

BINOKULARSEHEN

Samstag, 13. Juni 2015

Eine kurze Geschichte des Binokularsehens	2
M.Sc., Dipl. Optom. (FH) Janine Büttner, Dr. Tobias Ruhnke, Dipl. Kfm., Dipl. VW, Staatl. gepr. AO, Dozenten der Fielmann Akademie Schloss Plön	
Störungen des Binokularsehens – Prismen, Training oder Addition?	3
M.Sc., Dipl. AO Ivonne Krawczyk	
Entwicklung und Störungen des binokularen Sehens bei Kindern	6
Dr. med. Christian Kandzia, Leiter des Bereichs Orth- und Pleoptik an der Augenklinik des Universitätsklinikums Schleswig Holstein, Campus Kiel	
Effekte von konstant getragenen Prismen auf die subjektive und objektive Fixationsdisparität	7
B.Sc. Volkhard Schroth, Staatl. gepr. AO, Optometrist, Dozent am Institut für Optometrie der Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten	
Besser 2D oder 3D? – Reproduzierbarkeit der Refraktionsbestimmung mit PasKal 3D	8
Dipl.-Ing. (FH) Olaf Schmidt-Kiy, Dozent der Fielmann Akademie Schloss Plön	
Displaytechnologien und 3D Monitore in der Augenoptik	9
M.Eng. Oliver Kolbe, Ernst-Abbe-Hochschule Jena	
3D in Kino und Fernsehen – können wir noch Schritt halten.	13
Ein Vortrag in 3D Dr. med. Christian Kandzia	

EINE KURZE GESCHICHTE DES BINOKULARSEHENS

*M.Sc., Dipl. Optom. (FH) Janine Büttner, Dr. Tobias Ruhnke, Dipl. Kfm., Dipl. VW,
Staatl. gepr. AO, Dozenten der Fielmann Akademie Schloss Plön*

Die von uns visuell wahrgenommene Umwelt ist dreidimensional. Dinge überlagern sich oder werden aufgrund der akkommodativen Einstellung sowie dem Abgleich von Netzhautbildgrößen mit Erfahrungswerten und perspektivischen Eindrücken unterschiedlich im Raum verortet. Kurz gesagt: Ein VW-Käfer, dessen Netzhautbild kleiner ist als das eines anderen, muss weiter weg sein.

Ziel unseres Grundlagenvortrags zum Kolloquium ist es, die theoretischen Zusammenhänge des Binokularsehens zu beleuchten und die Erinnerung an relevante Fachbegriffe wieder aufzufrischen, so dass die nachfolgenden Vorträge leichter verständlich werden. Insbesondere soll darauf eingegangen werden, wie es in der theoretischen Darstellung zur dreidimensionalen Wahrnehmung kommt.

Ein wirklich dreidimensionales Sehen wird erst dadurch möglich, dass die leicht unterschiedlichen Seheindrücke beider Augen zusammengeführt werden, getreu dem Motto: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“. Die Bilder des rechten und die des linken Auges werden also nicht einfach addiert, sondern ihre Differenz ausgewertet und räumlich interpretiert.

In der Theorie des Binokularsehens lässt sich diese räumliche Interpretation von unterschiedlichen Netzhautbildern als Auswertung so genannter Disparationen verstehen. Hierbei wird häufig ein Augenpaar betrachtet, das einen beliebigen Objektpunkt beidäugig fixiert. Der angeblickte Objektpunkt wird dann beidseitig auf der Foveola abgebildet und damit als geradeaus wahrgenommen.

Die Netzhaut ist also als ein Koordinatensystem vorstellbar, das jedem Bildpunkt einen bestimmten Richtungswert im Außenraum zuweist; die Foveola als Netzhautmitte stellt quasi den Nullpunkt dar, dem der Richtungswert „geradeaus“ zugeteilt ist. Fallen die Bilder eines (nicht fixierten) Objektes nicht auf korrespondierende, d. h. disparate Netzhautstellen, so werden sie doppelt gesehen – es sei denn, die Disparation ist relativ klein, so dass durch Umschaltung von Richtungswerten ein Fusionieren möglich wird. Der Bereich, in dem dies laut der gängigen Theorie möglich ist, nennt sich Panumbereich: Hier ist binokulares Einfachsehen – trotz disparater Abbildung – möglich, sofern die Bilder fusionierbar sind, d. h. hinreichend gleich in Bezug auf Größe, Form, Farbe, Struktur usw.

