Zahl gesehen hat welche dem linken Auge verborgen blieb. Nun wie kann eine Zahl für das eine Auge sichtbar sein und für das andere unsichtbar?

Dazu gibt es nur eine Möglichkeit. Die Zahl muss so weit im Vordergrund sein, dass das linke Auge diese gerade nicht mehr erkennen kann. Aus diesem Grund hebt nun unser Gehirn das Bild, von der orangen 2 an, scheinbar nach vorne. Weil aber auch eine Stelle existiert, an welcher das rechte Auge etwas scheinbar nicht sehen kann muss es dort nach hinten gehen. Dies ist bei der blauen 2 der Fall.

Würden wir nicht nur um eine Zahlenfolge schielen, sondern um zwei, so wäre die gehobene Stelle doppelt so lang, weil sich die beiden 2er voneinander entfernen würden. Beim überlagerten Bild (Abb. 25) ist außerdem zu bemerken, dass die mittleren Reihen

nun alle Zahlen ohne Unterbruch enthalten. Nur besitzen die sie eine Zahl mehr, weil sie auf gleicher Höhe wie die oberste und unterste Reihe enden aber am Ende eine 1 haben.

Nach diesem Prinzip funktionieren alle Stereogramme, welche als Basis ein sich regelmässig wiederholendes Muster haben. Bei den Bildern des Buches „Das Magische Auge“ werden statt Zahlen oder einzelner Punkten einfach kleine Muster genommen.

Sich wiederholende Muster aus Textzeichen können auch Objekte sein, welche ein Bild ergeben. Diese Bilder kann man dann aber nicht mehr unbedingt SIRTS nennen. Für diese Bilder ist dann meine Eigenbenennung, die SITS (Single Image Text Stereogram), ganz passend. Sich ein solches SIT-

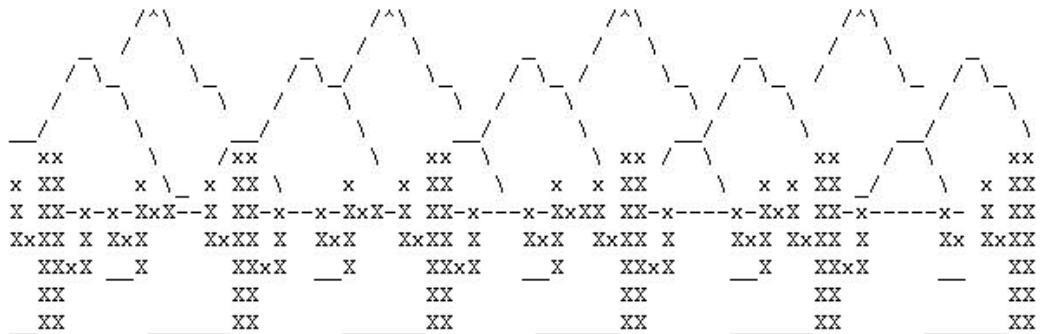


Abb. 26 Das SITS wird durch Schießen eine „Stereoskopische Kaktuslandschaft“

Stereogramm vorzustellen ist etwas schwierig, deshalb habe ich als Beispiel eine Kaktuslandschaft herangezogen (Abb. 26). Dieses Bild ist das Beste das ich finden konnte. Denn es braucht viel Zeit ein gutes Motiv auszudenken und danach umzusetzen.

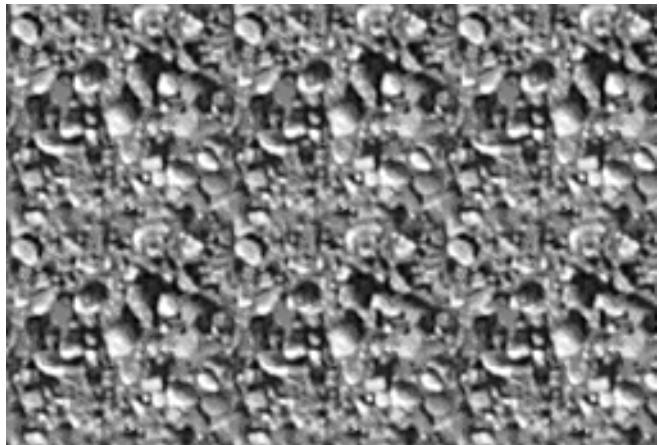


Abb. 27 SI-Stereogramm mit rechteckigem Aufleger

che hat, in welcher sich das gleiche Muster regelmässig wiederholt. Dieses Muster kopiert man und legt es wie eine zweite Schicht nochmals auf die erste Schicht. Nun kann man ein Teil der oberen Schicht (in Bildbearbeitungsprogrammen wird oft auch von „Layer“ gesprochen) ausschneiden und sie etwas nach links verschoben wieder drauflegen. Die Verschiebung sollte sehr klein sein, so ca. 1-2 mm. Danach kommt beim normalen Schielblick bei diesem Stereogramm ein Teil nach vorne (Abb. 27).

In der Mitte des Bildes ist deutlich ein rechteckiger Bereich zu erkennen welcher leicht nach vorne versetzt ist.

Dieses Bild hat nur zwei Ebenen und zeigt die Grundlage solcher Bilder. Für Objekte welche rund sind oder sonstige Formen wie ein Würfel haben, reicht ein normales Bildbearbeitungsprogramm nicht mehr. Dafür wurden extra Programme geschrieben, welche aus Graustufenbildern (Abb. 28) und einem regelmässigen Musterbild ein komplexes Stereogramm berechnen können. Bei solchen Graustufenbildern interpretieren

Die Single Image Stereogramme (SIS) sind nach dem gleichen Prinzip wie die SITS aufgebaut. Bei diesen Bildern werden nicht einzelne Teile gelöscht, sondern es werden einzelne Schichten verschoben. Einfache derartige Stereogramme kann man mit dem Computer auch selbst machen.

Man erstellt ein beliebiges Muster und vervielfältigt es, so dass man eine Flä-



Abb. 28 Graustufenbild für die Erstellung eines SI-Stereogramms

dann diese Bilder die Helligkeit einer Stelle als Tiefeninformation. Das heisst, helle Stellen werden so verschoben, dass sie weiter vorne liegen als die dunkleren.

Als Grundmuster zum Glocken-Graustufenbild wurden Schneesterne eingesetzt. Mit Hilfe des Grundmusters als Hintergrund und dem Graustufenbild errechnet der Computer dann das Stereogramm (Abb. 29).

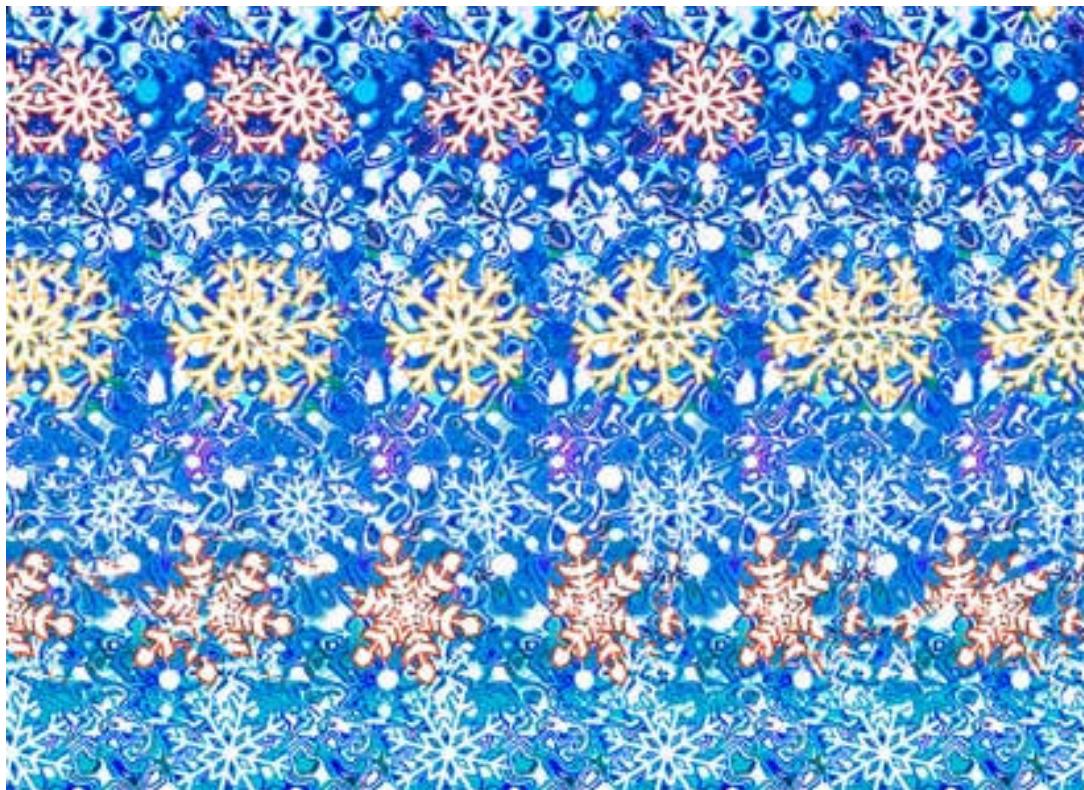


Abb. 29 Das fertige SI-Stereogramm mit den Glocken

5.5 Computer und Stereoskopie

Die zunehmende Leistungsfähigkeit der Computer ermöglicht immer neuere Technologien. Die SIRDS würden ohne Computer nicht existieren. SIRDS gibt es jedoch schon lange nur sind die Computer in der Zwischenzeit sehr viel schneller geworden. Die Leistungsfähigkeit wird natürlich in allen Bereichen eingesetzt und so auch für stereoskopische Darstellungen. Ein Computer hat heute so viele verschiedene Möglichkeiten, die für stereoskopische Zwecke genutzt werden können, dass man beinahe den Überblick verliert. In diesem Kapitel werde ich versuchen die Varianten möglichst anschaulich und vollständig vorzustellen.

Shutterglasses:

An Computern ist es heute möglich, dass man Bilder ganz schnell hintereinander anzeigen lassen kann. Das Schwierige ist nur noch, das getrennte Zu-

führen dieser Bilder zu den Augen.

Die Shutterglasses machen genau dies möglich (Abb. 30). Shutterglasses heisst übersetzt etwa „Verschlussbrille“.

Diese Brillen sind mit der Grafikkarte⁸ des Computers gleichgeschaltet und verschliessen die Sicht des einen Auges und dann wieder die des Anderen für eine minimale Zeit. Dieses Hin- und Herschalten zwischen den Augen geht so schnell wie die Anzeige des Bildes auf dem Bildschirm. Das



Abb. 30 Shutterglasses

heisst, auf dem Bildschirm erscheint das Bild für das rechte Auge und gleichzeitig wird dem linken Auge die Sicht versperrt. Danach genau das Umgekehrte. Durch die rasche Folge merken Sie überhaupt nicht, dass Sie zeitweise auf dem einen und dann auf dem anderen Auge nichts sehen können.

⁸ Einheit in einem Computer, welche für die Darstellung des Bildes auf dem Monitor zuständig ist.

Dieses Verfahren der stereoskopischen Bildwiedergabe nennt man sukzessive. Es wird abwechselungsweise das eine und wieder das andere Bild für das jeweilige Auge präsentiert.

Für die Grafikkarte des Computers gibt es zwei Möglichkeiten, das Bild anzuzeigen. Zum einen die schon erwähnte Art welche man auf Englisch „Page flipping“ nennt, was soviel wie raschen Seitenwechsel heisst. Das Problem dieser Methode ist, dass ein Monitor bei schnellem Bildwechsel und hellen Farben immer noch einwenig nachleuchtet in den Farben. Dieser Effekt wird mit „Ghost“ bezeichnet und verringert die Stereoqualität.

Aus diesem Grund hat man eine zweite Methode entwickelt. Sie wird „Line flipping“ genannt. Das bedeutet, dass für ein Bild nur die eine Hälfte der Linien eines Monitors gebraucht wird. Wird nun kurz danach das nächste Bild auf den Linien welche zuvor schwarz waren abgebildet entsteht kein „Ghost“ Effekt mehr. Der Nachteil dieser Methode sind die schwarzen Linien, dafür bietet sie optimale Stereoqualität. Die schwarzen Linien treten deshalb auf, weil ja nur jede zweite Zeile zur Darstellung genutzt wird und so dazwischen immer ein leicht nachleuchtender aber trotzdem dunklerer Streifen vorhanden ist.

