

Konrad L. Maul

„Quo vadis 3D? “



Abb. 1: Quo vadis 3-D? Mit Brille oder ohne? Hype oder nicht?

1. Einführung

Wenn es nach dem Hype-Cycle-Modell geht, das Jackie Fenn von der renommierten amerikanischen Beratungsfirma Gartner entwickelt hat, folgt auf den kurzen 3D Hype der TV-Industrie, bewirkt durch Avatar und Co. schon bald die Ernüchterung. Dabei wäre eine Etablierung der 3D-Wiedergabe im heimischen Wohnzimmer doch die natürlichste Sache der Welt. Die Menschen haben die Bildhauerei entwickelt um Götter, Heroen, Herrscher und bedeutende Zeitgenossen räumlich darzustellen. In der Renaissance wurde, die schon in der griechischen Klassik entwickelte Perspektive wiederentdeckt um Gemälden Räumlichkeit geben zu können. Sicher die heutige 3D-Wiedergabetechnik hat ihre Mängel (dazu später mehr), aber heutige großformatige HDTV 3D-Fernsehgeräte kommen dem Traum der Menschen von einer naturgetreuen Wiedergabe von Szenen und Ereignissen in den eigenen vier Wänden schon sehr nahe.

1. Geometrie des räumlichen Sehens

Bevor wir versuchen den weiteren Entwicklungsforgang von 3D abzuschätzen betrachten wir zum besseren Verständnis zunächst die geometrische Basis des räumlichen Sehens.

Weil die beiden Augen horizontal um den Augenabstand voneinander getrennt sind, sehen wir dieselbe visuelle Szene von zwei unterschiedlichen Ausgangspunkten und damit aus zwei unterschiedlichen Perspektiven.

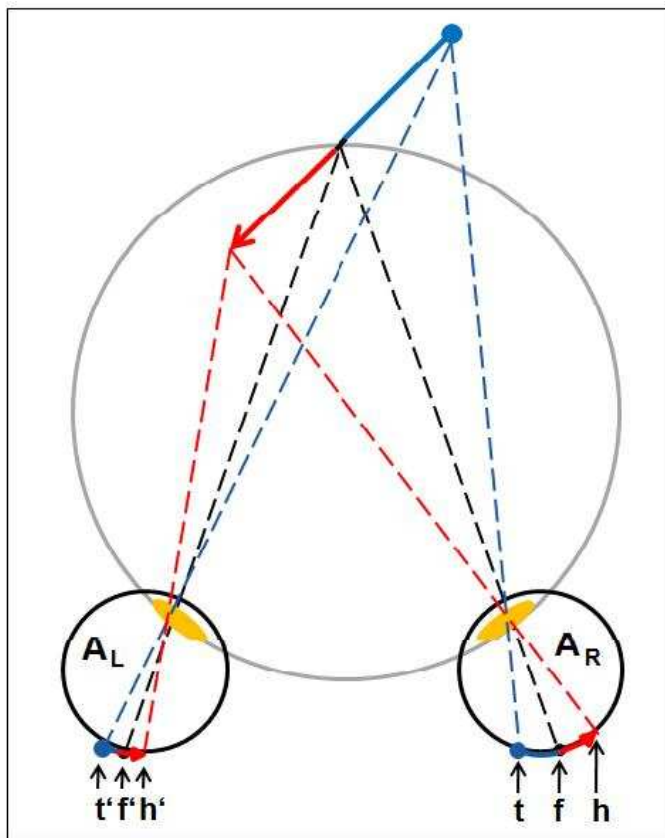


Abb. 2: Die Geometrie des räumlichen Sehens.
Horizontaler Schnitt durch das rechte (A_R) und linke Auge (A_L) von oben gesehen.
(Eigene Zeichnung nach Tyler C.W. 2004
Binocular Vision; in Ponco R. et.al.
2008 *Stereopsis*)

Abb.2 veranschaulicht dies anhand eines horizontalen Schnitts durch das rechte (A_R) und linke Auge (A_L), der von oben gesehen wird. Um den Pfeil scharf und dreidimensional zu sehen schwenken die Augenmuskeln die Augen in den jeweils entsprechenden Winkel (Konvergenz) und der Muskel der Augenlinse sorgt durch Einstellung der richtigen Brennweite (Akkommodation) für eine scharfe Abbildung. Wie wir sehen können sind die Abbildungen des Pfeiles auf der Netzhaut des rechten und des linken Auges unterschiedlich. Jedes technische 3D-Verfahren, das eine originalgetreue Wiedergabe ermöglichen will, muss dafür sorgen dass diese zwei unterschiedlichen Perspektiven dem jeweils richtigen Auge wieder angeboten werden.

2. Technische Umsetzungen / Übersicht der 3D-Verfahren

Im Verlauf der Film- und Fernsehentwicklungsgeschichte sind viele technische 3D-Verfahren entwickelt worden. In Abb.3 sehen Sie eine Zusammenstellung der Verfahren, die in der Fernsehtechnik zur 3D-Bewegtbeeldwiedergabe benutzt wurden oder heute angewandt werden. Die heute eingesetzten Verfahren sind rot markiert. Grob kann man eine Einteilung in Verfahren die zur Betrachtung eine Brille erfordern und in Techniken die ohne Brille auskommen vornehmen.

	Technische Realisierung	Bemerkung
Verfahren mit Brille - simultan	Anaglyphentechnik	Rot / Grün Brille bzw. Rot / Cyan Brille (keine oder schlechte Farbwiedergabe)
	Polfilterbrillen	rechts / links drehend polarisierte Brillengläser
- sequentiell (zeitmultiplex)	Shutterbrillen	LCD-Lichtventil-Brille
- psychooptisch	Pulfrich Effekt	Filterglas zur Abdunklung vor einem Auge (nur bei bewegten Vorlagen)
Verfahren ohne Brille - autostereoskopisch	Linsen- / Prismenmaske (Fresnellinsenfolie) auf Flachdisplay (LCD oder Plasma)	2 Ansichten (Trackingsystem) Nachführung der Prismenmaske
		n Ansichten (8;9;15) Fresnellinsenfilterfolie
	Barriereverfahren	Bei Notebooks, handheld Games und Mobile Phones (kleine Bildschirme)

Abb. 3: Technische Verfahren zur 3D-Bewegtbeeldwiedergabe

Verfahren mit Brille

Im Folgenden werden die Verfahren mit Brille näher erläutert.

