How does it work?

Teil 18: Wie funktioniert Stereoskopie?

Die Funkausstellung hat es gezeigt: 3-D-Fernseher sind der neueste technologische Trend für den Privatmann. Auch das Kino erlebt spätestens seit dem 3-D-Film Avatar einen stereoskopischen Höhenflug. Wie entsteht der räumliche Seheindruck? Wie kann man Bilder mit 3-D-Effekt wiedergeben? Wie kommen die bewegten Bilder ins Wohnzimmer? Dieser Artikel soll einen Überblick geben über die Grundlagen und die technischen Möglichkeiten der Stereoskopie für stehende und bewegte Bilder.

Eigentlich eine alte Technik

Als Erfinder der Darstellung von Bildern mit räumlicher Tiefenwirkung gilt der englische Experimentalphysiker Charles Wheatstone, der im Jahre 1838 erstmals das Spiegelstereoskop beschrieb [1, 2, 3]. Mit dieser wissenschaftlichen Versuchs- und Demonstrationsapparatur konnte er zeigen, dass eine räumliche Tiefenwirkung eines Bildes erreicht werden kann, wenn das rechte und das linke Auge separat zwei seitlich gegeneinander versetzt aufgenommene Bilder eines dreidimensionalen Objektes betrachten. Im Spiegelstereoskop sorgen zwei rechtwinklig zueinander geneigte Spiegel dafür, das jedes Auge nur eines der beiden Bilder sehen kann. So einfach das Prinzip ist, so mühsam war damals vor der Erfindung der Photographie die Erzeugung der Bildpaare: Wheatstone musste die Stereobildpaare berechnen und zeichnen.

Es dauerte nicht lange und die 1839 erfundene Photographie wurde zur Erzeugung von stereoskopischen Aufnahmen angewendet. Hierzu wurden von einer Szene zwei seitlich gegeneinander versetzte Aufnahmen nacheinander angefertigt. Einfacher wurde es 1849 durch die Entwicklung einer Kamera mit zwei Objektiven durch David Brewster, mit der man die beiden Teilbilder gleichzeitig aufnehmen konnte. Brewster gelang auch die Konstruktion eines einfachen, kompakteren Stereoskops auf der Basis zweier halbierter prismatischer Linsen. Spiegel kamen hier nicht mehr zum Einsatz (Abb. 2) [4].

Vorführungen auf der Londoner Weltausstellung 1851 machten die Stereoskopie weiten Kreisen bekannt. Insbesondere das von Oliver Wendell Holmes 1861 vorgestellte Stereoskop fand weite Verbreitung, da es sehr einfach aufgebaut war. Gegen Ende des 19. Jahrhunderst flaute die allgemeine Stereo-Begeisterung wieder ab. Eine neue Stereowelle entstand mit der Einführung des 35-mm-Films und des Farbdiafilms. Bald konnte man Stereobilder auch mit tragbaren 24 x 36 mm²-Kameras machen. Die beiden Stereo-Teilbilder wurden dabei im Hochformat 24 x 18 mm² nebeneinander auf den Film abgebildet. Mit der Entwicklung eines kostengünstigen Polarisationsfilters im Jahr 1936 wurde auch die Projektion von Stereobildern auf metallisch beschichtete Leinwände möglich. Die Zuschauer mussten dafür eine Polarisationsbrille tragen, so wie heute im 3-D-Kino auch.

Psychophysikalische Grundlagen der räumlichen Wahrnehmung

In der menschlichen Wahrnehmung entsteht der Eindruck räumlicher Tiefe durch eine Vielzahl verschiedener Effekte und Mechanismen. Wer annimmt, dass allein die seitliche Abweichung der Bildorte auf der Netzhaut zu einer Tiefenwirkung führt, übersieht, dass auch Einäugige einparken können. Es lohnt sich also, hier einmal etwas genauer auf diese Mechanismen einzugehen [6].