Zu bemerken ist, dass bei beiden Methoden die Bildwiederholrate um die Hälfte sinkt. Sie müssen also einen Monitor mit einer Frequenz von mindestens 120 Hz haben um ein einigermassen flimmerfreies Vergnügen in Stereoqualität zu haben.

Polarisationsdisplay:

Eine andere Möglichkeit ist das Polarisationsdisplay. Es funktioniert nach demselben Prinzip wie die Shutterglasses und wird auch Tektronix-Verfahren genannt. Der Vorteil ist, dass man keine grossen Brillen, sondern nur noch eine bescheidene Polarisationsbrille tragen muss. Zusätzlich muss vor dem Bildschirm ein Polarisationsglas angebracht werden. Dieses polarisiert dann das Licht jeweils so, dass es zum richtigen Auge findet. Wird beispielsweise das Bild für das rechte Auge auf dem Monitor dargestellt, so schaltet dieses Polarisationsglas so um, dass die Lichtwellen nur durch das rechte Brillenglas hindurch können. Danach für das linke Auge das Umgekehrte. Dies geschieht natürlich wie bei den Shutterglasses in sehr schnellem Tempo. Der Nachteil ist hier ebenfalls der, dass sich die Bildwiederholrate halbiert. Es können jedoch mehrere Leute auf denselben Monitor schauen und müssen

alle lediglich eine eigene Polarisations-Brille vor den Augen haben. Diese Brillen sind viel billiger als Shutterglasses und erlauben ein viel grösseres Sichtfeld.

Head Mounted Displays:

Diese Geräte trägt man auf dem Kopf wie ein Helm. Vorne haben sie für jedes Auge ein Display eingebaut. Diese Helme werden oft auch VR-Helmets genannt. VR ist die Abkürzung für Virtual Reality.



Abb. 31 Head Mounted Display

Bei der Technik der Head Mounted Displays wird kein Trennungsverfahren der Bilder benötigt, weil jedes Auge seinen eigenen Bildschirm hat. Das Problem mit zu kleiner Bildwiederholrate fällt also weg. Weil diese kleinen Bildschirme so nahe an den Augen sind, müssen sie aber eine enorm feine Auflösung haben um ein einigermassen angenehmes Bild erzeugen zu können. Dies ist die grösste Schwierigkeit dieser Technologie.

TFT-Autostereo-Bildschirme:

Diese Bildschirme haben eine Rasterlinsenoberfläche. Die Rasterlinsen werden oft auch für Postkarten verwendet. Kippt man diese, so sieht man ein zweites Bild. Bei Autostereogrammen, die der Optiker zum Testen des räumlichen Sehens verwendet, ist die Rasterlinsenoberfläche so angeordnet, dass

Die beiden kleinen Bildschirme im Helm sind entweder LCDs (Liquid Crystal Display) oder CRTs (Cathode Ray Tube). Die LCDs kennt man vom Gameboy oder anderen Kinderspielzeugen. Diese Displays nutzen die physikalischen Eigenschaften bestimmter Kristalle, welche bei elektrischer Spannung ihre Farbe ändern.

CRT ist nichts anderes als ein Röhrenmonitor, wie er bei jedem Fernseher zum Einsatz kommt.

jedes Auge direkt ein unterschiedliches Bild sieht und man nicht erst kippen muss. Man sieht die Bilder sofort und braucht weder zu schielen noch eine Brille zu tragen.

Diese Rasterlinsenbilder enthalten die beiden stereoskopischen Halbbilder streifenweise. Das heisst, zuerst kommt ein kleiner Streifen des einen Halbbildes und dann ein Streifen des Anderen und so weiter. Das Linsenraster lenkt dann die Bildausschnitte so ab, dass jedes Auge nur sein eigenes Bild sieht.

Genau so funktionieren auch die Autostereo-Bildschirme, und erfordern deshalb keine speziellen Brillen. Der Nachteil ist, dass man genau frontal, d.h. rechtwinklig zum Bildschirm sitzen muss, um den Effekt geniessen zu können.

Ansonsten stimmt die Ablenkung, welche durch die Linsen erreicht wird, nicht mehr mit dem auf dem Bildschirme angezeigten Bild überein.

Es gibt aber schon „intelligente Bildschirme“ welche kontrollieren, wo sich ihre Augen befinden und das Bild dementsprechend verschieben. Diese Technik wird aber noch eine Weile auf eine grössere Verbreitung warten müssen, denn ein solcher Bildschirm ist nicht billig.

Eine weitere erfolgsversprechende Methode nutzt die Wellenlänge des Lichtes. Ein, vor dem Flachbildschirm angebrachter Filter lenkt wellenlängenselektiv die einzelnen Bildpunkte so um, dass der Winkel zwischen den Augen gerade reicht, um einen räumlichen Eindruck zu vermitteln. Da unsere Augen immer denselben Abstand haben, können diese Filter so erstellt werden, dass der räumliche Eindruck auch aus verschiedenen Blickwinkeln möglich ist. Zur Berechnung der Bilder ist die neueste Generation Computer erforderlich, damit ein angenehmes Bild entsteht.

6. Räumliches Sehen aus medizinischer Sicht

6.1 Winkelfehlsichtigkeit und unser räumliches Sehen

Es liegt in der Natur des Menschen, dass er immer alles ergründen und testen will. Wie prüft man aber das räumliche Sehvermögen? Mit dieser Frage haben sich schon viele beschäftigt und werden sich auch in Zukunft noch viele beschäftigen. Früher nahm man beispielsweise zwei Stricknadeln, welche man in unterschiedlicher Entfernung aufstellte und dann sehen musste welche weiter weg ist. Dabei sah man natürlich den Standort nicht, sondern nur gerade den oberen Teil der beiden Nadeln. Weil dies jedoch zu ungenau war und auch nicht der alltäglichen Situation entsprach suchte man etwas anderes. Man kam so zu einer häufig gebrauchten Methode mit unterschiedlichen Farbfiltern. Weil diese Anaglyphen-Bilder aber auch nicht der realen Situation entsprechen nutzt man heute vorwiegend das Polarisationsverfahren. Es kommen aber auch SIRD-Stereogramme zum Einsatz. Diese sind dann mit einer speziell gerippten Oberfläche versehen, damit man nicht Schielen muss. Die normalen Stereogramme welche in Büchern zu finden sind wären am ungeeignetsten, weil sie eine enorme und nicht alltägliche Anstrengung erfordern. Zudem dürfen Testmethoden die Menschen mit perfektem Sehen, welche nur mit Mühe schielen können, nicht benachteiligen. Perfekt Sehen heisst, die Augen haben keine tendenzielle Schielrichtung. Etwa 20 % der Menschen verfügen über ein perfektes Sehen. Nach heutigen Erkenntnissen sind nur 3 - 4 % der Bevölkerung echte Schiebler. Von den restlichen Personen, die nicht schielen, haben ca. 80 % eine unexakte Fixation, welche als Winkelfehlsichtigkeit bezeichnet wird. Meistens ist diese Fehlsichtigkeit aber so gering dass sie überhaupt nicht stört und eigentlich normal ist. Ist diese Winkelfehlsichtigkeit jedoch so gross, dass sie stört oder Beschwerden verursacht, so kann sie in jedem Alter mit Hilfe einer prismatisch wirkenden Brillenkorrektur behoben werden. Es gilt jedoch: Je früher gehandelt wird, umso besser.

Um die dritte Dimension von Sird-Stereogrammen sehen zu können ist eine gewisse Winkelfehlsichtigkeit, wie sie die meisten Leute besitzen nötig. Leichtes Schielen und grössere Winkelfehlsichtigkeit kann man anhand simultaner Bildwiedergabe testen. Dazu hat der Optiker 2 Bilder, welche den

Augen getrennt zugeführt werden. Auf dem einen ist zum Beispiel ein Knabe und auf dem anderen ein Ball. Sieht der Kunde den Ball nicht auf der Hand des Jungen, so deutet dies auf eine grössere Fehlsichtigkeit hin.

Die Winkelfehlsichtigkeit kann gerade so gross sein, dass man sie von blossem Auge nicht sieht, aber trotzdem so gross, dass sie ein räumliches Sehen verhindert.

Mit einer Person, welche an dieser Fehlsichtigkeit sehr gelitten hat und heute durch eine Prismenkorrektur beinahe beschwerdefrei leben kann, konnte ich mich unterhalten. Sie erzählte mir, dass ein solches „unsichtbares Schielen“ früher verpönt war und man es deshalb auch nicht korrigierte. Es sei aber trotzdem sehr häufig anzutreffen gewesen.

Ein solches Schielen führt bei Kindern oft zu einem Leistungsabfall in der Schule aufgrund von ständiger Überanstrengung der Augen und daraus folgender Beschwerden.

Bei meiner Interview-Person wurde eine so genannte Augenschwäche im 5. Lebensjahr festgestellt, aber die Ursache konnte nicht gefunden werden. Nach einer starken Gehirnerschütterung traten Migräneanfälle und Dauerkopfschmerzen auf, die bis zur Korrektur, mit 40 Jahren, anhielten. Ursache war eine Überforderung der Augenmuskeln, welche den Fehler der Augenstellung zu korrigieren versuchten. Diese Anstrengung wurde nicht wissenschaftlich verursacht, sondern automatisch von den Augen vollbracht um die beiden Bilder der Augen möglichst genau zusammenzubringen. Man nennt diese Autokorrektur auch Fusionsreflex.

Diese Anstrengung löste nicht nur Migräne aus, sondern auch das Gefühl eines einengenden Eisenringes um den Kopf. Dieses Gefühl kam daher, dass sich die Augenmuskeln die ganze Zeit anstrengen mussten und dadurch in horizontaler Richtung ein dauerndes Ziehen auslösten, welches dann als Ring um den Kopf empfunden wurde.

Die Person konnte sich auch erinnern, dass sie einmal auf einer Messe war, bei welcher ein Stand mit Stereogrammen war und sie konnte auf den ausgestellten Bildern nichts erkennen.

Auch war es für sie schwierig Distanzen abzuschätzen, da sie sich oder die Gegenstände in Bewegung befinden mussten um die Bewegungsparallaxe ausnutzen zu können.

Randsteinlaufen war unmöglich, sie „vertrampfte“ sich andauernd. Auch Autofahren war äusserst mühsam.

Doch Bälle gegen eine Wand zu werfen und sie wieder zu fangen oder sonstige Ballspiele waren auf Grund der damit verbundenen Bewegungen kein Problem.

Eine Erklärung hatte sie nicht, doch heute ist dies sehr nahe liegend. Beim Randsteinlaufen und Autofahren bewegt man sich linear, das heisst gerade auf etwas zu, oder besser gesagt einer Linie entlang. Bei dieser Bewegung ist die Bewegungsparallaxe relativ gering zur Geschwindigkeit welche man hat und ergibt so keine Sicherheit. Beim Bälle werfen kommt der Ball in einem Bogen geflogen und fliegt nur ab und zu direkt auf einen selber zu. Zudem befindet man sich beim Werfen oder Fangen selbst auch noch in Bewegung, welche wiederum nicht ausschliesslich in der Richtung erfolgt, in welche der Ball fliegt oder geflogen kommt.

Wenn die Bewegungsparallaxe auch ein Stück Räumlichkeit vermittelt, so müssen die Augenmuskeln die Fehlstellung trotzdem korrigieren.

Nach der für sie intensiven theoretischen Autoprüfung konnte Sie die Umgebung ausserhalb des Prüfungsgebäudes nicht mehr richtig sehen, weil ihre Augen überanstrengt waren.

Abends sah sie manchmal sogar die Ziegel des Nachbardaches doppelt. Die Augen konnten die Anstrengung nicht mehr erbringen und die beiden Bilder fielen auseinander. Obwohl am Morgen die Bilder mit ausgeruhten Augen übereinander gebracht werden konnten, war es für sie nicht möglich räumlich zu sehen. Dies kam daher, dass die Augenmuskeln am Morgen die Korrektur zwar mühelos vollführten, bei dieser Korrektur die Bilder aber am Rande des Panum Areales zu liegen kamen und somit gerade nicht doppelt wahrgenommen wurden, aber auch keinen räumlichen Seheindruck ermöglichten.

Nach vielen Jahren fand sie dann durch ihren Mann einen Optiker, welcher solche Korrekturen mit Hilfe von Prismenbrillen durchführt.

Nach dreijährigem Tragen einer speziellen Prismenbrille konnte sie zum ersten Mal binokular räumlich sehen. In der ersten Zeit war alles und jedes eine Offenbarung. Eine Zündholzschachtel beispielsweise, war plötzlich faszinierend dreidimensional. Diese Faszination legte sich jedoch mit der Zeit. Das Gehirn hatte sich an die neue Sichtweise gewöhnt.