Anaglyphentechnik

Die Gebrüder Louise und Auguste Lumière, die schon den ersten funktionsfähigen Kinoprojektor entwickelt hatten, zeigten 1903 in Frankreich den offiziell ersten Stereofilm von ein paar Sekunden Dauer. Er hatte den Titel „L’arrivée du train“. Martin Scorsese hat in seinem neuen 3D-Film „Hugo Cabret“ dieses Filmdokument eingebaut, allerdings nicht in 3D. Die Gebrüder Lumière benutzten die Anaglyphentechnik, die schon für die Stereophotographie entwickelt worden war. Dabei wird mit Farbfilterbrillen (rot/grün oder rot/cyan) dafür gesorgt, dass das linke Auge nur die Aufnahme der linken Kamera, und das rechte Auge nur die Aufnahme der rechten Kamera sehen kann. Es werden entweder zwei Filmprojektoren für den Links- und Rechtsauszug mit dem jeweils korrespondierenden Farbfiltern eingesetzt oder ein Projektor, der dann einen Filmstreifen projiziert auf den rechte und linke Bilder in den entsprechenden Farben (rot/grün oder rot/cyan) kopiert wurden. Mit der Einführung des Farbfernsehens war die

Anaglyphentechnik auch im Heimbereich möglich. Die ARD zeigte z.B. 1982 eine Reihe von 3D-Bildsendungen in ihren 3. Programmen.

Da diese Technik vom Prinzip her an und für sich nur für Schwarzweißwiedergabe gut geeignet ist und nur eine sehr schlechte Farbwiedergabe liefern kann, spielt sie heute auch keine Rolle mehr. Natürlich muss sie benutzt werden, wenn Schätze aus den Anfängen des 3D-Films betrachtet werden sollen.

Psychooptische Effekte (Pulfrich Effekt)

Den Pulfrich Effekt hat man für das Fernsehen kultiviert, da er im Gegensatz zur Anaglyphentechnik die gewohnte PAL Farbbildqualität ermöglichte, auch nur eine sehr preiswerte Brille benötigt und beim Betrachten ohne Brille ein normales Bild zeigt. Bezüglich der für den Effekt erforderlichen Bewegung ist es nicht relevant ob sich das Objekt oder die aufnehmende Kamera bewegt. So baute z.B. der Privatsender RTL Anfang der 1990er Jahre in seine „Tutti Frutti“ Reihe jeweils Szenen ein, bei denen die weiblichen Darstellerinnen auf einer Drehbühne agierten. Da das Verfahren aber nur bei bewegtem Objekt oder bewegter Kamera Tiefeninformation liefert ist es als professionelles Verfahren für 3D-TV-Geräte nicht geeignet.

Shutterbrillen (LCD-Lichtventil)

Seit Anfang der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts sind Liquid Crystal Shutters schnell genug um als Lichtventil für die 3D-Film- und 3D-Video-Technik eingesetzt werden zu können. Bei diesem Verfahren werden sequentiell hintereinander das Bild für das linke- und das rechte Auge gezeigt (siehe Abb.4).



Abb. 4: Das Shutterbrillenverfahren. Die Brille lässt für das linke und das rechte Auge nur das zugehörige Kamerabild passieren.

Die Shutterbrille wird mit einem drahtlosen Synchronsignal angesteuert und die eingebaute Steuerelektronik sorgt dafür, dass dann jeweils das richtige Auge freie Sicht bekommt. Im Fall des Einsatzes im Kino sind die teuren Brillen, die zusätzlich eine Batterie oder einen Akku enthalten, von großem Nachteil. Es kann im Kino aber eine normale Projektionsleinwand verwendet werden, da nicht mit polarisiertem Licht gearbeitet wird. Sodass sich z.B. der Einsatz in kleinen Programmkinos oder im semiprofessionellem Bereich bei entsprechend kleinen Zuschauerzahlen anbietet. Im Fall von 3D-Fernsehgeräten setzen z. Z. sehr viele Hersteller auf aktive LCD-Shutterbrillen. Es ist heute das einzige Verfahren mit TV-Geräten im deutschen Markt das die volle HDTV-Auflösung (1920x1080) auch im 3D-Betrieb wiedergeben kann. Die höheren Brillenkosten sind bei der kleinen Anzahl, die im Heimbereich erforderlich sind, nicht so relevant. Die Umschaltung der Shutterbrille zwischen Links- und Rechtsvorlage muss aber mit mindestens 50 bis 60 Hz erfolgen um Flimmern zu vermeiden. Das bedeutet das Display muss dann mit mindestens 100 bis 120 Hz angesteuert werden. Da aus Gründen der optimalen Bewegungswiedergabe LC-Displays schon mit 100 oder 200 Hz bzw. 120/240 Hz betrieben werden stellt diese Forderung kein Problem dar. Um bei Verwendung von LCD's keine Probleme mit Doppelkonturen durch Übersprechen der Bilder in das jeweils abgedunkelte Auge zu bekommen (Ghosting siehe 4.), setzen viele Gerätehersteller, die LC-Displays einsetzen, auf 200 Hz Technik. Damit ergibt sich genügend zeitlicher Spielraum um sicherzustellen, dass während die Shutterbrille geöffnet ist nur das jeweilig richtige Bild das entsprechende Auge erreicht. Zusammen mit einem 3D-Blu-ray-Player, der über eine HDMI-Verbindung (Version 1.4) an das 3D-TV-Gerät angeschlossen ist und im sogenannten „Frame-Packing-Format“ jeweils aufeinander folgend ein linkes- und ein rechtes Bild bei voller HDTV-Auflösung (1920x1080) mit jeweils 24 Bildern pro Sekunde überträgt, erreichen heutige 3D-TV-Geräte mit Shutterbrille die zur Zeit bestmögliche 3D-Wiedergabequalität im Heimbereich.

Polarisationsfilter

In der 3D-Kinofilm Historie war erst mit Hilfe von Polarisationsfiltern die farbige 3D-Film Wiedergabe möglich. Das Bild für das linke und rechte Auge wird dabei von je einem Projektor, denen Polarisationsfilter mit unterschiedlicher Polarisationssebene (horizontal, vertikal) vorgesetzt sind, auf die Leinwand projiziert. Es gibt auch ein Verfahren, bei dem nur ein Projektor benutzt wird, der hintereinander das linke und das rechte Bild projiziert. Vorgeschaltet ist dann ein Polarisationsfilter, das zwischen den beiden Polarisationssebenen schnell umschaltet.