Das Beispiel mit dem Einäugigen zeigt, dass es auch monokulare Kriterien für eine Tiefenwahrnehmung gibt. So ergibt sich Tiefeninformation z. B. durch Größenunterschiede bekannter Objekte, lineare Perspektive, eine mit der Entfernung dichter werdende Bildtextur und entfernungsabhängige Unschärfen. Auch Schattenwurf, mit der Entfernung abnehmender Kontrast und zunehmende bläuliche Tönung (atmosphärsche Perspektive) erzeugen Tiefeninformation. Die relative räumliche Anordnung von Objekten kann auch durch Verdeckung und Überlagerung erkannt werden: Wenn ein Objekt Teile eines anderen Objektes verdeckt, so wird es als näher liegend empfunden.

Kommt Bewegung ins Bild, so kommen weitere monokulare Tiefenkriterien hinzu, denn weiter entfernte Bildteile bewegen sich typischerweise mit geringerer Winkelgeschwindigkeit. Bei seitlicher Kopfbewegung kann man schon allein aus der unterschiedlichen Verschiebung der wahrgenommenen Objekte auf unterschiedliche Entfernungen schließen. Auch der Akkomodationszustand kann eine Entfernungsinformation liefern.

Bei beidäugiger Betrachtung kommen nun noch die binokularen Tiefenkriterien hinzu.

- Bei der okulomotorischen Vergenzbewegung werden bei der Betrachtung naher Objekte die Sehachsen beider Augen aufeinander zu gedreht. Bei der Betrachtung entfernter Objekte werden die Sehachsen hingegen parallel gestellt. Dieser unwillkürliche Mechanismus wird zur Entfernungsabschätzung herangezogen.
- Durch die Auswertung der Querdisparation der Netzhautbilder beider Augen kommt es schließlich zum stereoskopischen Tiefensehen. Querdisparation liegt dann vor, wenn die Bildpunkte eines Objektpunktes nicht auf korrespondierenden Netzhautpunkten beider Augen abgebildet werden, also nicht im gleichen räumlichen Bezug zum Bild des gerade fixierten Punktes (des sog. Fixpunktes) stehen. Abbildung 3 zeigt den Fall einer Abbildung verschiedener Punkte ohne Querdisparation. Die dort gezeigten Punkte A und C werden genau wie der Fixpunkt B als Einfachbild wahrgenommen. Der eingezeichnete Kreis aller Punkte ohne Querdisparation wird als Vieth-Müller-Kreis bezeichnet.

In Experimenten konnte gezeigt werden, das nicht nur Punkte auf diesem Kreis sondern auch noch in einem Bereich um den ▶

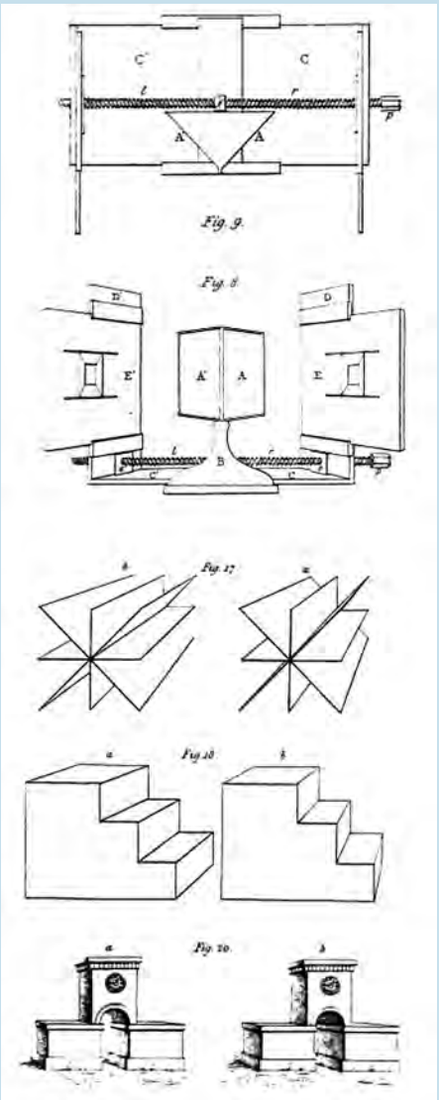

Abb. 1: Das Stereoskop von Charles Wheatstone (oben) und einige von ihm gezeichnete Stereogramme (unten) [2].

Abb. 2: Oben: Brewsters Linsen-Stereoskop, London 1856 [4]. Unten: Stereoskop von Holmes, Boston 1861 [5].

Abb. 5: Ein Magic-Eye-Bild: Räumlicher Eindruck durch Querdisparation [9].