Vor der Korrektur kam sie sich selbst wie eine aussenstehende Beobachterin der Welt vor und hatte sozusagen eine Sammlung von flachen Bildern aus der Welt in ihrem Kopf.

Nach der Korrektur empfand sie sich plötzlich als Teil der Welt. Alle perspektivischen Linien liefen plötzlich auf sie zu. Eine Strasse war nicht mehr nur ein Bild, sondern sie stand nun mitten auf ihr und war Teil von ihr. Das Leben war von da an nicht mehr ein Bilderbuch, welches sich im zweidimensionalen abspielte, sondern hat nun eine Lebendigkeit und eine räumliche Tiefe bekommen. Sie musste die Distanz zu einem Stuhl nicht mehr abschätzen, Sie konnte die Entfernung sehen und sich sicher auf den Stuhl setzen.

An diesem Beispiel sieht man sehr deutlich, was eigentlich räumlich Sehen bedeutet. Man lernt ja bekanntlich erst etwas zu schätzen, wenn man es nicht mehr hat. Dass das räumliche Sehen nicht selbstverständlich ist kommt einem überhaupt nicht in den Sinn. Man ist sicher froh, dass man laufen kann, wenn man jemanden in einem Rollstuhl sieht. Plötzlich ist man für so was auch dankbar und schätzt es, dass man gehen kann. Beim räumlichen Sehen ist dies ein wenig anders. Man kann ja einer Person nicht ansehen, dass sie nur zweidimensional sieht. Also haben sich die wenigsten Leute Gedanken darüber gemacht, wie die Welt aussehen würde, wenn man nicht mehr dreidimensional sehen könnte.

Auch die beschriebene Situation, dass man ausgeschlossen ist aus der räumlichen Welt muss eine fürchterliche Vorstellung sein.

Wenn man nun vor der Entscheidung stehen würde, im Rollstuhl weiterleben zu müssen oder das räumliche Sehen zu verlieren, würde einem die Entscheidung sicher nicht einfach fallen.

Man kann sich nun auch vorstellen, was eigentlich Blinden alles vorenthalten bleibt. Oder besser gesagt was alles im Wort „Sehen“ enthalten ist. Es ist nicht nur sehen und gesehen werden, sondern auch wie sehe ich etwas und wie wirkt es auf den Raum und die Umgebung. Dazu kommt noch die räumliche Orientierung und Vorstellungskraft. Meine betroffene Person schilderte diese Orientierungslosigkeit ebenfalls. Sie konnte sich nichts räumlich vorstellen und war auch in neuen Strassen oft mit der Orientierung überfordert. Weil sie ihr Gehirn nie auf räumliche Vorstellung trainiert hat, fällt es ihre heute noch schwer, sich zu orientieren.

Nun kommt natürlich die Frage, ob und wie man denn eine Fehlsichtigkeit beheben kann.

Als erstes muss man zwischen dem echten Schielen und der Winkelfehlsichtigkeit unterscheiden. Obwohl eine Winkelfehlsichtigkeit im Prinzip auch ein Schielen ist, ist der Fehler in den meisten Fällen so gering

Schielen ist, ist der Fehler in den meisten Fällen so gering dass er nicht von Bedeutung ist, weil die Augenmuskulatur diese Fehlstellung unter Energieaufwand korrigieren kann. Das Problem ist, dass man auch die etwas grössere Winkelfehlsichtigkeit dem Menschen nicht ansehen muss und deshalb früher auch nicht behandeln wollte. Denn was macht das für einen Sinn etwas Unsichtbares zu behandeln, fragte man sich.

Die Behebung einer Schielstellung der Augen sollte bis zum dritten Lebensjahr erfolgt sein, weil sich das binokulare Sehen in diesem Zeitraum entwickelt. Auf jeden Fall sollte man eine sichtbare Fehlstellung der Augen bei einem Kleinkind möglichst schnell behandeln. Je länger man wartet, desto unwahrscheinlicher wird es bei Kindern mit Strabismus, wie das Schielen in der Fachsprache genannt wird, dass man ihnen helfen kann, in ihrem Leben je räumlich sehen zu können. Schon bei den kleinsten Anzeichen, welche bei einem Kleinkind auf Schielen hindeuten, sollte man einen Augenarzt aufsuchen. Es ist aber so, dass Kinder auch vorübergehend kurzzeitige Fehlstellungen haben können, weil sie ihre Augen noch nicht vollständig kontrollieren können. Befindet sich ein Auge aber über längere Zeit in eigenartiger Stellung, so sollte unverzüglich der Augenarzt aufgesucht werden.

6.2 Auswirkungen künstlich erzeugter, dreidimensionaler Bilder

Was sagt man doch immer kleinen Kindern? Schiele nicht, sonst bleibt es dir eines Tages. Auch wenn dann viele den Kopf schütteln und auch die Eltern nicht so richtig daran glauben, hat dieser Satz doch seine Richtigkeit. Denn alles was übertrieben wird ist schädlich. Das heisst, wenn man jeden Tag eine halbe Stunde schielt ist das nicht gesundheitsfördernd. Doch mit Büchern wie „Das Magische Auge“ hat man schnell einmal eine halbe Stunde oder mehr mit Schielen verbracht und niemand sagt „hör doch endlich auf zu schielen“. Wie die meisten wissen, die solche Bücher schon angeschaut haben, braucht es zum Sehen dieser Bilder eine gewisse Anstrengung und auch Technik. Auch Konzentration ist gefragt und in den Büchern ist oft auch der Ratschlag zu finden, man solle sich einen ruhigen Moment suchen in welchem man sich diesen Bildern zuwendet. Doch wieso eigentlich all die Ruhe? Die Erklärung ist relativ einfach. Die Augen sind sich diese Fehlstellung nicht gewohnt und müssen langsam an diese Stellung gewöhnt werden. Bei manchen Menschen geht das schneller bei anderen langsamer. Bei einigen funktioniert es auch nach langem Hinstarren und Ausprobieren nie. Dies heisst jedoch nicht dass man irgendeinen Fehler im Auge hat. Im Gegenteil, es ist gut möglich, dass man eine so optimale Augenstellung hat, dass das Auge nicht weiss auf welche Seite es schielen soll und so einfach in der normalen Stellung bleibt. Man sieht sozusagen perfekt. Das heisst aber nicht, dass man auf einem Auge nicht trotzdem kurzsichtig oder weitsichtig sein kann. Auch bei Strabismus, das heisst wenn man unwillentlich schielt, ist es nicht möglich diese Bilder zu sehen. Strabismus ist in der Regel angeboren und kann nicht durch übermässiges Schielen zum Dauerzustand werden. Für die Bilder der Bücher „Das Magische Auge“ ist nicht nur eine leichte Winkelfehlsichtigkeit von Vorteil, sondern man muss auch den Parallelblick anwenden können. Bei Personen die aber tendenziell einwärts schielen wird dies sehr schwierig. Gebraucht man den Kreuzblick, so sieht man den räumlichen Effekt in der negativen Hohlform.

„Magische Bilder“ könne also aus unterschiedlichen Gründen von verschiedenen Leuten nicht oder nicht richtig gesehen werden.

Das Erkennen der Bilder ist auch deshalb so schwierig, weil nicht ein normales Schielen die Voraussetzung ist, wie oft fälschlicherweise angenommen wird, sondern es müssen verschiedene Funktionen der Augen einzeln kontrolliert werden können.

An erster Stelle steht jedoch das Schielen. Beherrscht man das Schielen, welches auch als motorische Fusion bezeichnet wird, so kommt die nächste Schwierigkeit.

Damit diese Ausführungen nicht zu trocken werden nehmen wir unsere beiden Daumen zu Hilfe.

Der eine Daumen wird ca. 30 cm und der andere ca. 50 cm vom Gesicht entfernt positioniert. Nase und Daumen sollten dabei möglichst in einer Linie liegen. Damit der hintere Daumen nicht verdeckt wird können Sie diesen etwas höher halten. Nun schauen Sie auf den entfernteren Daumen und „beobachten“ den näher liegenden, dieser erscheint doppelt. Diesen Zustand nennt man physiologische Diplopie und ist eine zusätzliche Anstrengung für Augen und Gehirn.

Probieren Sie nun den näheren Daumen nicht nur zu beobachten, sondern zugleich auch auf eines der beiden Schielbilder scharf zu stellen. Sie dürfen dabei aber niemals den weiter entfernten Daumen aus dem Blick lassen. Diese Schwierigkeit ist auch bei den Stereogrammen zu überwinden. Bei normalen Bildstereogrammen kann man den Blick einfach seitlich verschieben, bis die beiden Bilder übereinander sind. Bei Sird-Stereogrammen genügt dies aber nicht mehr, Sie müssen nahtlos ihre motorische Fusion verstetzen können, ohne das eigentliche Bild unscharf werden zu lassen. Bei undeutlichen Bildern wird dies besonders schwer.

Die Übung mit den Daumen mag Ihnen gegückt sein, aber bei einem SIRD-Stereogramm scheitern Sie und Sie fragen sich warum. Dies ist am Anfang normal, denn Sie haben die helfenden Daumen nicht mehr und müssen ohne sie die nötige motorische Fusion vornehmen können.

Haben Sie einmal die beiden Bilder übereinander und scharf, dann übernimmt das Gehirn für Sie die Verschmelzung der beiden Bilder, sofern es sich um korrekte Stereogramme handelt. Diese Verschmelzung nennt man in der Fachsprache „sensorische Fusion“.

Es sind also drei wesentliche Schritte die man beherrschen muss um überhaupt diese Bildern dreidimensional sehen zu können. Als erstes die motorische Fusion, danach das Fokussieren auf das neu entstehende Bild und zu-

letzt die „sensorische Fusion“ die im Gehirn das Ganze zu einem räumlichen Bild verschmilzt.

Alle diese Betrachtungsweisen sind mit Anstrengung, Konzentration und Ausdauer verbunden und für Augen und Gehirn alles andere als alltäglich.

Bei Millionen von verkauften Büchern wie „Das Magische Auge“ stellt sich die Frage: Sind solche Bilder nicht schädlich?

Die Frage ist klar mit ja zu beantworten. Gewolltes übermässiges Schielen ist nicht gesundheitsfördernd. Für erwachsene Menschen sind solche Bücher nicht so tragisch, doch diese Bücher werden vor allem als Kinderbücher verkauft. Dies ist insofern tragisch, weil Kinder ihre Augen im Wachstum stören. Wie schon gesagt, haben die meisten Menschen, welche diese Bilder sehen eine leichte Winkelfehlsichtigkeit. Dieser Fehler wird dann beim zusätzlichen Schielen berücksichtigt und das Auge kann in einer falschen Position ausruhen. Deshalb werden diese Bilder oft auch als entspannend beschrieben. Die Augenmuskeln müssen eine leichte Fehlsichtigkeit nicht mehr korrigieren und werden zu ihrem Nachteil entlastet

Dies hat zur Folge, dass wir nach längerer Betrachtung solcher Bilder ganz duselig sind und alles leicht verschwommen sehen. Kinder, welche diese Bilder faszinierend finden schauen oft stundenlang in diese Bücher und sind begeistert von dieser scheinbaren Wirklichkeit. Sie können aber nicht wissen, dass sie ihren Augen unter Umständen auch bleibenden Schaden zuführen können.

6.3 Risiken bei fehlendem räumlichem Sehen

Rechtliche Bestimmungen / Entwicklungen:

Eine Winkelfehlsichtigkeit kann gerade so gross sein dass sie einen nicht stört, aber eine Stereoverzögerung auslöst. Das heisst, dass es länger dauert, bis man einen räumlichen Eindruck einer Situation hat. Eine Stereoverzögerung kann aber auch durch ein Auge, welches kurz- oder weitsichtige ist, ausgelöst werden. Bei schnelleren Bewegungen wie etwa beim Auto- oder auch schon beim Velofahren, kann es sein, dass man seine Umgebung nicht mehr räumlich wahrnehmen kann und sich ausschliesslich auf die Bewegungsparallaxe verlassen muss. Beim Autofahren ist dies besonders gefährlich, weil man sich in kurzer Zeit viele Meter bewegt. Umso verwunderlicher ist es, dass die gesetzlichen Mindestanforderungen so tief sind.