Der Zuschauer trägt eine Brille mit einem horizontalen und einem vertikalen Polarisationsfilter, sodass jedes Auge nur ein Bild sieht. Die Leinwand muss allerdings eine „Silberleinwand“ (aluminiumierte Oberfläche) sein, da andere Leinwandmaterialien bei Reflektion mit polarisiertem Licht die Schwingungsebene nicht beibehalten.

Senkrecht aufeinander stehende (gekreuzte) Polarisationsfilter haben aber immer noch eine Luminanz-Durchlässigkeit von ca. 10 bis 15%, sodass geringes Übersprechen der linken Bildvorlage in das rechte Auge und umgekehrt erfolgt.

Bei Neigung des Kopfes werden die Polarisationsachsen der Brillenfilter gedreht sodass dadurch ebenfalls Übersprechen entsteht.

Um dies zu vermeiden werden heute bei der 3D-Kinoprojektion zirkular polarisierte Filter benutzt. Die Wirkungsweise ist wie oben beschrieben, aber nun ist die Schwingungsebene des Lichts zirkular (rechts- und linksdrehend).

Größter Vorteil des Polarisationsverfahrens sind die kostengünstigen passiven Brillen. Für Vorführungen in großen Kinosälen mit vielen Zuschauern ist dies die ideale Lösung.

Im Fall des 3D-Heimfernsehgerätes könnte man sich, wie in einer Variante der Kinoprojektion, auch ein großes geschaltetes Polarisationsfilter vor dem Display (LCD oder Plasma) vorstellen. Das linke und das rechte Bild könnte dann sequentiell hintereinander dargestellt und das Filter entsprechend umgeschaltet werden. Der Zuschauer trägt dann wie im Fall des Kinos eine einfache passive Polarisationsbrille. Leider sind aber großflächige, schnell schaltbare und kostengünstige Polarisationsfilter die vor dem flachen Bildschirm angebracht werden könnten nicht verfügbar. Deswegen wurde die Idee einer zeilensequentiellen Links-Rechts-Bildwiedergabe aufgegriffen. Es wird ein Polarisationsfilter auf das Flachdisplay aufgebracht, das von Zeile zu Zeile die Polarisationsrichtung wechselt. Das Filter braucht nicht schaltbar zu sein. Die Videosignalverarbeitung (Scaler) im 3D-TV-Gerät muss dann dafür sorgen, dass jeweils abwechselnd eine Zeile des linken und dann des rechten Bildes dargestellt wird. Wie im Kino trägt dann der Zuschauer eine passive Polarisationsbrille. Das Prinzip ist in Abb.5 anhand von nur elf Zeilen vereinfacht dargestellt. Der große Nachteil ist aber, dass die Auflösung in vertikaler Richtung halbiert wird. Beim hochauflösenden Fernsehen (HDTV) ergeben sich dann $1080 \text{ Zeilen} / 2 = 540 \text{ Zeilen}$. Das ist die vertikale Auflösung des bisher üblichen Pal-Fernsehens.

Trotz dieses Nachteils gibt es Hersteller, die dieses Prinzip in ihren 3D-TV-Geräten einsetzen um preiswerte und leicht zu tragende Brillen anbieten zu können.

Um diesen Nachteil der reduzierten Vertikalauflösung zu umgehen hat nun die Firma LG anlässlich der Consumer Electronic Show in Las Vegas Geräte vorgestellt, die ein 4k Display besitzen. Das bedeutet statt der üblichen HDTV Auflösung von 1920×1080 Pixeln (ca. 2 Megapixel) hat dieses Display die vierfache Pixelzahl von 3840×2160 Pixel (ca. 8 Megapixel). Bei 3D Betrieb mit der zeilenweise wechselnden Polarisation halbiert sich die Auflösung in der Vertikalen. Es bleiben aber $2160 / 2$ also 1080 Zeilen übrig, d.h., die volle HDTV Auflösung bleibt erhalten.



Abb. 5: Das Prinzip des Polfilterverfahrens stark vereinfacht anhand von nur 11 Fernsehzeilen.

Verfahren ohne Brille

Es folgen detailliertere Beschreibungen der Verfahren ohne Brille.