Ein wichtiger Punkt, auf den in unserem Vortrag eingegangen werden soll, ist die „lose Kopplung“ von Akkommodation und Vergenz. Häufig werden die akkommodativen Vorgänge, die im Binokularsehen vonstattengehen, nicht ausreichend mitgedacht und erfahren zu wenig Berücksichtigung. Man unterstellt, dass sich in den unterschiedlichen Einstellentfernungen Vergenz und Akkommodation im Einklang befinden, wenn „das richtige“ Prisma gefunden wurde.

Eine ganzheitliche Herangehensweise an binokulare Probleme sollte das Zusammenwirken von Akkommodation und Vergenz stärker beachten. Auf diese Weise würden auch die Möglichkeiten zur Lösung erweitert, da nicht nur prismatische, sondern auch dioptrische Stellschrauben in Frage kommen.

STÖRUNGEN DES BINOKULARSEHENS – PRISMEN, TRAINING ODER ADDITION?

M.Sc., Dipl. AO Ivonne Krawczyk

Störungen des Binokularsehens können unter anderem durch Vergenz- und Akkommodationsstörungen ausgelöst werden. Da Konvergenz und Akkommodation miteinander gekoppelt sind, beeinflussen Störungen des einen Systems auch das jeweils andere System. Eine Korrektur ist grundsätzlich aber nur dann erforderlich, wenn der Kunde über Schwierigkeiten klagt.

Vergenzstörungen werden nach anglo-amerikanischer Sichtweise nach der jeweiligen Fernphorie und dem AC/A Quotienten eingeteilt. Der AC/A Quotient gibt an, wie viele cm/m akkommodativer Konvergenz je dpt Akkommodation geleistet werden. Es gibt Vergenzstörungen mit normalem, niedrigem und hohem AC/A Quotienten. Bei normalem AC/A Quotienten sind Fern- und Nahphorie annähernd gleich groß, bei niedrigem AC/A Quotienten wird zu wenig akkommodative Konvergenz je dpt Akkommodation geleistet, bei hohem AC/A Quotienten dagegen wird zu viel akkommodative Konvergenz aufgebracht. Tabelle 1 fasst die einzelnen Vergenzstörungen zusammen.

Störungen der Akkommodation treten auch schon vor der Presbyopie auf. Zu den häufigsten Akkommodationsstörungen bei Nicht-Presbyopen zählen:

- akkommodative Insuffizienz
- akkommodativer Exzess
- und akkommodative Inflexibilität.

Die akkommodative Insuffizienz ist dadurch gekennzeichnet, dass die Akkommodation auf einen Akkommodationsstimulus zu gering ausfällt. Ein wichtiges klinisches Zeichen ist ein maximaler Akkommodationserfolg, der niedriger ausfällt als der Altersnormwert. Beim akkommodativen Exzess fällt die Akkommodation auf einen Akkommodationsstimulus zu stark aus. Die akkommodative Inflexibilität zeichnet sich dadurch aus, dass die Akkommodationseinstellung auf unterschiedliche Entfernungen verlangsamt abläuft.

Studien zur Prävalenz von Binokularstörungen zeigen, dass Konvergenz- und Akkommodationsstörungen am häufigsten vorkommen (Scheiman, Prevalence of vision and ocular disease conditions in a clinical

Tabelle 1: Vergenzstörungen in der Übersicht

AC/A Quotient	Name	Eigenschaften
Normaler AC/A Quotient	Esophorie	annähernd gleiche Esophorie in Ferne und Nähe
	Exophorie	annähernd gleiche Exophorie in Ferne und Nähe
	Fusionale Vergenzdysfunktion	Eingeschränkte Fusionsbreiten (B.i. und B.a.) in Ferne und Nähe
Niedriger AC/A Quotient	Konvergenzinsuffizienz	Höhere Exophorie in der Nähe als in der Ferne
	Divergenzinsuffizienz	Höhere Esophorie in der Ferne als in der Nähe
Hoher AC/A Quotient	Konvergenzexzess	Höhere Esophorie in der Nähe als in der Ferne
	Divergenzexzess	Höhere Exophorie in der Ferne als in der Nähe

pediatric population, 1996) (Rouse, 1999) (Porcar, 1997) (Hokoda, 1985) (Borstings, 2003). Bei den Vergenzstörungen kommen die meisten Studien zu dem Schluss, dass die häufigste Störung die Konvergenzinsuffizienz ist (Porcar, 1997).