Die Verordnung vom 27. Oktober 1976 über die Zulassung von Personen und Fahrzeugen zum Strassenverkehr (VZV) trat am 1. Januar 1977 in kraft⁹. Die hier aufgeführten gesetzlichen Bestimmungen sind wörtlich aus der Webseite des Optikers Gallati¹⁰ übernommen und beinhalten nur die Gesetzgebung, die das Sehen betrifft:

Gesetzliche Minimalanforderungen

Die Schweizerische Verordnung über die Zulassung von Personen und Fahrzeugen zum Strassenverkehr VZV stellt nach Art. 6, 49 und 65) folgende Mindestanforderungen an das Sehvermögen für Fahrzeuglenker (Gruppe III). Für LKW- und Busfahrer (Gruppe II und I) werden höhere Anforderungen gestellt.

⁹ Confoederatio Helvetica: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c741_51.html

¹⁰ Optik Gallati: <http://www.gallati.com>

Gruppe III	Gruppe II	Gruppe I
Kategorie A, A1, A2, B, C1, D2, F und G Fahrlererausweis-Kategorie III	Kategorie C und D1 Fahrlehrerausweis-Kategorie I, II und IV Sachverständige	Kategorie D
1. Auge Vis. 0.6 2. Auge Vis. 0.1 Gesichtsfeld minimal 140° KEIN Doppelsehen Einäugige oder einseitig Erblindete: korrigiert oder unkorrigiert minimal 0,8. Keine Einschränkung des Gesichtsfeldes.	1. Auge Vis. 0.8 2. Auge Vis. 0.8 oder 1. Auge Vis. 1.0 2. Auge Vis. 0.6 KEINE Gesichtsfeldeinschränkung KEIN Doppelsehen KEINE Einschränkung des Stereosehens KEINE Störung des Dämmerungssehens Keine Aphakie (Linsenverlust), ausser bei ganztägiger Korrektur mit Kontaktglas und Binokularsehen.	1. Auge Vis. 1.0 2. Auge Vis. 0.8 Gläser max. -4.0dpt. bis +3.0dpt Astigmatismus max. 2.0dpt KEINE Gesichtsfeldeinschränkung KEIN Doppelsehen KEINE Einschränkung des Stereosehens KEINE Störung des Dämmerungssehens KEINE Einschränkung des Binokularsehen Keine Aphakie (Linsenverlust), ausser bei ganztägiger Korrektur mit Kontaktglas und Binokularsehen. Kein Lagoptalmus. Keine Ptosis höheren Grades. Keine Pupillenstarre, auch einseitig nicht.

Führerschein-Bewerber, welche die verlangte Sehschärfe nur mit Brille oder Kontaktlinsen erreichen, sind zum Tragen ihrer Sehhilfen während der Fahrt verpflichtet.

Auch für das Führen von Fahrzeugen, die keinen Ausweis verlangen (z.B. kleiner Traktormäher), wird ein minimales Sehen gefordert (VZV Art. 6,2): Mindestsehschärfe einäugig von 0,2 ohne extreme Gesichtsfeldeinschränkung

Appell an die Eigenverantwortung: Der Gesetzgeber geht davon aus, dass mündige Bürger ihr Sehvermögen selbst im Auge behalten und bei Bedarf korrigieren lassen.

Regelmässige Sehtests für Verkehrsteilnehmer?

Bis anhin wird in der Schweiz wie in Europa nur bei Erteilung des Lernfahrausweises ein Seh-Attest verlangt. Einzig Irland, Grossbritannien, die Niederlanden und Portugal verlangen für Fahrzeuglenker ab 70 Jahre eine erneute Sehprüfung. Eine Arbeitsgruppe der EU-Kommission möchte regelmässige Sehtests ab 40 oder 50 Jahre europaweit einführen.

Erklärung der Fachbegriffe dieser Gesetzlichen Bestimmungen:

- Unter Astigmatismus versteht man eine Sehstörung, die durch eine unregelmäßige Hornhautkrümmung verursacht wird.¹¹
- Mit Aphakie bezeichnet man das fehlen einer Augenlinse.¹²
- Das Leiden unter einem unvollständigen Lidschluss durch eine Lähmung des Lidschliessmuskels nennt man Lagophthalmus. Folgen sind ein Austrocknen der Hornhaut und bei Kontaktlinsenträgern vermehrte Ablagerungen auf der Kontaktlinse.¹³
- Mit Ptosis ist das Herabhängen eines Oberlides gemeint.¹⁴
- Die Abkürzung für Dioptrien lautet dpt. Eine Dioptrie ist der Kehrwert der in Meter gemessenen Bildseitigen Brennweite einer Linse. Formal sieht dies so aus: $D=1/f'$ Neben der normalen Dioptrie gibt es noch die Prismendioptrie. Sie wird wie folgt gemessen: Ein Objekt das sich in 1 Meter Entfernung in einem Winkel von 90 Grad um 1 cm verschiebt hat den Wert von 1 Prismendioptrie. Verschiebt es sich um 2 cm sind es 2 Prismendioptrien.

Nach der Gesetzlichen Grundlage aus dem Jahre 1977 dürfen also sogar Einäugige ein normales Auto steuern, obwohl sie über kein räumliches Sehen verfügen und Distanzen weitgehend schätzen. Falls Sie sich das Gefühl eines solchen Automobilisten nicht vorstellen können, dann kneifen Sie doch mal beim Autofahren ein Auge zu. Sie werden erschrecken, denn Sie können auf einmal keine Distanzen mehr erfassen und fühlen sich im Raum wie verloren. Ich habe es beim Velofahren ausprobiert. Ich war total überrascht, wie schwierig es ist schon nur um eine Kurve zu fahren.

Stellen Sie sich nun vor Sie müssten mit einem zugekniffenen Auge auf einer viel befahrenen Strasse links abbiegen. Als erstes wissen Sie nach einem

¹¹ <http://www.m-ww.de/krankheiten/augenkrankheiten/astigmat.html>

¹² <http://www.gesundheit.de/roche/ro00000/r1965.html>

¹³ <http://www.aavista.biz/members/aavista/pub/kontaktlinsen.nsf/6d8452a9a6a01-a6ec1256a4300533c8a/c798be972d892606c1256aca00674f3c!OpenDocument>

¹⁴ <http://www.gesundheit.de/roche/ro30000/r32033.html>

Blick in den Rückspiegel nicht, wie weit das Auto hinter ihnen entfernt ist, danach bemerken Sie, dass sich von vorne auch noch ein Auto mit unbestimmter Geschwindigkeit nähert. Jetzt die richtige Entscheidung zu treffen ist sehr schwer. Haben sie sich entschlossen abzubiegen müssen Sie aufpassen, dass Sie die Seitenstrasse auch ja erwischen, denn abbremsen wäre denkbar ungünstig bei zwei sich nähernden Autos.

Es sind aber nicht nur die Einäugigen, die über ein ungenügendes stereoskopisches Sehen verfügen. Auch bei allen Personen mit einem VISUS¹⁵ unter 0.3 auf einem Auge besteht die Möglichkeit, dass sie über kein räumliches Sehvermögen verfügen. Bei diesen Personen ist die Wahrscheinlichkeit sehr gross, dass sie das schwächere Auge beim Sehen unterdrücken. Wird ein Auge unterdrückt, ist stereoskopisches Sehen nicht mehr möglich.

Deshalb der Tipp für Autofahrer, die in einen Auffahrunfall verwickelt sind: Verlangen Sie eine Überprüfung des Stereosehens des Anderen. Ein VISUS unter 0.6 auf beiden Augen wird gleich geahndet wie 0.8 Promille Alkohol. Sie können also behaupten, der Vordere hätte zu abrupt gebremst, sodass Sie selbst nicht mehr genug schnell anhalten konnten. Einen solchen Sehtest sollte man von anderen Personen aber nur verlangen, wenn man selbst einwandfrei sieht, denn man muss den Test selbstverständlich auch über sich ergehen lassen.

Eine gute Chance nicht bestraft zu werden hat man auf jeden Fall. Man kann davon ausgehen dass bei ca. 40% aller Automobilisten die Sehleistung in Bezug auf Stereoverzögerung und Sehschärfe nicht erfüllt wird. Das heisst, wenn Sie über ein ungenügendes Sehvermögen verfügen müssen Sie eine Brille zum Autofahren tragen, auch wenn Sie sonst keine tragen. Schon zur eigenen Sicherheit sollte man die Mindestanforderungen unbedingt einhalten, aber natürlich auch den anderen Verkehrsteilnehmern wegen.

Wie genau können wir einen Gegenstand erkennen?

Der VISUS kann bis in Werte von 2.0 steigen. Dies ist vor allem bei jungen Menschen anzutreffen.

¹⁵ Mit dem VISUS wird die Sehschärfe bezeichnet. Ein VISUS von 1.0 ist normal. Alles was darunter ist, deutet auf eine Sehschwäche hin, alles was darüber ist auf eine überdurchschnittliche Sehleistung. Ein VISUS von 0.4 heisst, dass man auf diesem Auge eine Sehleistung von 40% hat.

Der Grenzwert unserer Augen im räumlichen Sehen liegt bei einer Parallaxenversetzung von ca. 30 Winkelsekunden.

In der Abbildung 32 ist der Zusammenhang ersichtlich. Eine Parallaxenversetzung von zwei mal 15 Sekunden und einem Gegenstandabstand von A bis A' ergibt sich eine Doppelbildversetzung von der Grösse $Z_{A'}$ bis A'. Ist $a+15''$ kleiner als a' so ist eine Verschmelzung der beiden Bilder der Augen nicht mehr möglich.

Je kürzer a ist, umso kleiner muss die Distanz zwischen A und A' sein, damit die 30 Winkelsekunden eingehalten werden. Das bedeutet, je näher die beiden Objekte an den Augen sind, umso näher müssen Sie untereinander sein, damit beide räumlich wahrgenommen werden.

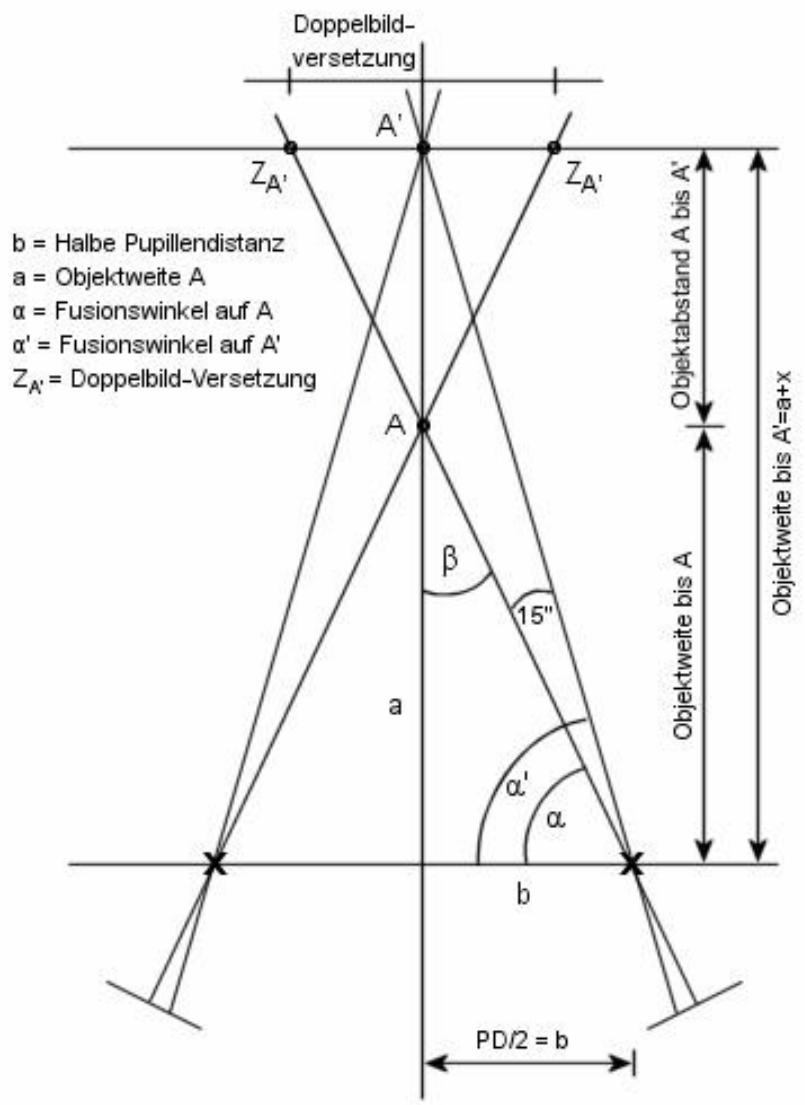


Abb. 32 Der Grenzwert unserer Augen für räumliches Sehen liegt bei 30 Winkelsekunden ($2 \times 15''$)

7. Praktische Arbeit

7.1 Aufnahme stereoskopischer Bilder

Zu jeder Abschlussarbeit gehört ein praktischer Teil. Als ich anfing mich in das Thema „Stereoskopie“ einzulesen, hatte ich noch keine Ahnung, was als praktischer Teil entstehen könnte.