Autostereoskopische Verfahren

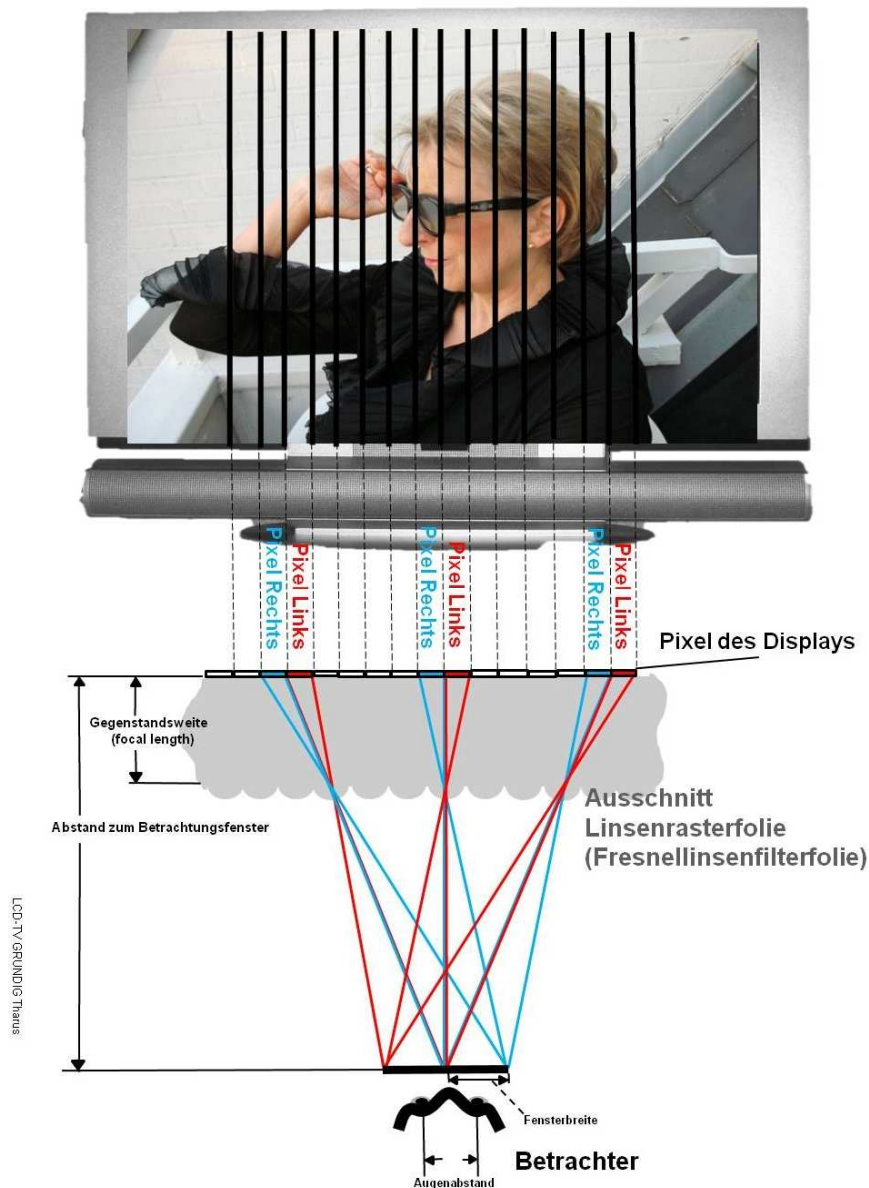


Abb. 6: Prinzipdarstellung des brillenlosen Verfahrens für 2 Ansichten (Links und Rechts).
(Eigene Zeichnung nach Holliman N. (2005) 3D Display Systems; University of Durham)

Ein Grundprinzip dazu wurde schon 1912 vom Schweizer Augenarzt Walter R. Hess als „Lentikular-Folien-Stereogramm“ patentiert.

Bei einer Anwendung dieser Technik auf 3D-TV-Geräte wird eine Linsenrasterfolie (Fresnellinsenfilterfolie) direkt auf dem Flachdisplay (LCD oder Plasma) aufgebracht. Die Ansteuerung des Displays erfolgt dann so, dass vertikale Streifen des linken und rechten Bildes aufeinander folgen (was allerdings die örtliche Auflösung in der horizontalen Richtung halbiert). Der Abstand zwischen den Augen sorgt dafür, dass jedes Auge das richtige Bild bekommt. Praktisch ergibt sich aber ein sehr kleiner Bereich (kleiner Sweet

Spot) in dem das Bild korrekt stereoskopisch gesehen werden kann. Deswegen wurden Systeme entwickelt, die mit einer Kamera die Augen des Betrachters erfassen und Distanz und Augenabstand ermitteln und danach die Linsenrasterplatte mechanisch verschieben. Oder wie im Falle eines Notebooks den die Firma Sony auf der Funkaustellung 2011 zeigte bei dem die Links-Rechts Pixelmuster auf dem Notebookdisplay mit der Kamerainformation nachgesteuert werden um so den 3D Eindruck bei Kopfbewegungen beibehalten zu können. Diese Systeme sind für ein im Heimbereich verwendbares 3D-TV-Gerät nicht brauchbar. Deswegen wurde ein Verfahren entwickelt, das mehrere Ansichten benutzt und damit den Winkelbereich aus dem 3D gesehen werden kann entsprechend vergrößert (großer Sweet Spot).

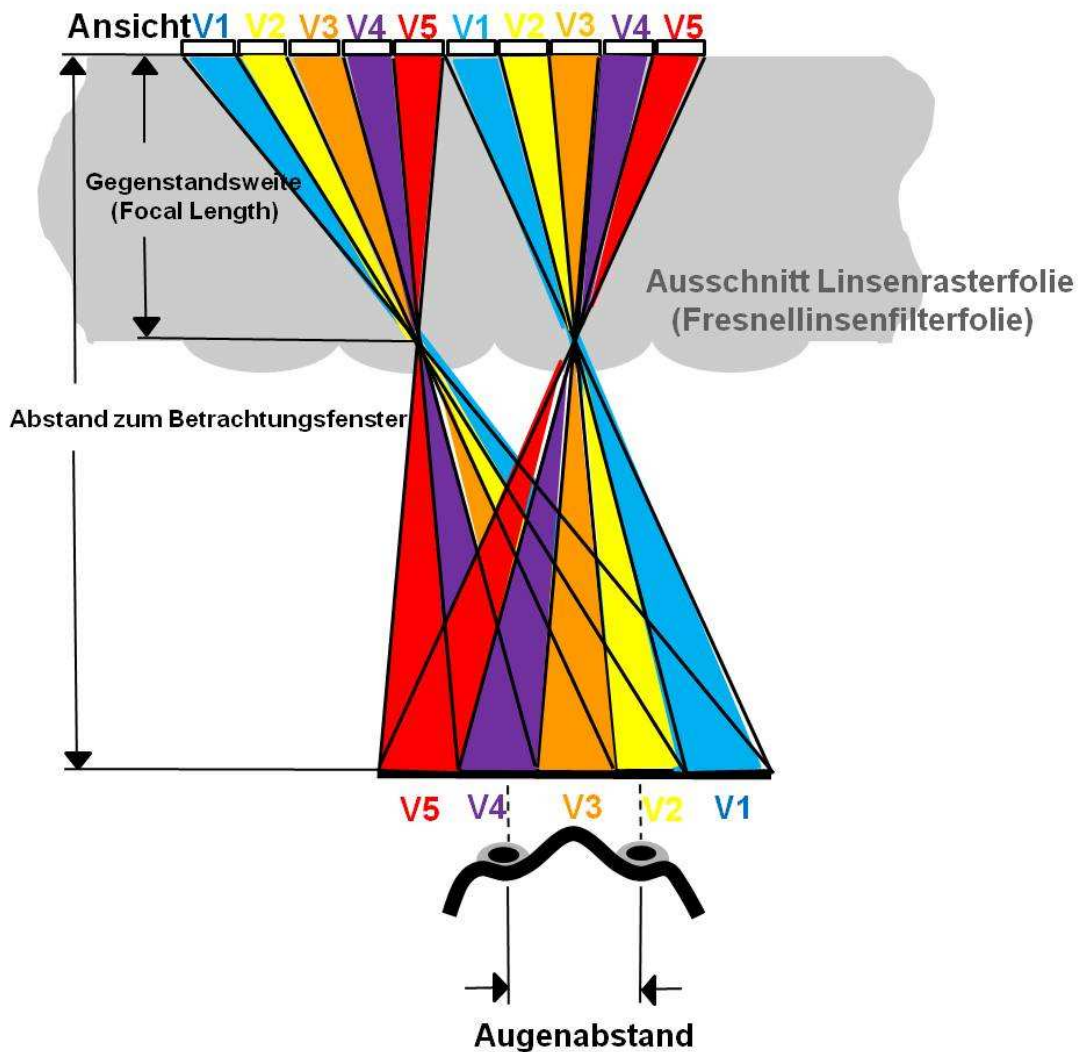


Abb. 7: Prinzipdarstellung des brillenlosen Verfahrens für 5 Ansichten (Links und Rechts).
(Eigene Zeichnung nach Holliman N. (2005) 3D Display Systems; University of Durham)