Sowohl Konvergenz- als auch Akkommodationsstörungen machen vor allem Schwierigkeiten in der Nähe. Um herauszufinden, welches der beiden Systeme für die Symptome verantwortlich ist, müssen sowohl Tests zur Vergenz als auch Tests zur Akkommodation durchgeführt werden. Die vier wichtigsten Gruppen der Akkommodationsstörung sind:

- Messung des maximalen Akkommodationserfolges
- Messung der relativen Akkommodation
- Test der Akkommodationsgenauigkeit
- Test der akkommodativen Flexibilität.

Vor allem die Messung der Akkommodationsgenauigkeit und -flexibilität sind bisher nicht weit verbreitet. Zur Überprüfung der Akkommodationsgenauigkeit kann z. B. die MEM-Skiaskopie genutzt werden. Sie erlaubt Rückschlüsse darauf, ob auf eine vorgegebene Entfernung die Akkommodation möglicherweise zu stark oder zu niedrig ausfällt. In den Fällen, in denen zu wenig Akkommodation geleistet wird, kann mit Hilfe der MEM-Skiaskopie die benötigte Addition abgeleitet werden. Die akkommodative Flexibilität wird in der Regel mit einem $\pm 2,00$ dpt Flipper geprüft. Der Flipper wird gewendet, wenn die Sehzeichen deutlich und nicht doppelt gesehen werden. Oft wird eine Prüfentfernung von 40 cm verwendet. Symptomatische Personen zeigen bei der binokularen Messung Werte unter 10 Runden pro Minute (Wick, 2002). Eine Runde entspricht dabei dem Vorhalten von einmal $+2,00$ dpt und einmal $-2,00$ dpt. Mit Hilfe der Messung der akkommodativen Flexibilität kann zwischen einer Vergenz- und einer Akkommodationsstörung unterschieden werden. Wenn das Ergebnis nur binokular unter dem Normbereich liegt, monokular

aber der Normbereich erreicht wird, liegt vorrangig eine Vergenzstörung vor. Ergibt auch die monokulare Messung Werte, die nicht im Normbereich liegen, spricht einiges für eine akkommodative Störung.

Da Vergenz und Akkommodation miteinander gekoppelt sind, können Binokularstörungen sowohl prismatisch als auch dioptrisch korrigiert werden. Nach anglo-amerikanischer Sichtweise stellen Prismen nur bei Vertikal- und hohen Esophorien die erste Wahl dar. Bei Vergenzstörungen mit niedrigem AC/A Quotienten sind Prismen ebenfalls eine Option. Bei der Divergenzinsuffizienz kommen Prismen Basis außen für die Ferne in Frage. Bei der Konvergenzinsuffizienz werden Prismen Basis innen für die Nähe eingesetzt. In einer Studie von Scheiman et al. zeigte sich jedoch, dass bei Kindern Gläser mit Prismen Basis innen nicht besser waren als Placebo-Gläser (Scheiman & Cotter, Randomised clinical trial of the effectiveness of base-in prism reading glasses versus placebo reading glasses for symptomatic convergence insufficiency in children, 2005). In einer Studie mit Presbyopen führten Prismen Basis innen in der Nähe hingegen zu einer Symptomlinderung (Teitelbaum, 2009). Das korrigierende Prisma sollte idealerweise unter assoziierten Bedingungen ermittelt werden.

Eine dioptrische Korrektur bietet sich bei Vergenzstörungen mit hohem AC/A Quotienten an. Bei einem Konvergenzexzess kommt eine Addition für die Nähe als Korrekturmöglichkeit in Frage. Weitere Binokularstörungen, die auf eine Addition ansprechen, sind die Esophorie und die akkommodative Insuffizienz.

Neben Prismen und Addition stellt das Trainieren der Akkommodation und Vergenz eine Behandlungsmöglichkeit dar. Für die Konvergenzinsuffizienz liegen Studien vor, die das "office based training" als Methode der Wahl bei Konvergenzinsuffizienz bezeichnen (Scheiman & Rouse, Treatment

of Convergence Insufficiency in Childhood: A Current Perspective, 2009). Das Training führt dabei sowohl zu einer Verbesserung der Symptome der Konvergenzinsuffizienz als auch der klinischen Zeichen (CITT, 2009).