Als klar wurde, dass ich mit meiner Familie eine Woche in der Villa Cassel auf der Riederalp logieren werde, überlegte ich mir, wie etwas von der schönen Landschaft des Wallis für meine Abschlussarbeit abspringen könnte.

Obwohl ich schon wiederholt dort war und eigentlich nicht mehr das Bedürfnis nach Fotos hatte, wurde in diesen Ferien doch plötzlich mehr fotografiert als je zuvor. Meine nahe liegende Tätigkeit war natürlich das Experimentieren mit einer Spielgelreflex Kamera und herkömmlichem Filmmaterial. Ich widmete mich der Stereofotografie. Dabei hatte ich keine Hilfsmittel ausser meiner Hände und ich musste aus dem bisher Gelesenen und meinem Gefühl die Fotos schiessen. Ich hoffte bei jedem Abdrücken, dass der räumliche Eindruck bei der späteren Bearbeitung entstehen würde. Ich hatte gelesen, dass man genau seitlich verschieben muss und die Kamera nicht im Geringsten verdrehen darf.

Aus dem Fotolabor mussten die Fotos natürlich Digital auf einer Foto-CD geliefert werden, um damit am Computer experimentieren zu können.

Da ich alle Fotos so etwa „Handgelenk mal Pi“ geknipst und noch überhaupt keine Erfahrung hatte, wurden auch nicht alle Bilder optimal.

Um in der Folge einfacher experimentieren zu können kaufte ich eine Digitalkamera. Damit wurde es viel leichter Stereofotografie zu betreiben. Ich kann



Abb. 33 Anaglyphen-Bild der Villa Cassel

nun einfach drauflos fotografieren und dann am Computer entscheiden, ob die Bilder etwas taugen. Sind sie zu ungenau kann ich sie einfach wieder löschen, ohne dass dabei Kosten entstehen, abgesehen vom minimalen Stromverbrauch einer Digitalkamera. Auch die Produktion für mich unnötiger Papierbilder, welche bei einer Foto-CD Bestellung mitgeliefert werden kann ich so verhindern.

Motivsuche:

Vor dem Aufnehmen der Fotos muss ein geeignetes Objekt gewählt werden. Dies ist oft das Schwierigste, denn die abgebildeten Gegenstände sollten für einen räumlichen Effekt in unterschiedlicher Entfernung liegen und möglichst interessant in ihrer Anordnung sein. Ein Sonnenuntergang über dem Meer ist ungünstig, da normalerweise keine Objekte im Vorder- und Zwischengrund sind. Speziell die Gegenstände im Vordergrund machen aber die räumlichen

Fotos so eindrücklich.

Bei Landschaftsfotos sind Bäume oder Felsen in unterschiedlicher Distanz gut geeignet um eine räumliche Tiefe zu erzeugen. Ist die Distanz vom Vordergrund zum Hintergrund zu gross (Siehe Abb. 34 und 35) fällt das Bild auseinander und wir haben den Eindruck als ob der Vordergrund künstlich eingeschoben wäre.

Bei Abbildung 33 habe ich bei der Bearbeitung darauf geachtet, dass der Weg von der realen Papierfläche in



Abb. 34 Anordnung der Bilder für Parallelblick



Abb. 35 Aletschgletscher für den Kreuzblick

die Bildtiefe hinein läuft.

Bei Personenfotos muss auf die Umgebung geachtet werden. Gruppenfotos in einer gewissen Entfernung werden als Reihe und nicht mehr räumlich empfunden, sie haben nur noch in Zusammenhang mit der Umgebung einen räumlichen Standpunkt, sind ansonsten aber „flach“.

Bei der Motivwahl ist natürlich auch wichtig, was für eine Kamera man besitzt, denn hier gibt es viele Möglichkeiten und nicht alle eignen sich für jede Szene.

Um stereoskopische Fotos zu erzeugen gibt es mehrere Methoden.

Die einfachste, aber ungenaueste ist die von Hand ohne irgendwelche Hilfsmittel. Es gibt aber auch spezielle Kameras und allerlei Zubehör und Tricks.

Aufnahmetechnik mit einer normalen Kamera:

Man verschiebt Kopf und Kamera, nach der ersten Aufnahme, genau horizontal nach rechts und drückt ein zweites Mal ab. Die Verschiebung sollte

etwa eine Kopfbreite betragen. Diese wenig grössere Aufnahmebasis als der normale Augenabstand wirkt sich aber auf Landschaftsbildern in Bezug auf die räumliche Tiefe positiv aus. Als gute Hilfe für den Bildabstand kann man aber auch einmal mit dem linken Auge durch den Sucher der Kamera blicken und abdrücken. Danach für die den genau gleichen Bildausschnitt mit dem rechten Auge. Bei den Zweitaufnahmen ist darauf zu achten, dass sich Vorder- und Hintergrund, zum Beispiel Menschen oder Wolken, nicht bewegen. Dinge die sehr weit weg sind sollten an der genau gleichen Stelle im Bild sein. Nur die näheren Objekte dürfen relativ zum Hintergrund etwas verschoben stehen.



Abb. 36 Stereovorsatz für gleichzeitige Stereobildaufnahme

Eine weitere Aufnahmemethode mit einer Kamera ist das horizontale Entlangschieben der Kamera an einer fixen Kante.

Bei beiden Methoden ist das Fotografieren bewegter Objekte nicht möglich, da sie sich beim zweiten Foto an einer anderen Stelle befinden würden und so das Schiessen zweier beinahe identische Halbbilder verunmöglichen.

Bei diesem so genannten sukzessiven Aufnahmeverfahren sollte darauf geachtet werden, dass eine künstliche Lichtquelle immer am gleichen Ort ist. Ein integrierter Blitz muss also ausgeschaltet sein, ansonsten entstehen vor allem bei Nahaufnahmen Effekte, welche die räumlichen Informationen der Halbbilder zerstören.

Das sukzessive Aufnahmeverfahren ist besonders für Nahaufnahmen geeignet, da die Stereobasis von normal 65 mm Distanz frei wählbar ist. Bei Fotos von Pflanzen oder Kristallen aus der Nähe reicht eine kleinere Stereobasis, das heisst ein verschieben der Kamera, von 30 - 40 mm. Sie kann aber je nach gewünschter Wirkung vergrössert oder verkleinert werden. Die Abbildung 37 ist eine Freihandfotografie

basisiven Stereobasis und erzeugt eine gute Tiefenwirkung.

Um ein Bild einer bewegten Szene zu machen braucht es einen so genannten Stereovorsatz (Abb. 36). Auf den Film einer solchen Kamera werden die beiden stereoskopischen Halbbilder gleichzeitig nebeneinander abgebildet.

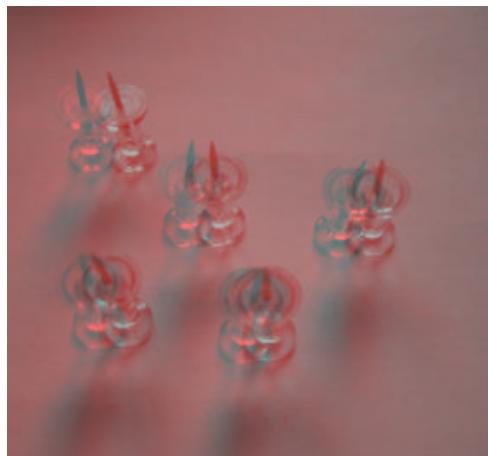


Abb. 37 Sukzessive Nahaufnahme zu einem Anaglyphen-Bild überlagert

Zwei Kameras:

Zwei Kameras werden so nebeneinander fixiert, dass die Stereobasis nicht zu gross ist und die Optiken parallel in die gleiche Richtung gerichtet sind. Danach muss man entweder mit einem zusammen gebauten doppelten Auslöser oder einfach von hand beide Auslöser gleichzeitig drücken.

Zwei gleiche Kameramodelle sind bei dieser Methode von Vorteil aber nicht zwingend nötig. Solche simultane Aufnahmen mit zwei Kameras sind eher für Aussenaufnahmen geeignet, da eine normale oder verkleinerte Stereobasis bei den oft grossen Kameras nicht möglich ist.

Kameras mit zwei Objektiven:

Für Profi- und Hobbystereofotografen, welche gerne die Natur in der dritten Dimension auf ihre Bilder bannen, haben verschiedene Firmen ihr Sortiment erweitert. Sie bieten spezielle Kameras an, welche zwei Objektive haben. Jede Einstellung an der Kamera gilt dann für beide Objektive. Zudem gibt es nur noch einen Auslöseknopf. Diese Kameras sind für bewegte Objekte jeder Geschwindigkeit geeignet.

Stereobild-Betrachtung:

Am schnellsten kann man die Aufnahme betrachten, indem man diese nebeneinander legt und übereinander schielt. Eine entsprechende Linsenbrille erleichtert das Stereosehen und entlastet die Augen. Liegt einem das Schielen nicht, kann man anhand eines schnell erstellten Anaglyphen-Bildes einen ersten Eindruck der Stereoaufnahme erhalten. Die Anaglyphen-Bilder benötigen mit etwas Übung für die Erstellung nicht einmal eine Minute pro Bild. Eine Feinabstimmung braucht jedoch etwas länger. Zur Feinabstimmung passt man beispielsweise die beiden Farben den Gegebenheiten genau an. Man lässt zum Beispiel noch etwas Grün im Bild, indem man der grünen Bildvorlage noch etwas Blau hinzugibt.

Das eine Bild kann auch noch nach rechts oder links verschoben werden, um die Gegenstände im Bild entgegenkommen zu lassen, oder um dem Bild eine grössere Tiefe zu geben. Für lange Panoramabilder gibt es auch die Möglichkeit, die beiden Aufnahmen getrennt übereinander anzuordnen und dann mit einer Brille zu betrachten, welche den Blick des einen Auges nach oben, das andere auf das untere Habbild lenkt. Diese Methode ist jedoch nicht weit verbreitet und selten anzutreffen.

7.2 Anaglyphen-Panorama

An der Expo 2002 in Murten konnte im Monolith die „Schlacht von Murten“ als Panorama betrachtet werden. Das überwältigend grosse Gemälde von welchem man umgeben ist beeindruckte mich sehr. Man stand mitten drin im Geschehen und rundherum wurde gekämpft, besiegt und geflüchtet.

Ein normales Bild hat einen Rahmen, doch ein Panorama ist endlos in der horizontalen Richtung. Man dreht sich und erblickt immer eine andere Szene. Faszinierend war auch zu sehen, wie die Luftperspektive eingesetzt wurde. Die entfernteren Burgen waren mit einem leichten Dunst versehen und der Rauch aus den Gewehren und Kanonen erzielte ebenfalls eine gewisse Räumlichkeit. Als der Maler Martin Martini 1609 dieses Panorama schuf, berücksichtigte er auch die Zentralperspektive.

Als ich mich Wochen später genauer mit den Anaglyphen-Bildern beschäftigte, kam mir der Gedanke, ein Anaglyphen-Panorama zu erstellen. Ein Panorama ist faszinierend und ebenso ein dreidimensionales Bild, also wieso sollte ich nicht beides kombinieren? Ich fing an, mir mehr Gedanken darüber zu machen und fotografierte mit der Digitalkamera ein erstes Panorama von Hand. Am Computer fügte ich danach, in einem Spezial-Programm, alle Bilder zu einem Gesamten zusammen. Dieses erste zweidimensionale Panorama hatte noch viele unschöne Stellen, da ich beim Fotografieren die Kamera nicht immer korrekt horizontal gehalten hatte. Das zweite Panorama erstellte ich dann mit Hilfe eines Stativs. Dieses zweidimensionale Panorama war nun befriedigend und ich konnte mich an die Vorbereitungen für das dreidimensionale Panorama machen.

Dazu erstellte ich einen Aufsatz für das Kamera-Stativ. Nun war es nicht nur möglich die Kamera schön horizontal um 360 Grad zu drehen, sondern sie in jeder Aufnahmeposition auch noch seitwärts um 65 mm zu verschieben. Diese Horizontalverschiebung ist unerlässlich zur Gewinnung des Zweitbildes zur Ergänzung der dritten Dimension.