In heutigen Realisationen werden acht, neun oder sogar 15 Ansichten eingesetzt. Würde man dies nach dem Prinzip der ausschließlich vertikal orientierten Linsenrasterfolie machen, würde sich die horizontale Auflösung (Anzahl der Bildpunkte) bei neun Ansichten nochmals um den Faktor neun erniedrigen, was zu einer sehr bescheidenen Bildqualität führen würde. Deswegen werden z.B. bei neun Ansichten in einem Muster in der Horizontalen und in der Vertikalen verteilt. Die Linsenrasterfolie muss natürlich entsprechend angepasst werden. Mit dieser Anordnung kann man dann einen in

horizontaler und vertikaler Richtung ausgewogenen Auflösungsverlust um den Faktor drei erreichen. Dies bedeutet aber nach wie vor bei einem HDTV-Bild mit 1920 x 1080 Bildpunkten eine Reduzierung auf 640 x 360 Bildpunkte (Pixel) und ist damit sogar etwas schlechter als Standard PAL Qualität. Um damit hochauflösendes Fernsehen (HDTV) in 3D realisieren zu können muss man Flachdisplays mit mehrfacher HDTV-Auflösung einsetzen. Es gibt zwar schon LC-Displays mit mehrfacher HDTV-Auflösung, die aber aufgrund der hohen Kosten bisher nur für sehr spezielle Anwendungen (z.B. Medizintechnik) eingesetzt werden konnten.

Zur Funkausstellung 2011 hat die Firma Toshiba ihre ersten brillenlosen 3D-TV-Geräte vorgestellt. Diese Geräte benutzen ein Display mit der vierfachen HDTV Pixelzahl (3840 x 2160 Pixel also ca. 8 Megapixel) und basieren auf 9 Ansichten. Trotz des Panels mit der vierfachen HDTV Auflösung ergibt sich bei 9 Ansichten nur mehr eine Auflösung von ca. 0,9 Megapixeln also weniger als die Hälfte der HDTV Pixelzahl. D.h., um bei 3D-Betrieb nicht in der Bildschärfe (Auflösung) abzufallen müsste das verwendete Display mindestens die 9 fache HDTV Auflösung besitzen.

Dass die Flachdisplayhersteller an solchen Panels arbeiten konnte man ebenfalls auf der Funkausstellung 2011 sehen. Sharp zeigte einen Vorgeschmack eines zukünftigen Super-Hi-Vision Systems mit 16-facher HDTV Auflösung.

Abschließend kann jedoch festgestellt werden dass dieses autostereoskopische Verfahren (basierend auf n-Ansichten) heute die einzige brillenlose 3D-Technik für den Heimbereich darstellt, die das Potential zur breiteren Umsetzung in der näheren Zukunft besitzt.

Der Vollständigkeit halber soll darauf hingewiesen werden, dass es noch ein zweites autostereoskopisches Verfahren basierend auf dem Parallaxen-Stereogramm gibt. Die Applikation dieser Technik auf Flachdisplays (LCD, Plasma) führt aber zu einer starken Reduktion der Bildhelligkeit, die durch die Abschattung der für dieses Prinzip notwendigen Barriere (z.B. Schlitzblende) hervorgerufen wird. Deswegen wird dieses Prinzip bei 3D-TV-Geräten nicht eingesetzt. Es kommt aber bei kleinen Displays für kleine "handheld" Geräte im Spiele- und Mobilfunkgerätebereich zur Anwendung.

Abschließend sind in der Abb.8 die Vor- und Nachteile der in der 3D-Fernsehgerätetechnik angewandten Verfahren zusammengefasst.

Verfahren	Vorteil	Nachteil	Bemerkung
Shutterbrille	Volle HDTV Auflösung	Teure aktive Brille (mit Batterie/Akku) Mit bestimmten Lichtquellen kann es zu Flackererscheinungen kommen.	z.Z. noch einziges Verfahren mit voller 3D HDTV Auflösung im deutschen Markt
Polfilterbrille	Preiswerte und sehr leichte Brille (wie in 3D-Kinos)	z.Z. keine HDTV Auflösung (statt 1080 nur 540 Zeilen)	In Zukunft volle HDTV Auflösung (In Verbindung mit 4k Displays also Displays mit vierfacher HDTV Auflösung; anlässlich der CES 2012 wurden erste Geräte vorgestellt)
Autostereoskopisch (ohne Brille)	Keine Brille	z.Z. keine HDTV Auflösung trotz Verwendung von 4k Displays	Erst in der ferneren Zukunft volle HDTV Auflösung (Wenn superhochauflösende Displays mit mehr als vierfacher HDTV Auflösung zu erschwinglichen Preisen zur Verfügung stehen)

Abb. 8: Vor- und Nachteile der in der 3D-Fernsehertechnik angewandten Verfahren.

3. Probleme („Shortcomings“) beim derzeitigen technischen Stand der 3D-Wiedergabe

3D-Kino und 3D-Fernsehen

Das Hauptproblem ist, dass beim Betrachten von natürlichen Vorlagen eine Änderung der Akkommodation (Scharfstellung der Augen durch Verändern der Linsenbrennweite) von einer Veränderung der Konvergenz (Veränderung des Konvergenzwinkels der beiden Augen durch die Augenmuskeln) begleitet ist. Wenn wir eine virtuelle 3D-Szene auf einer Kinoleinwand oder auf einem Fernsehschirm betrachten, so liegt der Schärfepunkt fest auf der Projektionsebene. Die Einstellung des Konvergenzwinkels wird aber durch die Aufnahme und Projektion vorgegeben (siehe Abb. 9).