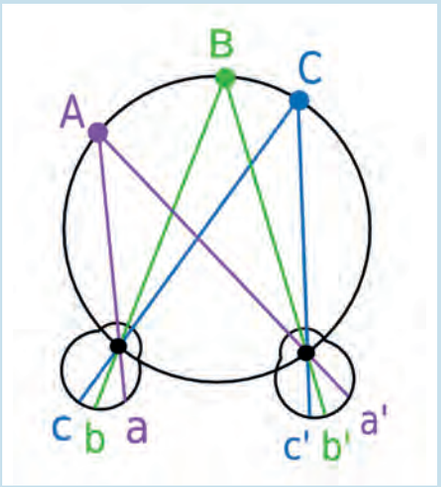

Abb. 3: Der Vieth-Müller-Kreis enthält alle Punkte, die ohne Querdisparation abgebildet werden [7].

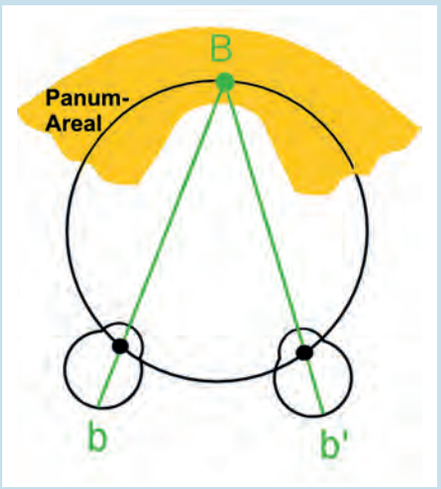

Abb. 4: Alle innerhalb des Panum-Areals liegenden Punkte werden als Einzelbildpunkte wahrgenommen [nach 7, 8].

Kreis herum als Einfachbild wahrgenommen werden. Dieser Bereich wird nach seinem Entdecker das Panum-Areal genannt. Liegt ein Punkt außerhalb des Vieth-Müller-Kreises, aber noch innerhalb des Panum-Areals, so wird er ebenfalls als Einzelpunkt wahrgenommen. Die dabei auftretende Querdisparation führt noch nicht zu einem Doppelbild sondern zum stereoskopischen Tiefeneindruck – der Punkt erscheint in einem anderen Abstand. Liegt ein Punkt allerdings außerhalb des Panum-Areals, so ist die Querdisparation so groß, dass es zur Wahrnehmung eines Doppelbildes kommt.

Mit Hilfe computergenerierter Stereogrammen wie z. B. den Magic-Eye-Bildern, die in den 90er Jahren populär wurden, kann man leicht zeigen, dass allein die Querdisparation schon zu einem räumlichen Bildeindruck führen kann, auch wenn alle anderen Kriterien nicht vorliegen. Schielen Sie bitte bei der Betrachtung der Abbildung 5 gerade so stark, dass benachbarte Rosen gerade wieder übereinander liegen. Dabei aber bitte trotzdem auf das Bild akkommodieren. Sehen Sie auch das Herz?

Verfahren zur stereoskopischen Bildwiedergabe

Alle üblichen Verfahren zur stereoskopischen Bildwiedergabe basieren darauf, die beiden Teile eines Stereobildpaares so darzustellen, dass jedes Auge nur eines der beiden Teilbilder zu sehen bekommt. Die schon beschriebenen historischen Verfahren nach Wheatstone und Brewster trennen die beiden Teilbilder, die einzeln als Papierbild vorliegen müssen, optisch mit Hilfe von Spiegeln oder prismatischen Linsen. Beim Holmes-Stereoskop werden die beiden im Augenabstand angeordneten Teilbilder direkt über Okulare betrachtet. Diese Verfahren eignen sich nur für die Bildbetrachtung durch eine Einzelperson. Mit der Entwicklung der HMD-Technologie (head mounted display – zwei Minidisplays in einer Spezialbrille) erlebt diese Technik eine Renaissance. Abbildung 6 zeigt die Cinemizer-Brille von Carl Zeiss. Diese Brille enthält zwei Miniaturbildschirme, die über ein optisches System vergrößert virtuell aufrecht in einem

Abb. 6: Die Cinemizer-Brille von Carl Zeiss enthält zwei Miniatur-Displays [10].

angenehmen Bildabstand abgebildet werden. Damit kann der Nutzer 3-D-Videos, die von einem iPod abgespielt werden, in guter Qualität ansehen.