Aber auch für akkommodative Störungen scheint Training eine Alternative darzustellen. Das Training reduziert asthenopische Beschwerden bei akkommodativen Störungen (Cooper, 1987). Es kann zu einer Verbesserung des maximalen Akkommodationserfolges und einer verbesserten ak-

kommodativen Flexibilität bei Schulkindern mit akkommodativen Störungen eingesetzt werden (Scheiman, Treatment of accommodative dysfunction in children: results from a randomized clinical trial, 2011).

Schildert der Kunde Symptome, die auf eine Binokularstörung hinweisen, müssen sowohl Vergenz- als auch Akkommodationssteste durchgeführt werden. Die Akkommodationsteste spielen dabei eine wichtige Rolle. Welche Korrektur bei dem jeweiligen Kunden erfolgversprechend ist, kann erst danach sinnvoll entschieden werden.

Literaturverzeichnis

- Borstings. (2003). Association of symptoms and convergence and accommodative insufficiency in school-age children. *Optometry*, 74(1):25-34.
- CITT. (2009). Long-term effectiveness of treatments for symptomatic convergence insufficiency in children. *Optometry & Vision Science*, 86(9):1096-103.
- Cooper. (1987). Reduction of asthenopia after accommodative facility training. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 64(6): 430-436.
- Hokoda. (1985). General binocular dysfunctions in an urban optometry clinic. *Journal of the American Optometric Association*, 56(7):560-562.
- Porcar. (1997). Prevalence of general binocular dysfunctions in a population of university students. *Optometry & Vision Science*, 74(2):111-3.
- Rouse. (1999). Frequency of Convergence Insufficiency Among Fifth and Sixth Graders. *Optometry & Vision Science*, Volume 76.
- Scheiman. (1996). Prevalence of vision and ocular disease conditions in a clinical pediatric population. *Journal of the American Optometric Association*, 67(4):193-202.
- Scheiman. (2005). Randomised clinical trial of the effectiveness of base-in prism reading glasses versus placebo reading glasses for symptomatic convergence insufficiency in children. *British Journal of Ophthalmology*, 89(10): 1318-1323.
- Scheiman. (2011). Treatment of accommodative dysfunction in children: results from a randomized clinical trial. *Optometry & Vision Science*, 88(11):1343-52.
- Scheiman, & Cotter. (2005). Randomised clinical trial of the effectiveness of base-in prism reading glasses versus placebo reading glasses for symptomatic convergence insufficiency in children. *British Journal of Ophthalmology*, 89(19): 1318-1323.
- Scheiman, & Rouse. (2009). Treatment of Convergence Insufficiency in Childhood: A Current Perspective. *Optometry & Vision Science*, 86(5): 420-428.
- Teitelbaum. (2009). Effectiveness of base in prism for presbyopes with convergence insufficiency. *Optometry & Vision Science*, 86(2):153-6.

ENTWICKLUNG UND STÖRUNGEN DES BINO- KULAREN SEHENS BEI KINDERN

*Dr. med. Christian Kandzia, Leiter des Bereichs Orth- und Pleoptik
an der Augenklinik des Universitätsklinikums Schleswig Holstein, Campus Kiel*

Der Vortrag erklärt, wie sich zum einen in der Evolution der Sehakt im Allgemeinen entwickelt hat, zum anderen wie der Mensch das Binokularsehen in Richtung der Fähigkeit zur Wahrnehmung dreidimensionaler Bilder entwickelt hat. Hierbei wird auf die grundsätzliche Problematik des binokularen Einfachsehens bei frontalisierter Augenstellung eingegangen.

Gezeigt wird, welche Störungen auf retinaler und cerebraler Ebene auftreten können und wie sie sich beispielsweise in optischen Täuschungen wiederfinden.

Weiter soll der Vortrag die wesentlichen Störgrößen im Bereich des Binokularsehens aufzeigen. Hierzu gehören die Motilitätsstörung, die Schiefstellung und die Deprivation. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den teilweise gut larvierten minimalen Beweglichkeitsstörungen, die gerade beim Kind erhebliche Beeinträchtigungen in der Entwicklung nicht nur des Sehens sondern der gesamten Motorik bedingen können. Gleichzeitig treten sie mitunter nicht als Störung des Sehaktes sondern als Störung der Gesamtentwicklung zu Tage. Bleiben solche Störungen unbemerkt und eben auch unbehandelt, so kann dies zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Entwicklung führen.