Nun musste ich ein geeignetes Motiv mit einem Rundblick von 360 Grad finden. Es sollte rundum eine möglichst interessante Szenerie mit verschiedenen Tiefenabstufungen vorhanden sein.

Als ich einmal bei schönem Wetter bei meinen Grosseltern in Bretzwil BL zu besuch war, suchte ich in dieser bäuerlichen Umgebung nach einem geeigneten Aufnahmestandort.

Die ersten zwei Panoramen fotografierte ich in der Nähe des Elternhauses meiner Mutter. Das Dritte, welches ich schlussendlich weiterverarbeitet habe, entstand oberhalb des Dorfes. Ein leicht erhöhtes Stück Wiese sollte die Mitte dieses Panoramas werden. Der Aufsatz für das Stativ musste nun genau waagrecht eingestellt werden um loslegen zu können. Das erste nicht bedachte Problem stellte sich beim Fotografieren in alle Himmelsrichtungen mit der Sonne, die irgendwann ins Objektiv scheinen wollte. Ich stellte also die Höhe des Stativs so ein, dass ich nicht direkt in die Sonne fotografieren musste und der Schatten eines Schirmes verhinderte extreme Lichtunterschiede am Kamerastandort.

Nun konnte es losgehen. Ich knipste zuerst das Foto für das linke Auge und verschob danach die Kamera auf dem Aufsatz nach rechts. Dort schoss ich das Bild für das rechte Auge. Nun kam die erste leichte Drehung nach rechts. Ein kleiner Teil des ersten Fotos musste auch im folgenden Foto vorkommen, damit das Programm des Computers die Bilder richtig zusammensetzten konnte. Nun machte ich wieder zuerst das linke und danach das rechte Bild und so weiter, bis ich wieder beim Anfangsbild war. Ich wollte die Kamera schon abbauen, da sah ich, dass die beiden Zeiger der Kirchturmuhren übereinander lagen. Dies durfte natürlich auf einer Fotografie nicht sein und so wartete ich etwa fünf Minuten, bis sich die Zeiger etwas voneinander gelöst hatten. Nun konnte ich die betroffenen Kirchturmbilder nochmals aufnehmen. Die wenigen Wolken am Himmel hatten sich in der Zwischenzeit glücklicherweise nur unmerklich verschoben.

Zuhause lud ich die Bilder der Kamera auf den Computer. Nun stand ich vor der Frage wie ich am Geschicktesten weiter vorgehen sollte.

Es stellte sich die Frage: Soll ich die Halbbilder des linken und des rechten Auges getrennt zu zwei Panoramen zusammensetzen und anschliessend die beiden Panoramen zum Anaglyphen-Panorama verarbeiten.

Oder ist es besser, zuerst die jeweils zusammengehörenden Halbbilder zu Anaglyphen-Bildern zu verarbeiten und diese Bilder zum Anaglyphen-Panorama zusammenzufügen?

Ich entschied mich für die viel aufwändigeren zweite Methode. Der Grund liegt bei der Bildverarbeitung mit dem Panorama-Programm des Computers. Dieses setzt die beiden Halbbild-Panoramen nicht immer genau gleich zusammen, so dass bei der Weiterverarbeitung zu Anaglyphen die Panoramen nicht mehr optimal zusammen passen. Erstellt man jedoch aus den vielen Halbbildern zuerst Anaglyphen-Bildern, so kann man danach diese Bilder problemloser zum Panorama zusammenfügen. Es ist jedoch gut, darauf zu achten, dass jedes Bild die genau gleiche räumliche Tiefe hat. Stimmt diese nicht ganz exakt, so sind die Übergangsstellen von einem Teilbild des Panoramas zum nächsten in der dritten Dimension in unterschiedlicher Tiefe. Zur Korrektur solcher Ungereimtheiten muss man jeweils eines der beiden, zu Anaglyphen überlagerten, Halbbilder etwas in horizontaler Richtung verschieben. Die Verschiebung muss auf mindestens einen halben Millimeter genau sein, damit keine Unterschiede in der Tiefe mehr bemerkbar bleiben. War das Panorama im Computer soweit fertig, musste ich es zum Ausdrucken wieder in einzelne Bilder zerlegen und abspeichern. Das Ausdrucken gestaltete sich problematischer als ich dachte. Da die Farben bei den ersten Testdrucken nicht optimal mit den Farb-Filters der Anaglyphen-Brille übereinstimmten, mussten die Druckeigenschaften entsprechend geändert werden, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.

Nach dem erfolgreichen Ausdrucken der einzelnen Bilder waren diese exakt zusammenzukleben und die wasserlösliche Oberfläche mit einem Spray zu fixieren. Der geringste Spritzer würde die Inkjet-Farbe lösen und das Bild wäre punktuell beschädigt. Anaglyphen-Bilder sind sehr gefährdet, weil nicht nur ein Bildteil zerstört ist, sondern auch der räumliche Eindruck an dieser Stelle verschwindet. Jeder Fleck würde dann beim Betrachten mit einer Anaglyphen-Brille einfach in der Bildecke schweben.

Alles ist mir jedoch gut gelungen und ich konnte es dann auch kaum erwarten, bis ich mein Panorama provisorisch aufhängen und mit der Anaglyphen-Brille betrachten konnte.

8. Zukunft der stereoskopischen Darstellung

Auf den optischen Eindruck wird mehr geachtet als je zuvor und das wird wohl auch in Zukunft so sein. Im Laden schaut man etwas nach seinem Äusseren an und urteilt oft nicht nach dem wirklichen Nutzen. Entweder es gefällt einem oder eben nicht. Unter dem Streben nach perfektem Aussehen wird oft die Qualität vergessen. Die Artikel in den Läden werden immer aufwändiger angepriesen, wobei der Aufwand für die Werbung oft grösser als das Produkt selber ist. Eine Verpackung hat nicht selten das dreifache Volumen des Artikels darin. Wir produzieren Unmengen von Abfall, um etwas Kleines besser absetzen zu können.

Die visuelle Werbung ist allgegenwärtig. Die Stereoskopie wird aber noch selten für Werbezwecke genutzt. Der Aufwand ist noch zu gross und die Bilder erfordern meistens irgendwelche Hilfsmittel, um die dritte Dimension sichtbar zu machen. Am meisten Erfolg versprechen die sich in Entwicklung befindlichen Autostereobildschirme. Sie ermöglichen mehreren Personen gleichzeitig ohne Brille ein Objekt dreidimensional zu betrachten. Für die alltägliche Werbung ist die Stereoskopie nicht sehr praktisch. Umso mehr aber für andere Gebiete wie Architektur oder Landschaftsgestaltung. Es wird wohl bald üblich sein, dass man etwas virtuell gesehen, entwickelt und verändert hat, bevor es gebaut wurde. Nicht nur die Präsentation für die Kunden, welche ein Haus bauen möchten, sondern auch für die Arbeit der Architekten ist das 3D-Bild eine grosse Hilfe. Sie können so ungünstige Situationen eines Projekts frühzeitig erkennen. Auch die Integration in die Landschaft kann vor dem Bau überprüft werden und die Größenverhältnisse können angesehen werden.

In der Topografie werden die Höhenlinienpläne bald überflüssig sein, die Berge und Hügel werden direkt sichtbar gemacht und jede beliebige Höhenangabe kann abgerufen werden.

Ein grosser Zukunftsbereich liegt auch bei den Computerspielen. Manche Spiele sind schon heute so programmiert, dass man nur noch Shutterglasses und den geeignete Grafikkartentreiber erwerben muss um alle Dimensionen eines Spiels zu erforschen. Kommen die Autostereobildschirme auf den Massenmarkt, so wird bald jegliche Software für den Computer auch hierfür geeignet sein.

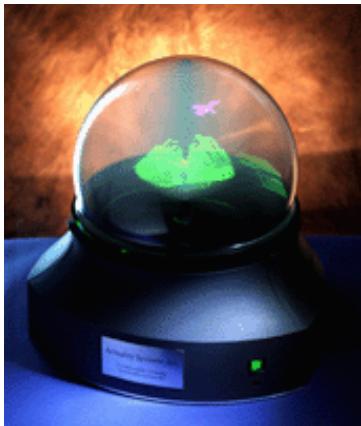


Abb. 38 Volumetric Display

Im Bereich Bildschirme wird aber auch in eine andere Richtung geforscht. Die so genannten „Volumetric Displays“ haben weder mit der Holografie noch mit den anderen von mir beschriebenen räumlichen Stereo-Bildern zu tun. In Volumetric Displays werden den Augen nicht zwei verschiedenen Ansichten einer Szene übermittelt, sondern die Bildpunkte dieser Displays werden dreidimensional wiedergegeben. Die einzelnen Bildpunkte aus denen ein solches Bild besteht nennt man „Voxel“. Der Name Voxel ist aus den Wörtern „Volume“ und „Pixel“ zusammengesetzt. Diese Voxels werden mit speziellen Lasern in halbkugelförmigen Gehäusen erzeugt (Abb. 38), die von allen Seiten angesehen werden können.

Obwohl es schon möglich ist in einer solchen Halbkugel 100 Millionen Voxels zu erzeugen steckt diese Technologie noch in den Kinderschuhen.

Eine weitere Methode zur dreidimensionalen Darstellung ist das Hologramm. Hologramme werden ebenfalls mit Lasern erzeugt. Wie die Voxels, brauchen sie danach zur Betrachtung auch keinerlei Hilfsmittel mehr. Durch die immer steigende Leistungsfähigkeit von Computern wird es möglich werden, selbst stereoskopische Filme zu drehen und diese selbstständig am Computer zu bearbeiten. Dazu müssen aber die Digitalen Filmkameras noch billiger werden und die Computer eine grössere Speicherkapazität bekommen, denn die heutigen Geräte stossen mit digitalen dreidimensionalen Filmen rasch an ihre Leistungsgrenzen. Es ist aber durchaus vorstellbar, dass eines Tages die Kinofilme ohne spezielle Brillen stereoskopisch dargeboten werden.

9. Rückblick über meine Abschlussarbeit

Stereoskopie ist ein so grosses Gebiet, das man unmöglich in einem Buch behandeln kann. Es lassen sich nur Teilbereiche mehr oder minder vollständig erfassen. Beispiele sind: Sehvermögen des Menschen, stereokopische Darstellungsmethoden, Programmierung von SIRDS-Programmen und andere mehr.

Anstatt mich blind in das Gebiet Stereoskopie zu stürzen, entschloss ich mich, mir einen Überblick zu verschaffen. Ich musste schon bald feststellen, dass dies nicht leicht ist. Bücher gibt es nur wenige und im Internet sind alle Informationen auf zahllosen Webseiten verstreut. Mir blieb keine Wahl als das Internet zu nutzen und ich fing an Webseite für Webseite durchzukämmen, Vergleiche anzustellen und die Richtigkeit der einzelnen Angaben zu überprüfen. Im Internet stiess ich erstmals auf ein Buch mit dem Titel Stereoskopie. Dieses Buch ist aber nicht eine Zusammenfassung der Methoden zur Darstellung räumlicher Bilder, sondern behandelt lediglich einen weiteren Teilbereich, nämlich den medialen Kontext der Stereoskopie seit deren Entdeckung.

Mit der Zeit erarbeitete ich mir eine gewisse Grundlage um mich dann an das Schreiben der ersten Kapitel zu wagen. Als jedoch immer mehr Fragen in Bezug auf das menschliche Sehen auftauchten, nahm ich Kontakt mit Herrn Bitterli, einem Optiker, auf. Er konnte mir die Methoden zum Testen des räumlichen Sehens vorführen und meine unzähligen Fragen vollständig beantworten. Die Gespräche mit Herrn Bitterli verarbeitete ich in drei Kapiteln dieser Arbeit, welche sehr wichtig sind für das allgemeine Verständnis der Methoden der räumlichen Darstellung. Das Auge bildet die Grundlage für die Wahrnehmung der dritten Dimension.

In meiner Arbeit konnte ich leider viele technische Abbildungsmethoden nur streifen, da es deren so viele gibt. Es kommt dazu, dass ich ein Spezialverfahren wie das von Herrn Pulfrich, welches nicht so richtig der Stereoskopie zugeordnet werden kann, trotzdem behandelt haben wollte. Dieses Verfahren wurde eine Zeit lang sogar in Fernsehsendungen angewandt, denn es ist einfach diesen Effekt zu erzielen, weil dazu nicht zwei stereoskopische Halbbilder nötig sind.