Einen räumlichen Bildeindruck ohne weitere Hilfsmittel bei natürlichem Sehverhalten ermöglichen Linsenrasterbilder. Bei diesen werden die beiden Stereo-Teilbilder in vertikalen Streifen ineinander verschachtelt. Zur Trennung der Teilbilder bei der Betrachtung wird eine Linsenrasterfolie aufgeklebt. Diese Folie besteht aus Planzylinderlinsen. In horizontaler Richtung überdeckt jede Linse genau einen Streifen jedes Bildpaares. In vertikaler Richtung erstreckt sie sich über das ganze Bild. Durch die optische Wirkung der Zylinderlinsen kommt es zu einer virtuellen aufrechten Abbildung der Streifen. Bei geeigneter Betrachtungsposition sieht dabei das linke Auge die Bilder der zum linken Teilbild gehörenden Streifen, das rechte Auge die zum rechten Teilbild gehörenden Streifen, wie in Abbildung 7 gezeigt. Anstelle von Linsenrasterfolien können auch Prismenrasterfolien eingesetzt werden. Weicht die Betrachtungsposition horizontal zu sehr von der Idealposition ab, so werden die Streifen gerade vertauscht und ein befriedigender Stereoeindruck kann nicht entstehen. Das Linsenrasterverfahren wird häufig bei 3-D-Postkarten und -Werbemitteln angewandt [11]. Der Einsatz von Linsenrastern auf Bildschirmen beschränkt sich auf Sonderaufgaben, bei denen nur ein Betrachter berücksichtigt werden muss, wie z. B. bei Computerarbeitsplätzen für die 3-D-Konstruktion. Der Aufwand ist hoch: Über ein Bildverarbeitungssystem wird die Kopfposition des Betrachters ermittelt. Mit dieser Information wird das Linsenraster automatisch so verschoben, dass der Betrachter die beiden Teilbilder nicht vertauscht wahrnimmt [12]. Für die Leinwand-Projektion eignet sich das Verfahren nicht.

Ähnlich funktioniert das Verfahren der Parallaxenbarriere. Wie in Abbildung 8 gezeigt, wird in einem geringen Abstand vor dem Bild, das wieder in vertikalen Streifen verschachtelt dargeboten werden muss, eine Platte mit streifenförmigen Blenden angeordnet. Wie auch beim Linsenrasterverfahren kann so sichergestellt werden, dass jedes Auge nur die Streifen eines Stereo-Teilbildes wahrnimmt. Die Nachteile des Verfahrens sind die gleichen.

Die gängigsten heute eingesetzten Verfahren arbeiten mit der simultanen oder zeitversetzten Darstellung beider Stereoteilbilder auf einer Leinwand oder einem Bildschirm. Zur korrekten Aufteilung des Bildes auf beide Augen werden bei diesen Verfahren Spezialbrillen eingesetzt. Unterschiedliche technologische Ansätze kommen zum Einsatz:

- Beim Anaglyphen-Verfahren werden die beiden Stereo-Teilbilder unterschiedlich eingefärbt. Am gebräuchlichsten ist eine rote Färbung des linken Teilbilds und eine Cyan-Färbung des rechten Teilbilds. Die Spezialbrille enthält links eine rote Filterfolie, rechts eine blaue. Dadurch ist die Darstellung farbiger Bilder natürlich nur stark eingeschränkt möglich. Mit der geeigneten rot-cyan-Brille können Sie die Abbildung 9 räumlich sehen, sobald die Farbadaption des visuellen Systems abgeschlossen ist.
- Bei den Polarisationverfahren werden die beiden Teilbilder mit unterschiedlich polarisiertem Licht projiziert. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Polarisation bei der Remission an der Leinwand erhalten bleibt, so dass spezielle, metallisch beschichtete Leinwände zum Einsatz kommen müssen. Sowohl lineare als auch zirkulare Polarisation ist geeignet.
- Beim Zeitmultiplex-Verfahren werden die beiden Teilbilder in kurzem zeitlichen Abstand nacheinander dargestellt. Der Betrachter benötigt eine Shutter-Brille, die abwechselnd das linke und das rechte Auge abdunkelt. Shutter-Brillen arbeiten ▶