Umso mehr soll dieser Vortrag die fließenden Übergänge zwischen minimalen Störungen des Binokularsehens und Verhaltens- bzw. Entwicklungsauffälligkeiten aufzeigen. Besonderes Augenmerk soll auch gerichtet werden auf die Möglichkeiten der operativen Behandlung solcher Binokularstörungen.

Im Einzelnen werden die Konvergenzinsuffizienz, das Retraktionssyndrom und die Exophorie dargestellt.

Dass in vielen Fällen nur die Operation an den Augenmuskeln die physiologischen Muskelspannungsverhältnisse wiederherstellen kann und damit dem Patienten dauerhafte Beschwerdefreiheit gibt, wird anhand von Fallbeispielen gezeigt.

EFFEKTE VON KONSTANT GETRAGENEN PRISMEN AUF DIE SUBJEKTIVE UND OBJEKTIVE FIXATIONSDISPARITÄT

B.Sc. Volkhard Schroth, Staatl. gepr. AO, Optometrist,

Dozent am Institut für Optometrie der Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten

Man könnte annehmen, dass eine objektive und subjektive Fixationsdisparität durch das Tragen von Ausgleichs Prismen verringert wird. Es wäre aber auch möglich, dass sich aufgrund der Adaptationsfähigkeit des binokularen Vergenzsystems der Prismeneffekt mit der Zeit deutlich reduziert.

In einer Studie wurde untersucht, welche Auswirkungen das konstante, tägliche Tragen von Prismen über etwa fünf Wochen hat. Zwei Gruppen von je 12 Probanden bekamen Brillen, die entweder die Ausgleichs Prismen bis maximal 8cm/m Basis außen oder Basis innen enthielten. Die Ausgleichs Prismen wurden gemäß der Mess- und Korrektionsmethodik nach H.-J. Haase in 6 m verordnet.

Zwei abhängige Variablen wurden verwendet:

- 1) subjektive Fixationsdisparität als wahrgenommener Versatz von dichoptischen Noniuslinien bei zusätzlich vorhandenen Fusionsreizen
- 2) objektive Fixationsdisparität als video-basierte Eyetracking Messung relativ zur monokularen Kalibration.

Die verschiedenen Testfiguren enthielten entweder mehr zentrale oder mehr periphere Fusionsreize. Wiederholte Messungen wurden vor dem Prismen tragen und nach etwa 5 Wochen Tragezeit der Prismenverordnung durchgeführt.

Die objektive und subjektive Fixationsdisparität waren korreliert bei den Probanden mit Basis außen Prismen, aber nicht bei denjenigen mit Basis innen Prismen. Die Prismen verringerten die Fixationsdisparität nicht auf null, aber veränderten die Fixati-

onsdisparität signifikant mit hohen Effektgrößen. Probanden mit Basis außen Prismen zeigten die erwartete Reduktion für beide Arten der Fixationsdisparität. Anders bei Probanden mit Basis innen Prismen, bei denen die subjektiven und objektiven Effekte invers korreliert waren: je größer der subjektive (sensorische) Effekt, desto kleiner der objektive (motorische) Effekt. Dieses Muster der inversen Korrelation hatte einen Zusammenhang zur Vergenz Anpassungsfähigkeit, zur individuellen relativen Vergenzreserve.

BESSER 2D ODER 3D? – REPRODUZIERBARKEIT DER REFRAKTIONSBESTIMMUNG MIT PASKAL 3D

Dipl.-Ing. (FH) Olaf Schmidt-Kiy, Dozent der Fielmann Akademie Schloss Plön

Zusammenfassung

Die Reproduzierbarkeit subjektiver Refraktionsergebnisse ist durch verschiedene Faktoren begrenzt. Im Vortrag werden die Ergebnisse verschiedener Probandenstudien zu diesem Thema vorgestellt. Neben den Ergebnissen aus 2D-Refraktionsbestimmungen wird eine Studie zur Reproduzierbarkeit der subjektiven Refraktionsbestimmung am PasKal3D-System vorgestellt, bei dem während der gesamten Messung beide Augen am Sehprozess teilnehmen.