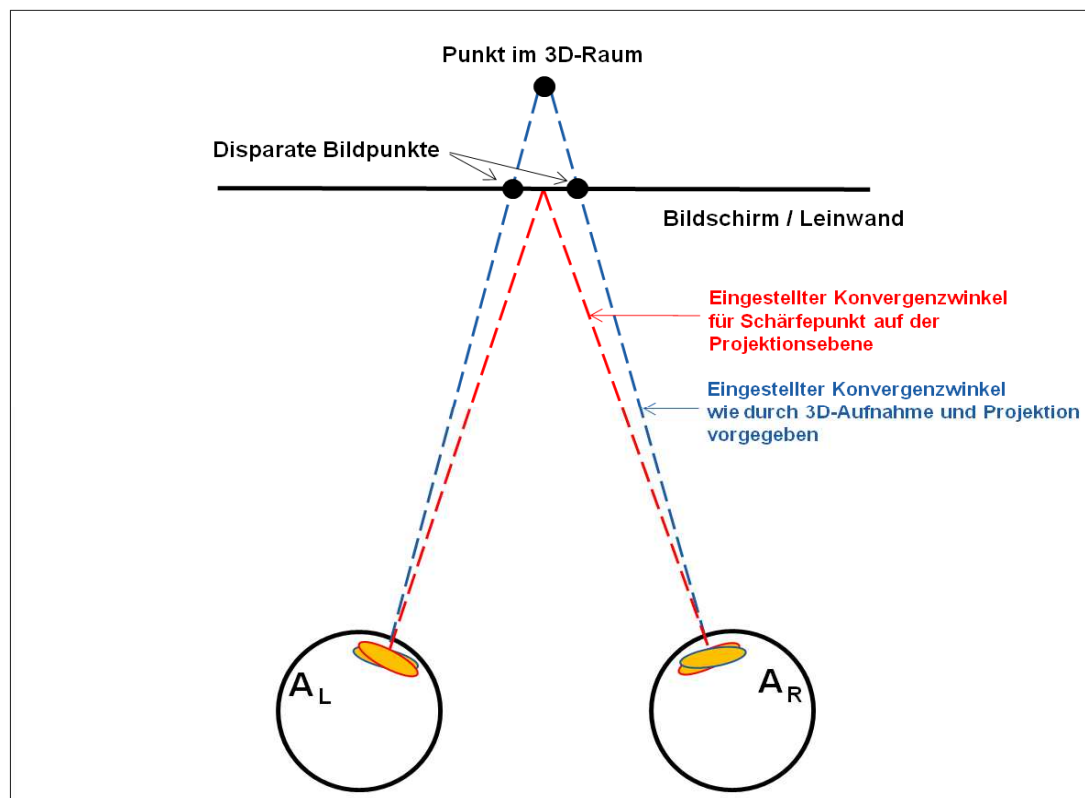


Abb. 9: 3D-Projektion auf eine ebene Fläche.

(Eigene Zeichnung nach Hodges 1992; in Howard I.P. 2002 *Seeing in Depth*)

Dieser Konflikt zwischen Konvergenz und Akkommodation belastet das Konvergenzsystem, was in seltenen Fällen zu Augenüberanstrengung und Übelkeit führen kann. Dies wurde zumindest von Benutzern von 3D-Virtual-Reality-Systemen berichtet (Howard 2002). Um Risiken und Bedenken sicher auszuschließen sind hier sicherlich noch weitere wissenschaftliche Forschungsarbeiten durchzuführen.

Um eine Überanstrengung des Konvergenzsystems des Zuschauers durch Überzüchtung der Tiefenwirkung zu vermeiden sollte, bei der Aufnahme auf Vergrößerung des Links-Rechts-Kameraabstandes über den Augenabstand hinaus unbedingt verzichtet werden. Auch sollte ein Wechsel des Konvergenzwinkels bei der Aufnahme äußerst moderat gehandhabt werden.

Da heute fast ausschließlich Verfahren mit Brillen im kommerziellen Einsatz sind, sollte auch bei der Konstruktion der Brillen Augenmerk darauf verwandt werden, dass bei

Brillenträgern, die ja dann zwei Brillen übereinander tragen müssen bei dieser Stapelung möglichst keine Spiegelungen und optische Fehler auftreten.

Generell bedeutet die Benutzung von Polarisations- oder Shutterbrillen eine Reduzierung der Helligkeit. Dies ist im Kino nicht so bedeutend, da der Kinosaal ja abgedunkelt ist. Im Fall von 3D-Fernsehgeräten sollte man darauf achten, dass das Gerät eine ausreichend große Helligkeitsreserve besitzt damit 3D-Fernsehen bei vollem Tageslicht möglich ist.

3D-Fernsehen und der Puppenstubeneffekt

Die örtliche Grenzauflösung des menschlichen Auges, die sich aus der Dichte der Zapfen in der Sehgrube (Fovea) ergibt, variiert sicherlich individuell etwas und beträgt ca. 1 bis 2 Bogenminuten. Nehmen wir eine mittlere Auflösung von 1,5 Bogenminuten an, so entsprechen diese $0,025^\circ$. Mit diesem Wert, der Zeilenzahl des Fernsehsystems und der Bildschirmdiagonale des benutzten TV-Gerätes lässt sich mittels elementaren Winkelfunktionen der optimale Betrachtungsabstand ermitteln. Die Zeilenstruktur oder Pixelstruktur bei Flatpanels ist dabei quasi an der Schwelle der Sichtbarkeit und stört damit nicht. Somit erhält man die beste mögliche Telepräsenz, d.h., die Bildgröße füllt das Blickfeld des Betrachters möglichst weit aus. Nehmen wir ein TV-Gerät mit 1,07 m (42 Zoll) Bildschirmdiagonale an so ergibt sich für Standardfernsehen (SDTV) ein Betrachtungsabstand von etwa 2,60 m (Näherungswert etwa 5 fache Bildhöhe). Beim hochauflösenden Fernsehen, nur dies kommt für 3D-TV in Betracht, ergibt sich ein optimaler Betrachtungsabstand von ca. 1,30 m (Näherungswert 2,5 fache Bildhöhe). Für Überschlagsrechnungen kann bei Fernsehgeräten im 16:9 Format (Standard bei HDTV tauglichen Geräten) für die Bildhöhe die Hälfte der Diagonale angenommen werden.