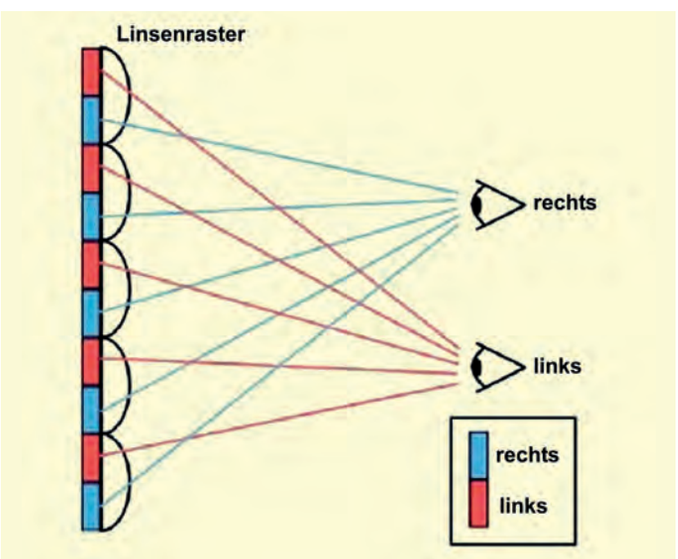

Abb. 7: Funktionsweise der autostereoskopischen Darstellung mit Linsenrasterfolien [nach 11].

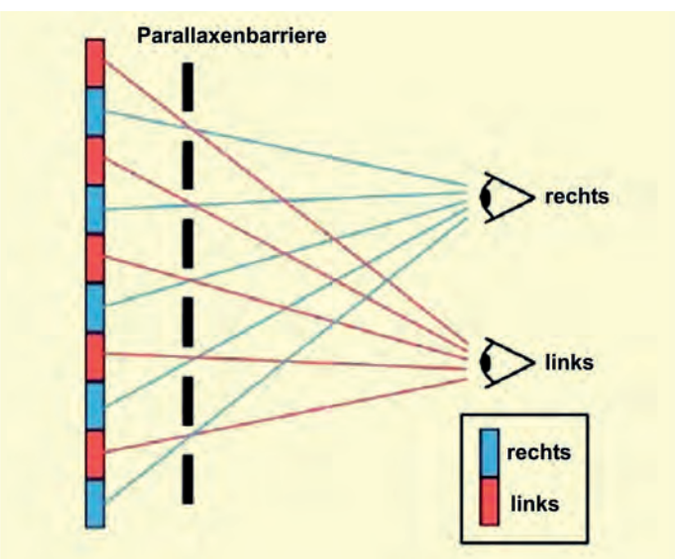

Abb. 8: Funktionsweise der autostereoskopischen Darstellung mit Parallaxenbarrieren [nach 11].

Abb. 9: Das Laborgebäude der Augenoptik der Hochschule Aalen als Anaglyphen-Stereobild [13].

mit elektronisch abdunkelbaren Flüssigkristallfiltern und müssen mit der Teilbildabfolge exakt synchronisiert werden. Dazu wird meistens eine drahtlose Steuerung der Brillen mittels Infrarotlicht eingesetzt.

Avatar u. Co. – Die Technik der 3-D-Kinos

So vielfältig die Möglichkeiten für die Projektion von 3-D-Filmen sind, so vielfältig sind auch die in den Kinos eingesetzten Verfahren [14]. Die wichtigsten sind in Abbildung 8 gezeigt.