Die Darstellung der Ergebnisse vorangegangener Studien ist inhomogen. Soweit vergleichbar, decken sich die Ergebnisse unserer Studien mit denen früherer Untersuchungen weitgehend: Bei einer wiederholten subjektiven Refraktionsbestimmung liegen 95% der Abweichungen vom mittleren Refraktionsergebnis bei etwa $\pm 0,2$ bis $\pm 0,6$ dpt für das sphärische Äquivalent und die Zylinderstärke. Die Achslage der sphärozyklindrischen Funktion lässt sich umso sicherer bestimmen, je höher der Zylinder ist. Auch bei größeren Zylindern bleibt jedoch eine Achsunsicherheit von einigen Grad bestehen. Die Streuungen am PasKal3D-System unterscheiden sich bei gesunden Augen ohne nennenswerte Heterophorien nicht signifikant von denen bei einer 2D-Darstellung.

Die Reproduzierbarkeit von Refraktionsergebnissen bei gesunden Augen ist selbst unter optimalen Bedingungen begrenzt. Zur sicheren Bewertung eines Refraktionsergebnisses muss der individuelle Streubereich des Probanden bekannt sein. Hierzu müssen mehrere Messungen durchgeführt werden. Eine umfassende Studien- und Ergebnisbeschreibung ist hier nachlesbar.

DISPLAYTECHNOLOGIEN UND 3D MONITORE IN DER AUGENOPTIK

M.Eng. Oliver Kolbe, Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Für die Darstellung von Sehzeichen oder Testmustern stellen heute Flüssigkristallanzeigen den Stand der Technik in der Optometrie dar. Diese Liquid-Crystal Displays (kurz LCDs) haben Sehzeichen-Projektoren oder von hinten durchleuchtete Sehprobentafeln nach und nach verdrängt.

Funktionsweise eines LCDs

Jedes LC-Display, auch Panel bezeichnet, besteht aus einer Hintergrundbeleuchtung,

le haben die Eigenschaft, die Schwingungsrichtung des polarisierten Lichtes zu steuern. Dabei folgt die Schwingungsrichtung des Lichtes der Ausrichtung der Kristalle in der LC-Schicht. Dieser folgt ein weiterer, in der Regel zum ersten gekreuzter, linearer Polarisator. Wurde die Schwingungsrichtung in der LC-Schicht um 90° gedreht, kann das Licht den Polarisator passieren und das Empfängerauge nimmt Licht wahr, siehe Abb. 1.

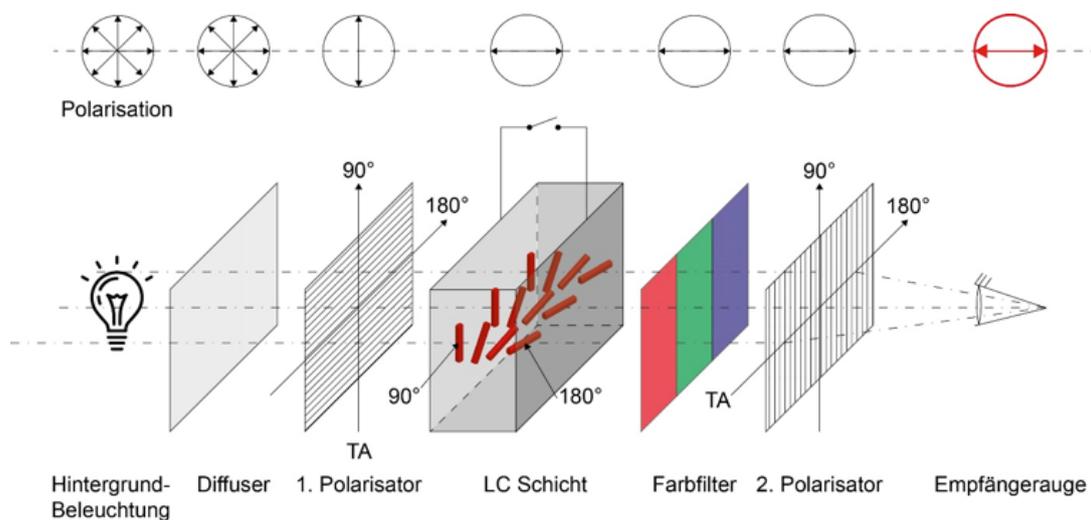


Abb. 1: Schematische Funktionsweise eines Pixels eines LC-Displays mit Lichtübertragung am Beispiel der TN-Zelle (Eigene Abbildung, angelehnt an Gärtner, 2008)

einem Diffuser, zwei Polarisationschichten, einer Flüssigkristallschicht, Farbfiltern, Glasplatten und einer Treiberelektronik. Prinzipiell tritt Licht aus der Hintergrundbeleuchtung aus und trifft auf einen Diffuser, der für eine gleichmäßig ausgeleuchtete Fläche sorgt.