Carl Pulfrich entdeckte 1922 das nach ihm benannte Phänomen. Er setzte vor eines seiner Augen ein dunkles Glas und schaute dann mit beiden auf ein in einer Ebene schwingendes Pendel. Dadurch, dass er ein Auge abgedunkelt hatte, sah er das Pendel nicht mehr in einer Ebene schwingen, sondern in einer Kreisbewegung.

Die Erklärung ist einfach, aber das Phänomen musste erst entdeckt werden.

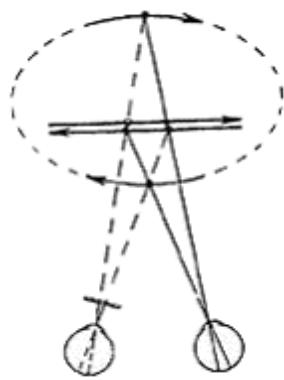


Abb. 39 Pulfrich-Phänomen

Der Effekt basiert auf der verzögerten Bildverarbeitung dunkler Bilder in unserem Gehirn. Schwingt das Pendel von links nach rechts, so kommt das etwas verzögert wahrgenommene Bild des linken, abgedunkelten Auges mit dem aktuelleren Hellen des rechten Auges zusammen, und es entsteht der räumliche Eindruck. Man hat das Gefühl, als kreise das Pendel (Abb. 39). Das helle und dunkle Bild der Augen ergeben zusammen ein Stereobildpaar.

Da nie zwei Halbbilder vorhanden sind kann diese Art nicht in die Technik der normalen Stereoskopie zugeordnet werden.

Brillen bei denen ein Auge abgedunkelt ist nennt man Nuoptix-Brillen. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass sie nur bei bewegter Szene funktioniert und für statische Bilder deshalb nicht geeignet ist.

Ein weiters Verfahren, welches auch nicht direkt etwas mit Stereokopie zu tun hat, aber trotzdem einen räumlichen Eindruck erzeugt, möchte ich ebenfalls noch erwähnen. Es heisst Chromadepth, was so viel wie Farbtiefe bedeutet. Wie jeder schon bemerkt hat ist es unangenehm, wenn mit roter Farbe etwas auf blauem oder grünem Hintergrund geschrieben steht. Man hat das Gefühl, die rote Schrift würde weiter vorne stehen. Genau dieser Effekt wird beim Chromadepth-Verfahren genutzt. Mit speziellen Prismenbrillen wird dieser Effekt verstärkt und es entstehen scheinbare dreidimensionale Bilder. Diese Methode ist eher als bunte Grafik zu bezeichnen mit ein wenig Tiefeneffekt. Bei dieser Technik wird mit der unterschiedlichen Brechkraft verschiedener Wellenlängen des Lichts gearbeitet. Die Chromadepth-Grafiken dienen

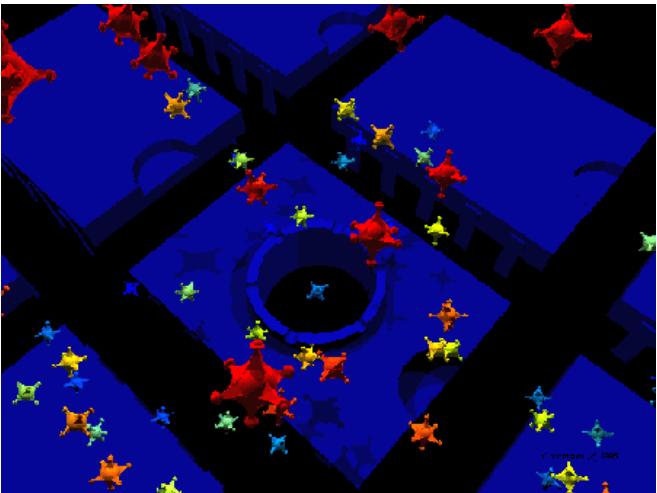


Abb. 40 Ein Chromadepth-Bild ergibt mit einer entsprechenden Brille einen räumlichen Effekt

selten einem bestimmten Zweck, sondern erzeugen einfach einen besonderen Effekt.

An der Herbstmesse in Basel war dieses Jahr erstmals eine Schaubude, in welcher Chromadepth-Brillen eingesetzt wurden. An den Wänden waren zum Beispiel unzählige Sterne, welche im Schwarzlicht leuchteten. Mit der ausgehändigten Brille hatte man das Gefühl man stehe mitten im

Sterngarten, wie beispielsweise die Sterne am Himmel.

nenmeer. Es wurden noch unzählige andere Effekte gezeigt, wie beispielsweise eine Lampe, welche viele weisse Punkte an die Wand projizierte. Diese Punkte hatten dann alle Farben des Regenbogens. Insgesamt fand ich den Rundgang eher dürftig, denn es hätte viel mehr Möglichkeiten gegeben, die verschiedenen Farbtiefen zu nutzen. Dieser Rundgang ist aber sicher ein Anfang für die Verbreitung der Faszination für das Räumliche.

Es gibt viele stereoskopische Darstellungsverfahren, doch die Anaglyphen-Technik gefällt mir von allen am besten. Sie ist sehr einfach und liefert ausgezeichnete räumliche Bilder. Der Nachteil liegt in der beschränkten Farbentreue, denn nicht alle können perfekt wiedergegeben werden. Es gibt jedoch Anwendungsbereiche, bei denen die Farbe zweitrangig ist und die Technik hervorragend anwendbar ist. Auch wenn die Autostereobildschirme wahrscheinlich eine grössere Verbreitung finden werden, wird die Anaglyphen-Technik ihren Platz behalten. Schon deswegen, weil ich beim Durchforsten des Internets nie auf ein Anaglyphen-Panorama gestossen bin. Mit anderen Worten, diese Technik ist noch lange nicht ausgeschöpft.

Das Wichtigste aller stereoskopischen Abbildungsverfahren ist jedoch das Erfahren der künstlichen Dreidimensionalität. Erst mit diesen Bildern erkennt

man, was räumliches Sehen heisst und was es jedem Einzelnen für eine grosse Hilfe im täglichen Leben und bei der Arbeit ist.

Die Beschäftigung mit diesem Thema hat mir sehr Spass gemacht und mir während der ganzen Zeit immer neue Erkenntnisse gebracht. Bei einer erneuten Themenwahl würde ich deshalb wieder oder nochmals dasselbe Thema wählen. Die Arbeit hat mich auf die verschiedensten Arten herausgefordert. So musste ich nicht nur das Fotografieren mit der Digitalkamera erlernen, sondern auch die anschliessende Bildbearbeitung am Computer. Den Kontakt mit den verschiedensten Personen fand ich sehr spannend, da dieses Gebiet jedes Mal in einem anderen Licht erschien und Anlass zu weiteren Versuchen, Erkenntnissen und Experimenten gab.

Abschliessen möchte ich mit einem Zitat von Plato, welches sehr gut zu meinem Thema passt. Mit diesem Zitat wird noch ein ganz anderer Bereich von Fragestellung berührt, welcher sich an meine Überlegungen zum räumlichen Sehen anschliesst.

„Wahrnehmung erkennt nichts Dauerndes, gibt also nicht Gewissheit, sondern nur täuschende Meinung.“

Platon, griechischer Philosoph, 427-347 v. Chr.

10. Glossar ¹⁶

Akkommodation:

Die Akkommodation ist das Scharfstellen der Augenlinsen auf den betrachteten Raumpunkt.

Amblyopie:

Sehschwäche eines organisch sonst gesunden Auges.

Anaglyphen:

In Komplementärfarben überlagerte Halbbilder. Zur Betrachtung ist eine entsprechende Farbfilter-Brille nötig.

Aufnahmebasis:

Die Aufnahmebasis ist der Abstand der optischen Achsen der beiden Objektive einer Stereokamera.

Augenabstand:

Gegenseitiger Abstand der Sehlochmitten bei entspannter Akkommodation. Beträgt normalerweise ca. 65 mm.

Autostereogramm:

Stereoskopische Bilder, die ohne Hilfsmittel betrachtet werden können, nennt man Autostereogramme.

Bewegungsparallaxe:

Relative Geschwindigkeit zweier Objekte. Fahren zwei Autos mit der gleichen Geschwindigkeit in dieselbe Richtung aber in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter, so bewegt sich das nähere Auto scheinbar schneller als das Entferntere.

¹⁶ Quellen: <http://www.heise.de/ct/99/07/158>
<http://www.stereoskopie.de/Begriffe.html>
<http://home.t-online.de/home/agp.herb/ download/stereoglossar.pdf>
Dr. Werner Pietsch: „Die Praxis der Stereo-Nahaufnahmen“

Bildtrennung:

Strahlenauslese zur Gewährleistung augenrichtiger Zuordnung zweier überlagerter Halbbilder.

Binokular:

Beidäugig; Binokularsehen = Sehen mit zwei Augen

Chromadepth:

Beim Chromadepth-Verfahren werden die Tiefeninformationen des Bildes mittels Farben umgesetzt. Auch ohne Brille sieht man die Bilder, aber flach.

Diplopie:

Doppelzehen; Tritt bei zu grosser Disparation auf.

Disparation:

Die auf nicht korrespondierenden („disparaten“) Netzhautstellen beider Augen erfolgende Abbildung eines Gegenstandspunktes.

Disparität:

Objekte, deren Position im Raum weiter oder näher als die Fixationsentfernung ist, werden auf „disparaten“ (seitlich verschobenen) Netzhautstellen abgebildet.

Divergenz:

Augenbewegung voneinander weg zum Sehen in die Ferne, extrem bei paralleler Ausrichtung der Augen (unendliche Entfernung des Motivs).

Fixation:

Ausrichtung der Augen auf ein Objekt.

Fokussieren:

Augen auf eine Entfernung scharf stellen.

Fovea:

Netzhautgrube auch Sehgrube; bezeichnet die Stelle des schärfsten Sehens im Auge.

Fusion:

Die Fusion ist der Vorgang, der zum binokularen (beidäugigen) Einfachsehen führt.

Die motorische Fusion erfolgt über Vergenzbewegungen der Augen.

Die sensorische Fusion geschieht über neuronale Prozesse, die auch bei Netzhautbildern mit kleiner Disparität zum Einfachsehen führen, wobei die Disparität als Entfernungsinformation ausgewertet wird.

Gigantismus:

Gigantismus ist die raumbildliche Vergrößerung, wenn die Aufnahmeflächabstand kleiner als der Augenabstand ist.

Halbbild:

Stereoskopische Halbbilder nennt man die beiden seitwärts leicht verschobenen Aufnahmen einer Szene, welche übereinander geschiebt den räumlichen Eindruck hervorrufen. Man spricht deswegen von Halbbildern, weil sie einzeln keine erkennbaren Tiefeninformationen enthalten und deswegen nur die eine Hälfte eines stereoskopischen Bildes ausmachen.

Haploskopie:

Haploskopie DIN 5340 – 172: „Methode der für jedes Auge getrennten simultanen oder sukzessiven Objektdarbietung, die eine gleichzeitige visuelle Wahrnehmung ermöglicht.“

Holografie:

Dreidimensionales Bild, das mit dem kohärenten Licht eines Lasers auf eine spezielle Fotoplatte gebannt wurde.

HMD:

Head Mounted Display; Siehe VR-Helm

Kohärentes Licht:

Mit der gleichen Frequenz in die gleiche Richtung schwingendes Licht.

Konvergenz:

Augenbewegung zueinander hin zum Nahsehen, extrem beim einwärtigen Schielen.

Konvergieren:

Augen auf ein Objekt ausrichten

Korrespondenz:

Netzhautpunkte, die beim fusionierten Binokularsehen das gleiche Objekt in Fixationsentfernung im Sehfeld abbilden, heißen korrespondierende Netzhautstellen. Stellt man sich die Netzhäute beider Augen so übereinander liegend vor, dass sich die beiden Foveae decken, dann liegen korrespondierende Netzhautstellen genau übereinander.

Kreuzblick:

Die Augenachsen kreuzen sich vor dem angeschauten Bild.

LCD:

Liquid Crystal Display

Liliputismus:

Liliputismus ist die raumbildliche Verkleinerung, wenn die Aufnahmeflächengröße grösser als der Augenabstand ist.

Linsenraster:

Folie mit einer Struktur (Raster) von vertikal verlaufenden Zylinderlinsen, die den Blick auf das darunter liegende Stereogramm lenken. Die Halbbilder sind in Streifen geschnitten und dem Raster angepasst.

Orthomorph:

Gestalt- und lagerichtig. Synonym für richtig in der Gestalt. Ein orthomorphes Raumbild erzeugt beim Betrachter einen gegenüber dem natürlichen

lichen Sehen formrichtigen, aber nicht unbedingt massstabsgetreuen Verschmelzungseindruck.