- Das in deutschen Kinos weit verbreitete XPanD-Verfahren arbeitet mit Shutterbrillen nach dem Zeitmultiplexprinzip. Nachteilig ist das hohe Gewicht, der hohe Anschaffungspreis und die begrenzte Batterie-Lebensdauer der Brillen. Vorteilhaft ist, dass nur ein Projektor eingesetzt werden muss und eine Standard-Leinwand verwendet werden kann. Auch ist der 3-D-Eindruck weitgehend unabhängig von der Kopfhaltung des Zuschauers.
- Das in USA marktführende RealD-Verfahren basiert auf zirkular polarisiertem Licht. Die Projektion der beiden Stereo-Teilbilder erfolgt im Zeitmultiplexverfahren, wobei für jedes Teilbild jeweils die Drehrichtung der zirkularen Polarisation umgekehrt wird. Dies wird durch einen elektronisch umschaltbaren Filter im Projektor erreicht. Das gelegentlich anzutreffende MasterImage-Verfahren arbeitet ähnlich, allerdings wird ein rotierendes Polarisationsfilterrad verwendet. Bei beiden Verfahren benötigt man wie beim XPanD-Verfahren nur einen Projektor, muss aber eine metallbeschichtete Leinwand verwenden, um die Polarisationrichtung zu erhalten. Auf der Zuschauerseite können einfache und kostengünstige Brillen mit polarisationsfilternden Kunststoffgläsern eingesetzt werden, die keine Synchronisation und keine Stromversorgung benötigen. Der 3-D-Eindruck ist unabhängig von der Kopfhaltung – ein Vorteil der zirkularen Polarisation gegenüber der linearen.
- Auch bei dem in deutschen Kinos nur vereinzelt vorkommenden Dolby-Digital-3-D-Verfahren kann ein Einzelprojektor eingesetzt werden. Dieser enthält ein rotierendes Farbfilterrad. Dabei werden die Farbörter der zur Projektion verwendeten drei Grundfarben rot, grün und blau in den beiden Stereoteilbildern gegeneinander verschoben – aber nur soweit, dass sich noch eine realistische Farbwiedergabe ergibt. Beide Teilbilder werden nacheinander projiziert. Auf der Zuschauerseite werden Brillen mit schmalbandigen Filtergläsern eingesetzt, die nur die drei Grundfarben des linken bzw. des rechten Teilbildes durchlassen. Hierzu eignen sich dichroitische Filter, die nur im Aufdampfverfahren erzeugt werden können – die Brillen sind also teurer als die Polarisationsbrillen des RealD-Verfahrens.
- Für die ältere, noch weit verbreitete Doppelprojektion werden zwei Projektoren benötigt, die mit linearen Polarisatoren ausgerüstet sind. Die Zuschauerbrillen sind leicht und billig. Allerdings sollte der Kopf nicht geneigt werden, denn schon bei einer seitlichen Neigung von nur zehn Grad kommt es zu störenden Doppelbildern.

Wie kommen 3-D-Filme ins Haus?

3-D-Fernseher drängen auf den Markt und waren der wichtigste technologische Trend bei der diesjährigen Funkausstellung. Alle in der Serienherstellung befindlichen Geräte setzen dabei das Zeitmultiplex-Verfahren ein. Jeder Zuschauer braucht also eine drahtlos synchronisierbare Shutter-Brille, wie beim XPanD-Kinoverfahren. Um eine flimmerfreie Bildwiedergabe zu erreichen, sollte der Bildschirm die beiden Stereoteilbilder so schnell hintereinander darbieten, dass sich für jedes Auge eine Bildwiederholfrequenz von mindestens 70-80 Hz ergibt. Dazu muss die Bildwiederholfrequenz des Bildschirms doppelt so hoch sein. Da LCDs meist noch zu träge sind, werden in der Mehrzahl Plasmabildschirme eingesetzt.

Derzeit bietet noch kein Fernsehsender ein 3-D-Programm an, abgesehen von Testsendungen, wie sie z. B. auf dem Satellitenkanal Annixe gelegentlich gesendet werden. Mehrere Übertragungsverfahren befinden sich in der Erprobung:

- Beim Side-by-Side-Verfahren werden die beiden Stereoteilbilder auf die halbe Breite gestaucht nebeneinander in einem