Ein nachgeschalteter Polarisator sorgt dafür, dass ausschließlich Licht einer Polarisationsrichtung durchgelassen wird. Dieses Licht trifft anschließend auf die Flüssigkristallschicht, die dem Display seinen Namen verleiht. Die in ihr befindlichen Flüssigkristal-

le wird nun Spannung an die LC-Schicht angelegt, verändert sich die Anordnung der Flüssigkristalle innerhalb der Schicht. Die Polarisation des Lichtes wird nun nicht mehr gedreht und das Display bleibt dunkel.

LCD gleich LCD?

Tatsächlich gibt es massive Unterschiede zwischen verschiedenen Displays. Die Blickwinkelabhängigkeit eines Displays ist im Wesentlichen von der verwendeten Technologie des Panels abhängig, also dem Aufbau eines Pixels und der Anordnung der

Transistoren der Treiberelektronik. Ferner bestimmt die Art und Anordnung der Hintergrundbeleuchtung unmittelbar die Homogenität der Ausleuchtung und den Farbraum den das Display aufspannen kann. Gerade bei Geräten, bei denen die Beleuchtung durch LED-Bänder realisiert wird, die seitlich vom Display angeordnet sind (Edge-LED), können Leuchtdichteunterschiede häufig mit bloßem Auge erkannt werden (bleeding & clodung).

Auflösung, Pixel pro Zoll & Pixelgröße

Ob ein Display auch für die Refraktion verwendet werden kann, hängt in erster Linie von dessen Auflösung, Kontrast und Ausleuchtung ab. Grenzwerte werden in der DIN EN ISO 10938 und DIN EN ISO 8596 umfangreich beschrieben.

Die physikalische Auflösung eines Displays beschreibt die Anzahl der Pixel in der Horizontalen und Vertikalen. In Verbindung mit der Bildschirmdiagonalen, also der Größe des Displays, ergibt sich die Anzahl der Pixel pro Zoll und somit auch die konkrete Pixelgröße. Bei einem 22" Display, mit der derzeit verbreiteten Auflösung von 1920 x 1080 (Full HD), ergeben sich etwa 100 Pixel pro Zoll und eine Pixelgröße von 0,2537mm. Somit hat die Kombination aus der Auflösung und der Bildschirmdiagonale unweigerlich einen Einfluss auf die Darstellungsqualität eines Sehzeichens. In Abb. 2 ist dreimal ein Landoltring der Visusstufe 1,6 auf verschiedenen Displays dargestellt.

Damit ein Display Sehzeichen hinreichend genau darstellen kann, muss die Pixelgröße laut DIN 10938 so groß sein, dass „die Strichbreite eines Sehzeichens der dezimalen Sehschärfe 1,0 mindestens das 4-fache des schmalsten Linienelements, das auf dem Bildschirm abgebildet werden kann, beträgt.“ Somit kann für konkrete Prüferentfernungen festgelegt werden, ob die Kombination aus Displaygröße, Auflösung und Prüferentfernung für eine Refraktion ver-