Orthoskopisch:

Richtige Tiefenfolge in einem Raumbild.

Parallaxe:

Gegenseitiger Abstand der korrespondierenden Bildpunkte eines Stereobildes.

Parallelblick:

Die Augen sind parallel ausgerichtet

Pixel:

Kleinste Einheit auf einem Bildschirm

Polarsation:

Eigenschaft des Lichtes, nur in eine Richtung zu schwingen.

Pseudoskopisch:

Umgekehrte Tiefenfolge in einem Raumbild.

Querdisparation:

Anderes Wort für Stereoskopische Basis

RDS:

Random Dot Stereogram; Ein Stereogramm, das aus zwei Bildern mit zufälligen Punkten besteht.

Shutterglasses:

Brille mit LCD-Einsätzen, die synchron mit dem Halbbildwechsel für das linke und rechte Auge abgedunkelt werden.

Stereobild:

Bildpaar aus zwei parallaktisch verschiedenen, grösstenteils inhaltsgleichen Halbbildern.

Stereogramm:

Stereobild bestehend aus einem oder zwei Bildern

Stereosehen:

Tiefensehen oder räumliches Sehen, das auf der Auswertung der Disparität beruht.

Stereoskop:

Ein Stereoskop ist ein Gerät zur Betrachtung zweier zusammengehörender stereoskopischer Bilder.

Stereoskopie:

Raumbildwesen; Die Gesamtheit der Verfahren zur Aufnahme und Wiedergabe raumgetreuer Bilder

Stereoskopische Basis:

Gegenseitiger Abstand stereoskopisch zusammengehöriger Perspektivzentren.

Simultan:

Gleichzeitig

SIRDS:

Single Image Random Dot Stereogram; Das Grundmuster besteht aus einer zufälligen Anordnung von Punkten.

SIRTS:

Single Image Random Text Stereogram; Die Basis ist ein mehr oder minder raffiniertes Buchstabenmuster.

SIS:

Single Image Stereogram; Damit sind alle Einbildstereogramme gemeint. Im Allgemeinen sind damit die Stereogramme mit einem sich wiederholenden Muster als Basis gemeint. Dieses Muster kann, im Gegensatz zu den SIRDS, auch Bilder enthalten, welche sich wiederholen.

SITS:

Single Image Text Stereogram; Der Text ergibt ein Bild, welches sich im ganzen Stereogramm wiederholt und mit einem Schielblick teilweise räumlich erscheint.

Strabismus:

Schielen; beständige oder ab und zu auftretende Fehlstellung der Augen.

Sukzessive:

Nacheinander

Tautomorph:

Gestalt-, großen- und lagerichtig; vorlagengetreu. Synonym für identisch in der Gestalt. Ein tautomorphes Raumbild erzeugt beim Betrachter einen gegenüber dem natürlichen Sehen unverfälschten (also raumrichtigen und massstabsgetreuen) Verschmelzungseindruck.

Vergenz:

Gegensinnige Bewegung der Augen, um ein Sehobjekt auf korrespondierenden Netzhautstellen abzubilden.

VR-Helm:

Virtual Reality Helm; Stereoskopisches Betrachtungsgerät in Helmform für interaktive Computersimulationen . Meistens werden Lage und Position des Helmes an den Computer zurückgemeldet, und beeinflussen das Programm.

Voxel:

Dieser Name setzt sich aus den beiden Wörtern „Volume“ und „Pixel“ zusammen. Ein Voxel ist ein räumlicher Bildpunkt, der mit Hilfe von Lasern erstellt wird.

Literaturverzeichnis

Buchtitel

Tom Baccei

“Das Magische Auge“

„Dreidimensionale Illusionsbilder“

© 1994 für die deutsche Ausgabe arsEdition, München

Aus dem Englischen von Werner Horwath

Titel der Originalausgabe: „Magic Eye“

© 1993 N.E. Thing Enterprises

Originalverlag: Andrews and McMeel, Kansas City (USA)

Alle Rechte vorbehalten Printed in Belgium

ISBN: 3-7607-8297-3

David S. Falk / Dieter R. Brill / David G. Stork

„Ein Blick ins Licht“

„Einblicke in die Natur des Lichts und Sehens, in Farbe und Fotografie“

Birkhäuser Verlag / Springer-Verlag

© 1986 Harper & Row, Publishers, Inc.

Titel der amerikanischen Originalausgabe: „Seeing the Light: Optics in Nature, Photography, Color, Vision, and Holography“

ISBN 3-7643-2401-5

UB – Standort: Freihandmagazin JH 1388

Richard P. Feynman

„QED – Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie“

Piper München • Zürich

© für die deutsche Ausgabe: R. Piper GmbH & Co. KG, München 1988

Die Originalausgabe erschien 1985 unter dem Titel „QED – The Strange Theory of Light and Matter“

Bei Princeton University Press, Princeton.

UB – Standort: Freihandmagazin JK 2442

A. C. S. van Heel / C. H. F. Velzel
„Was ist Licht?“
Kindler Verlag GMBH München ©1968
Titel der holländischen Originalausgabe: „Wat is Licht?“
UB – Standort: Freihandmagazin JK 1014

Dr. Werner Pietsch
„Die Praxis der Stereo-Nahaufnahmen“
VEB Wilhelm Knapp Verlag Halle (Saale) 1957

Fritz Vögtle, Joachim Franke, Wolfgang Bunzel, Arno Aigner, Detlev Worsch
und Karl-Heinz Weissbarth
„Stereochemie in Stereobildern“
© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of
Germany), 1987
ISBN 3-527-26520-1
UB – Standort: Freihandmagazin JL 2543

Einzeltexte aus Sammelwerken

Berichte der Sächs. Akad. 119 -121 1986 – 90
Sitzungsberichte der sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse
Band 119 - Heft 6
Matthias und Ulrich Sachsenweger
„Das Raumsehen bei bewegten Objekten auf der Basis der dynamischen
Stereoskopie und der Bewegungsparallaktoskopie sowie seine Bedeutung
für Arbeits- und Verkehrsmedizin“
Akademie-Verlag Berlin, DDR-1086 Berlin, Leipziger Strasse 3-4
© Akademie-Verlag Berlin 1988
Lizenznummer: 202 100/387/87
Printed in the German Democratie Republic
ISBN 3-05-500469-8
UB – Standort: Freihandmagazin Nat. Ges. 788

Texte aus Zeitschriften

„Spektrum der Wissenschaft“
„Mathematische Unterhaltungen“
Digest 2/2002
<http://www.spektrum.de>

Quellen aus Computernetzwerken

Alle Links dieser Abschlussarbeit habe ich am 30.12.02 überprüft.

Organisationen:

http://stereoscopy.com/isu	International Stereoscopic Union
http://www.imax.com	IMAX International
http://www.stereoscopicsociety.org.uk	The Stereoscopic Society
http://www.stereoscopy.com	The World of 3D-Imaging
http://www.stereoskopie.ch	Schweizerische Gesellschaft für Stereoskopie
http://www.stereoskopie.de	Stereoskopie.de
http://www.stereoskopie.org	Deutsche Gesellschaft für Stereoskopie

Museen:

http://www.dtmb.de	Deutsches Technikmuseum Berlin
http://www.exploramuseum.de	Explora
http://www.verkehrshaus.org	Verkehrshaus der Schweiz

Galerien:

http://apeiron-3d.tripod.com	3d-apeiron: Kreuzblick-Bilder
http://home.wtal.de/schwebin	Fraktalwelt
http://membres.lycos.fr/alpealpe	Alpenbilder

http://www.3d-landschaften.de	3d-Landschaften
http://www.dddesign.com	3D by Dan Shelley
http://www.magiceye.com	Magic Eye
http://www.stereophotographie.de	Stereofotografie
http://www.wettmann.de	Das Rheinland in historischen Stereofotos
http://www.wundersamessammelsurium.de	Wundersames

Zubehör:

http://www.3d-brillen.de	3d-Brillenladen
http://www.3dmagic.com	3DTV
http://www.4d-vision.de	4D-Vision GmbH
http://www.i-glassesstore.com	iO Display Systems
http://www.rbt-3d.de	RBT - Raumbildtechnik GmbH
http://www.stereo3d.com	stereo3d.com
http://www.stereo-optik-grosch.de	Stereo Optik Grosch
http://www.tu-berlin.de	Technische Universität Berlin
http://www.vrex.com	VREX Stereoscopic 3D

Literatur:

http://drongo.piranho.de/stereo/stereo.htm	Anaglyphen Bilder
http://home.t-online.de/home/agp.herbiger	Stereofotografie
http://medien.informatik.uni-ulm.de	Medien Informatik
http://www.3d-historisch.de	Anaglyphen-Zeppeline
http://www.3dwebsite.de	Stereoskopie und Visualisierung
http://www.ccc.nottingham.ac.uk	The University of Nottingham
http://www.cs.waikato.ac.nz	Waikato Department of Computer Science
http://www.felix3d.com	Felix 3D-Display

http://www.fotoinfo.de	Informationen zur Fotografie
http://www.heise.de/ct/99/07/158	Räumlich durchs Auge
http://www.kuehnert.de	Ingenieurbüro Kühnert
http://www.traxxdale.de	Traxxdale
http://www.uni-kl.de	Universität Kaiserslautern
http://www.uni-tuebingen.de	Universität Tübingen

Optik:

http://www.augeninfo.de	Berufsverband der Augenärzte
http://www.gesundheit.de	Gesundheit
http://www.optometrie-online.de	Optometrie Online
http://www.perret-optic.ch	Perret Opticiens
http://www.sov.ch	Schweizer Optikerverband SOV

Bildverzeichnis:

- Abb. 1 <http://home.t-online.de/home/uf-3d-foto/geschichte/kurzgeschichte/kurzgeschichte.html>
- Abb. 2 <http://www.wundersamessammelsurium.de/Optisches/3d/>
- Abb. 3 <http://www.wundersamessammelsurium.de/Optisches/3dStereoskop1>
- Abb. 4 <http://www.stereoskopie.de/Geschichte.html>
- Abb. 5 Andreas Berchtold
- Abb. 6 Andreas Berchtold
- Abb. 7 <http://www.stereoskopie.de/Geschichte.html>
- Abb. 8 <http://www.stereoskopie.de/Geschichte.html>
- Abb. 9 <http://www.stereoskopie.org>
- Abb. 10 Andreas Berchtold
- Abb. 11 <http://www.perspektrum.de/index2.htm>

- Abb. 12 <http://www.perspektrum.de/index2.htm>
- Abb. 13 Andreas Berchtold
- Abb. 14 Andreas Berchtold
- Abb. 15 http://www.pulltime3d.com/01_conversions/01_06conversions.html
- Abb. 16 Andreas Berchtold
- Abb. 17 Andreas Berchtold
- Abb. 18 Andreas Berchtold
- Abb. 19 Andreas Berchtold
- Abb. 20 Andreas Berchtold
- Abb. 21 Andreas Berchtold
- Abb. 22 Andreas Berchtold
- Abb. 23 Andreas Berchtold
- Abb. 24 Andreas Berchtold
- Abb. 25 Andreas Berchtold
- Abb. 26 <http://www.nottingham.ac.uk/~etzpc/nz/sirds/general.html>
- Abb. 27 Andreas Berchtold
- Abb. 28 http://www.magiceye.com/home_3d_hidden.html
- Abb. 29 <http://www.magiceye.com>
- Abb. 30 <http://www.stereo3d.com/3dhome.htm>
- Abb. 31 <http://www.stereo3d.com/displays.htm#polar>
- Abb. 32 Andreas Berchtold
- Abb. 33 Andreas Berchtold
- Abb. 34 Andreas Berchtold
- Abb. 35 Andreas Berchtold
- Abb. 36 <http://www.stereos copie.de/contaflex-steritar.htm>
- Abb. 37 Andreas Berchtold
- Abb. 38 <http://www.actuality-systems.com/volumetric3d.php3>
- Abb. 39 http://www.uni-kl.de/AG-Leopold/Archiv/Wpfl_WS00_01/R%E4umliches_S/referat.html
- Abb. 40 http://www.chromatek.com/Image_Galleries/Classics/classics.shtml

Ehrlichkeitserklärung

Die eingereichte Arbeit ist das Resultat meiner persönlichen, selbstständigen Beschäftigung mit dem Thema. Ich habe für sie keine anderen Quellen benutzt als die in den Verzeichnissen aufgeführten. Sämtliche wörtlich übernommenen Texte (Sätze) sind als Zitat gekennzeichnet.

Ort, Datum

Unterschrift