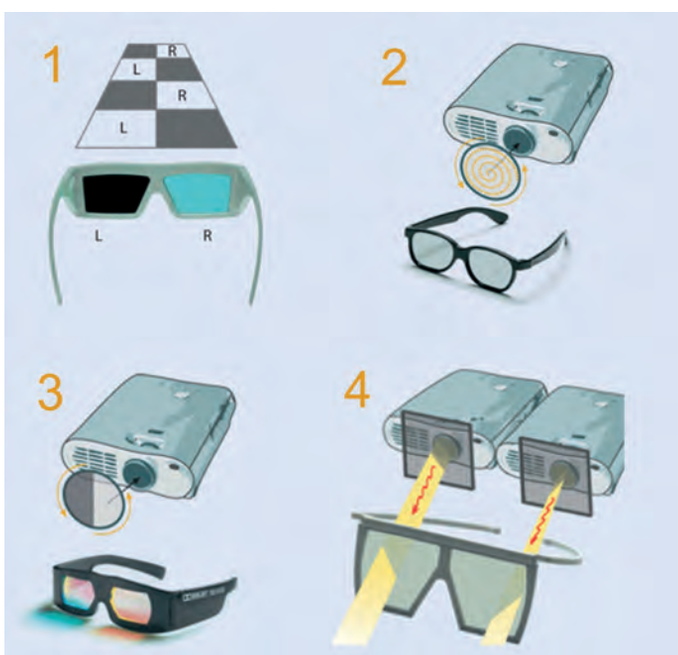

Abb. 10: Projektionsverfahren in der 3-D-Kinotechnik [14]:
(1) XPanD, (2) RealD, (3) Dolby Digital 3D, (4) Doppelprojektion.

Abb. 11: 3-D-Übertragung im Side-by-Side-Verfahren beim Sender Annixe HD [16].

Videobild übertragen. Die horizontale Auflösung ist dabei natürlich halbiert, so dass dieses Verfahren nur bei HD-Übertragungen sinnvoll erscheint.

- Das Top-and-Bottom-Verfahren arbeitet ähnlich. Hier werden die Bilder vertikal gestaucht und übereinander in einem Bild übertragen. Es ergibt sich die halbe vertikale Auflösung.

Auf DVD sind 3-D-Filme nach diesen Verfahren nicht erhältlich, da die Auflösung nicht ausreicht. Beide Verfahren können mit normalen HD-Receivern empfangen werden. Der Monitor-Prozessor muss dann natürlich für die Dehnung der Teilbilder auf das Originalformat und für die korrekte zeitsequentielle Darstellung sorgen. Für die Wiedergabe von Blu-ray Discs ist ein weiteres Verfahren in die neue HDMI 1.4a-Spezifikation aufgenommen worden: Beim frame packing werden beide Stereoteilbilder in voller Auflösung nacheinander in der Zeit eines Bildes übertragen. Es ergibt sich somit die doppelte Datenrate [15]. Die Speicherkapazität einer Blu-ray Disc von 20 Gigabytes reicht dafür aber aus.

Derzeit wird in Europa fast ausschließlich das Side-by-Side-Verfahren auf HD-Satellitenkanälen und Blu-ray Discs eingesetzt. Frame packing wird zur Zeit noch nicht angeboten.

Risiken und Nebenwirkungen?

Spätestens seit dem Film Avatar ist es allgemein bekannt, dass die aktuell eingesetzten 3-D-Techniken zu Unwohlsein, Schwindelgefühlen und Kopfschmerz führen können [17]. Hierfür wurde sogar der Begriff „Avatar-Kopfschmerz“ geprägt. In den meisten Untersuchungen wird das auf die für den Betrachter ungewohnte Sehweise zurückgeführt: Nahe Szenendetails müssen mit großem Winkelversatz projiziert werden. Der Betrachter fixiert diese Details, wobei die Augen konvergieren müssen. Dabei darf aber nicht gleichzeitig auf die Nähe akkommodiert werden, denn die Szenen werden ja nach wie vor auf der weiter entfernten Leinwand dargestellt. Diese Entkopplung von Vergenz und Akkommodation ist für den Betrachter gewöhnungsbedürftig und kann die o.a. Symptome hervorrufen. Ob sie auch bleibende Schäden verursachen kann, ist noch nicht ausreichend erforscht. Vorsorglich geben einige große Hersteller von 3-D-Fernsehern aber entsprechende Warnhinweise heraus. So warnt z. B. Samsung in der Betriebsanleitung vor den potenziellen gesundheitlichen Gefahren [18]. Auch gibt es Befürchtungen, dass es zu Entwicklungsstörungen der räumlichen Wahrnehmung bei Kleinkindern kommen könnte [19]. Gesicherte wissenschaftliche Untersuchungen liegen aber nicht vor. Lediglich zur Vergenz-Akkomodations-Disparität bei Probanden mittleren Alters gibt es erste Ergebnisse, die den Zusammenhang zu den genannten Symptomen belegen [20]. Beim ersten Auftreten der Symptome sollte man jedenfalls den 3-D-Konsum einstellen. Insbesondere Kinder und Jugendliche sollten 3-D-Fernsehen nicht zu lange ununterbrochen anschauen. Und Kleinkinder gehören sowieso nicht vor den Fernseher! ■