Wie unschwer zu erkennen ist wird in der häuslichen Wohnlandschaft ein Betrachtungsabstand von 2,5 facher Bildhöhe (oder 1,25 facher Bildschirmdiagonale) beim Betrachten von hochauflösenden Fernsehen nicht eingehalten. Dies führt beim Ansehen von 3D-Filmen zum sogenannten „Puppenstubeneffekt“. D.h., bei Weitwinkelaufnahmen sind die betrachteten Objekte so klein dass man diese nicht für real hält. Bezüglich Telepräsenz, also der Einbezogenheit in das Geschehen der filmischen Vorlage, ist das 3D-Kino mit seinen riesigen Leinwänden natürlich überlegen. Im Heimbereich sollte man deshalb ein Gerät mit einer zum Betrachtungsabstand passenden Diagonale wählen oder gar einen 3D-HDTV-Projektor mit entsprechend großem Projektionsschirm.

3D-Fernsehgeräte und das Übersprechen der Kanäle Links und Rechts (Ghosting)

Wie schon erwähnt kommen bei 3D-Fernsehgeräten, die sich heute in der Serienproduktion befinden, zum großen Teil aktive LCD-Shutterbrillen zum Einsatz. Dabei muss die Öffnungszeit der Brille genau an die Darstellungszeit der jeweiligen linken oder rechten Bildvorlage auf dem Bildschirm des Fernsehgerätes angepasst werden. Wenn dies nicht optimal justiert ist, bekommt das linke und rechte Auge ein abgeschwächtes Bild des jeweils für das andere Auge bestimmten Bildes. Dies lässt dann die Disparation der beiden Bilder sichtbar werden, d.h., man sieht Doppelkonturen.

3D-Fernsehgeräte die 3D aus normalen 2D-Vorlagen berechnen

Es ist im Grunde eine Vorgehensweise, die immer wieder bei der Einführung von neuen Standards probiert wurde. Bei der Einführung der Audio-Stereophonie wurde versucht Monosignale in (Pseudo)-Stereosignale umzuwandeln. Bei der Einführung des hochauflösenden Fernsehens wurde behauptet, man könne aus einem Standard TV-Signal höherauflösende Komponenten berechnen. Und nun bei der Einführung von 3D-TV wird wieder versucht für ebene 2D-Aufnahmen Tiefeninformation zu berechnen. Gemeinsam ist all diesen Versuchen, dass sie prinzipiell nicht funktionieren können. Informationen, die bei der Aufnahme nicht erfasst wurden, lassen sich mit keiner Technik der Welt wieder hinzufügen. Im Fall von 3D-TV wird versucht mit Objekterkennungs-Algorithmen einzelne Gegenstände und Personen aus dem ebenen Bild zu erfassen und diesen dann eine künstliche Tiefe zuzuweisen. Dies führt bei der Realisation in Consumer 3D-TV-Geräten aufgrund der „Echtzeitbedingung“ und der sehr beschränkten Rechenleistung zu einem sogenannten Scherenschnitt-Phänomen (Cardboard cut-out Phenomenon). D.h., Objekte wirken wie ausgeschnitten und eben vor dem Hintergrund platziert. Mit einer natürlichen Tiefenwiedergabe hat dies nichts zu tun.

Nicht verwechseln darf man das oben beschriebene Verfahren mit dem Vorgehen bei Computergraphiken. In den Studios werden Trick- und Animationsfilme rein synthetisch oder durch Abnahme aus Modellen auf mathematischer Basis erstellt. In diesen mathematischen Abbildungen ist auch Tiefeninformation eingebaut. Diese Trick- und Animationsfilme können aber nicht den Anspruch erheben, dass sie die uns umgebende reale Welt möglichst naturgetreu und ohne Verfälschung wiedergeben.

4. 3D-Testbilder und Testsequenzen

“Beauty lies in the eye of the beholder” heißt es bei Shakespeare. Wenn Sie den Kauf eines 3D-Fernsehgerätes in Erwägung ziehen, sollten Sie nur Ihren eigenen Augen trauen. D.h., Sie sollten mit einer entsprechenden Bildvorlage die Sie kennen und die Sie jederzeit wieder benutzen können einen Bildvergleich zwischen den angebotenen Geräten bei Ihrem Händler machen. Dazu gibt es Experten, die 3D-Test-Blu-rays oder Testbilder zum Download für diesen Zweck anbieten (z.B. unter <http://www.burosch.de>).

5. Ausblick

Wenn man die Versuche zur Etablierung von 3D-Filmen der Filmindustrie betrachtet, so fallen Spitzen in den 50iger Jahren, in den 80iger Jahren des letzten Jahrhunderts und jetzt von 2009 bis heute auf. Man kann daraus unschwer zwei Fakten entnehmen. Die Spitzen sind jeweils im Generationenabstand zu beobachten, d.h., eine jeweils neue Generation lernt diese Technik zum ersten Mal im Kino kennen. Und zweitens folgten diese Versuche jeweils auf zurückgehende Besucherzahlen im Kino durch neue Medien im Heimbereich. In den 50igern durch den Siegeszug des Fernsehens in den USA. In den 80igern die flächendeckende Verbreitung von Farbfernsehgeräten mit großen Röhrenbildschirmen und einer Vielzahl von empfangbaren Programmen (Private Fernsehanbieter) und Ende des ersten Jahrzehnts im neuen Jahrtausend die Etablierung von großen Flachbildschirmen und hochauflösendem Fernsehen (HDTV) in den Wohnzimmern.

Auch die Inhalte des jeweiligen 3D-Filmangebotes darf man meines Erachtens nicht außer Betracht lassen. In den 50igern wendete sich das 3D-Filmangebot mit Horror- und Science-Fiction-Filmen wie z.B. Jack Arnolds „It came from Outer Space“ vorwiegend an Erwachsene. In den 80igern wurde es zeitgemäß mit Exploitation-Filmen und viel Erotik probiert (z.B. Emmanuelle 4 in 1984). Und der neueste Versuch sind meistens computergenerierte Trick- und Actionfilme für das heute überwiegend junge Kinopublikum. Was sich aber geändert hat, dass nun auch namhafte Regisseure die 3D-Film-Technik als künstlerisches Ausdrucksmittel benutzen.