Prof. Dr. Jürgen Nolting

Literatur

[1] Wikipedia-Autoren: Charles Wheatstone. http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Wheatstone&oldid=77657586 (2010)

[2] Ch. Wheatstone: Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Philosophical Transactions of the Royal Society Part II, London (1838)

[3] J. Schönfeld: Die Stereoskopie – zu ihrer Geschichte und ihrem medialen Kontext. Magisterarbeit, Universität Tübingen. http://www.gestaltung.hs-mannheim.de/designwiki/files/3195/schoenfeld_stereoskopie.pdf (2010)

[4] ETH-Bibliothek Spezialsammlungen: David Brewster: The stereoscope (London, 1856). http://blogs.ethz.ch/digital-collections/2009/11/04/david-brewster-the-stereoscope-london-1856/ (2010)

[5] Web Blog: A Chronicle of Boston History – Science and Technology: Looking backward. http://bostonlookingbackward.wordpress.com/category/sciencetech/page/2/ (2010)

[6] M. Dück: Der Raum und seine Wahrnehmung. Verlag Königshausen und Neumann, Würzburg (2001)

[7] W. Kowarschick: Binokulares Sehen. http://glossar.hs-augsburg.de/index.php?title=Binokulares_Sehen&oldid=6253 (2010)

[8] D. Wentura: Räumliche Tiefe und Größenkonstanz. Vorlesungsskript, Universität Saarbrücken (2008). http://www.uni-saarland.de/fak5/excops/download/wa4_08.pdf (2010)

[9] Magic Eye Inc.: Magic Eye Website. http://www.magiceye.com/index.htm (2010)

[10] Firmeninformation Carl Zeiss: Cinemizer plus. http://www.zeiss.de/cinemizer (2010)

[11] B. Ross: Holographie und Dreidimensionale Darstellungstechnologien. Version 21. Knol (1.7.2010). http://knol.google.com/k/bob-ross/holographie-und-dreidimensionale/xxw4tn2vm19h/7 (2010)

[12] D. Rose: AutoOpt – Autostereoskopisches Display. Universität Stuttgart (2004). http://www.vis.uni-stuttgart.de/ger/research/proj/autoopt/autostereo/autostereo-ger.html (2010)

[13] T. Kotewitz: Autostereoskopische Darstellung durch Anaglyphen und Linsenrasterbilder. Diplomarbeit. Hochschule Aalen (2002).

[14] J.-K. Janssen: 3D 2.0 – Neuer Anlauf für Stereoskopie im Kino. c't – Zeitschrift für Computertechnik, Heft 16-2008, Heise-Verlag, Hannover (2008). http://www.heise.de/ct/artikel/3D-2-0-291654.html (2010)

[15] N. Jurran: HDMI 1.4a für 3D-Fernsehen ist fertig. Heise online, 5.3.2010. http://www.heise.de/newsticker/meldung/HDMI-1-4a-fuer-3D-Fernsehen-ist-fertig-947806.html (2010)

[16] Website HD box: Warum werden bei einigen Sendungen das Bild doppelt neben- bzw. übereinander angezeigt? http://www.hd-box.info/index.php?section=data&cmd=0&id=13 (2010)

[17] A. Berke: Kopfschmerzen durch 3-D-Kino? Dt. Optikerzeitung, Heft 03/2010, S. 2-4, DOZ-Verlag, Heidelberg (2010).

[18] Firmeninformation Samsung: 3d TV Notice. http://www.samsung.com/au/tv/warning.html (2010)

[19] H. Plischke: Gesundheitsgefahren durch 3D? PC Magazin, Heft 10/2010, Seite 94, Weka Media Publishing, Berlin (2010)

[20] LED global online: 3D TV visual disparities causes strain. http://en.ledgb.com/detail-3755.html (2010)