Was ich meine möchte ich an drei Beispielen aufzeigen. Da ist erstens die wundervolle Hommage des Regisseurs Wim Wenders an Pina Bausch. Wer die Porträtaufnahmen der Kompaniemitglieder sieht, während diese ihre Erinnerungen an Pina erzählen, muss zugeben dass 3D ein notwendiges künstlerisches Ausdrucksmittel darstellt. Zweitens Werner Herzogs „Die Höhle der vergessenen Träume“. Nur 3D-Technik kann die bis zu 35000 Jahre alten Felszeichnungen der Chauvethöhle so wiedergeben, wie sie die Steinzeitkünstler gedacht haben. Sie haben nämlich Erhebungen und Vertiefungen der Felswände benutzt um ihre Tierzeichnungen plastisch wirken zu lassen. Und drittens Martin Scorseses neuestes Meisterwerk „Hugo Cabret“. Ohne 3D-Technik würden all die mechanischen Uhren und Automaten im wahrsten Sinne des Wortes flach wirken.

Damit ist die Chance riesengroß dass sich die 3D-Technik diesmal fest etablieren und neben dem Eventcharakter von Blockbuster 3D Filmen sich ein breiteres Publikum mit anspruchsvolleren Sujets erschließen kann.

Im deutschen Heimbereich wird wohl zunächst die 3D-Blu-ray die wichtigste Programmquelle für das 3D-fähige Flachbildfernsehgerät bleiben sieht man vom Nischenmarkt der Eigenaufnahmen mit Consumer 3D-Kameras und 3D-Camcordern ab, denn die öffentlich rechtlichen sowie privaten Sender haben mit der Einführung von HDTV riesige Investitionen zu tragen. Deshalb wird wohl mittelfristig nicht im großen Umfang in die Anschaffung von 3D-Kameras sowie 3D-Studio-Infrastruktur investiert werden können. Zumal die z.Z. für die Fernsehübertragung benutzten Verfahren aus Gründen der Bandbreitenökonomie sowie der Rückwärtskompatibilität zu im Markt befindlichen SAT-Receivern z.B. im side-by-side Mode arbeiten, was die Reduzierung der horizontalen Auflösung auf die Hälfte zur Folge hat (statt 1920 Bildpunkte nur mehr 960 Bildpunkte pro Fernsehzeile). Dies ist dann nur geringfügig mehr als die Standard TV-Auflösung (DVD 720 Bildpunkte) und damit kontraproduktiv zur Einführung von HDTV. Weiterhin sind Kanäle, in denen 3D im side-by-side Mode übertragen wird nicht rückwärtskompatibel, d.h. TV-Geräte die keine 3D-Funktion besitzen, würden nebeneinander das gestauchte linke und rechte Bild zeigen. Deswegen wird sich längerfristig auch bei der 3D-Fernsehübertragung der bei Blu-ray eingeführte MPEG-4MVC Standard durchsetzen und in SAT-Receivern sowie Kabel-TV-Receivern eingebaut werden.

Weiterhin bleibt die Frage ob größere Teile der Konsumenten bereit sind beim Fernsehabend eine Brille zu tragen. Denn nur die Verwendung einer Shutterbrille bzw. einer Polfilterbrille in Verbindung mit 4k-Panel gewährleistet eine 3D-Wiedergabe mit voller HDTV-Auflösung. Die heute verfügbaren Geräte mit brillenlosen Verfahren (autostereoskopisch) erreichen keine HDTV-Auflösung und lassen auch bezüglich Tiefenwirkung noch zu wünschen übrig.

Andererseits bedeutet die Verwendung einer Brille nicht, dass bei Einführung zukünftiger hochwertiger brillenloser 3D-TV-Geräte das gesamte jetzige System infrage gestellt wird. Der heutige Standard MPEG-4 MVC (Multiview-Video-Coding-Format), bei dem unterschiedliche Bilder für das linke und rechte Auge aufgezeichnet, auf der Blu-ray gespeichert und über den Player via HDMI ausgegeben werden, wird auch in Zukunft Bestand haben – allein die Darstellung des Bildes auf dem Display wird sich wandeln und die Brillen könnten nach und nach verschwinden. Voraussetzung ist aber, dass die Kosten für superhochauflösende Displays entsprechend reduziert werden können und damit der Aufbau von erschwinglichen brillenlosen 3D-TV-Geräten ermöglicht wird. Der heutige innovative Käufer von 3D-Blu-ray Filmen braucht also nicht zu befürchten, dass er seine Scheiben bei neuen 3D-Displayverfahren nicht mehr verwenden kann.

6. Literaturverzeichnis

- Holliman, N.** **3D Display Systems**
 Department of Computer Science
 University of Durham, Durham 2005
- Howard, I.P.** **Seeing in Depth**
 Volume I Basic Mechanisms
 University of Toronto Press, Toronto, 2002
- Howard, I.P.** **Seeing in Depth**
 Volume II Depth Perception
 University of Toronto Press, Toronto, 2002
- Ponce, R.(et al.)** **Stereopsis.**
 Current Biology
 Volume 18 No 18, 2008



Konrad L. Maul
Dipl.-Ing. (FH)
Certified Counsellor

Konrad L. Maul war 37 Jahre in der Fernsehentwicklung tätig, davon 30 Jahre in leitender Position. Als Gruppenleiter war er für das erste 100 Hertz-TV-Gerät verantwortlich. Von 2001 bis 2008 leitete er die Fernsehentwicklung eines großen deutschen TV-Herstellers.

Damit ist er einer der erfahrensten und profiliertesten TV-Entwickler Deutschlands.

Heute arbeitet er am Aufbau einer Tätigkeit als Berater für Einzelne, Gruppen und Organisationen in technischen, wirtschaftlichen und sozialen Handlungsfeldern.

<http://www.gisela-und-konrad-maul.de>

URHEBERRECHT / COPYRIGHT

Alle Rechte vorbehalten, all rights reserved,
Konrad L. Maul, Dipl.-Ing. (FH)
90473 Nürnberg

Dieses Technik-Essay, sein Inhalt und die enthaltenen Ideen sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen nur zu privaten, wissenschaftlichen und nichtgewerblichen Gebrauch zum Zweck der Information kopiert und ausgedruckt werden. Der Autor behält sich das Recht vor, diese Erlaubnis jederzeit zu widerrufen. Ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Autors darf dieses Dokument nicht vervielfältigt, archiviert, oder auf einem Server gespeichert, in Webseiten und Newsgruppen einbezogen, in Online-Diensten benutzt oder auf einer CD-ROM gespeichert werden.

Ich erlaube ausdrücklich und begrüße das Zitieren aus diesem Dokument.