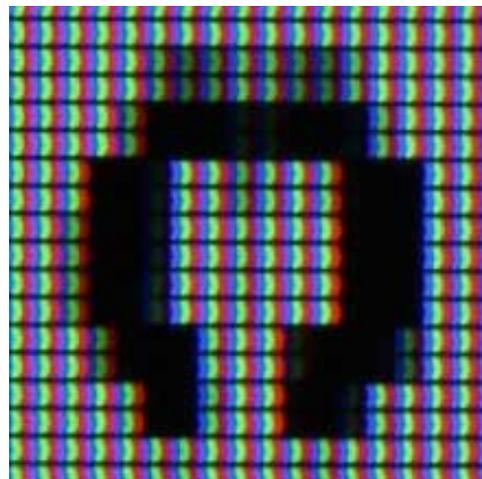
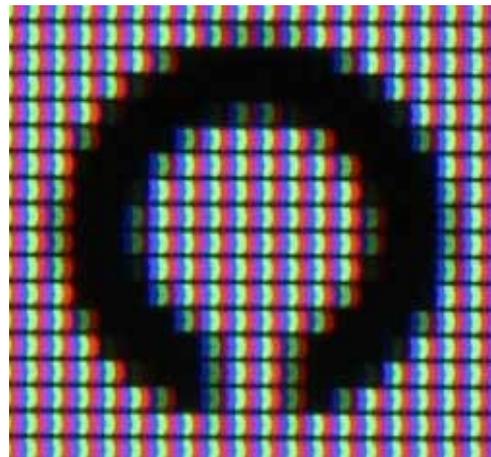
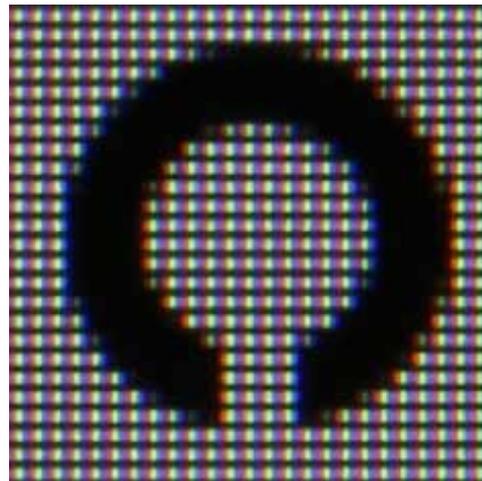


Abb. 2: Darstellung eines Landoltrings der Visusstufe 1,6 auf Displays mit FullHD Auflösung; oben 22", Mitte und unten 32"

wendet werden kann. Soll das Sehzeichen-gerät beispielsweise in einer Prüferentfernung von 5 m betrieben werden, muss die Öffnung eines Landoltrings 1,45 mm betragen. Damit kann ein Full HD Monitor mit einer Bildschirmdiagonale von 32" unter Ausnutzung der Toleranz gerade noch verwendet

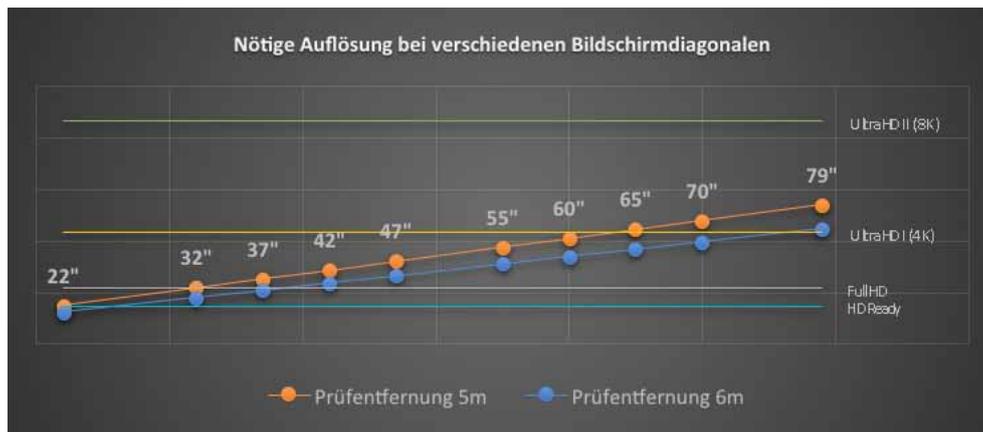


Abb. 3: Notwendige Auflösung eines Displays in Abhängigkeit von der Bildschirmdiagonale für verschiedene Prüfentfernungen

werden. Für größere Bildschirmdiagonalen müssen zwingend Displays mit einer höheren Auflösung (z.B. 3840x2160 - Ultra HD I) betrieben werden, siehe Abb. 3.

Aus 2D mach 3D

Um einen 3D Effekt zu erzeugen, sind zwei getrennte Bilder, eins für jedes Auge, notwendig. Dabei können die Bilder simultan oder sequentiell auf dem Display dargeboten werden.

Refraktionsgeräte setzen ausschließlich auf die simultane Darbietung verschiedener Bilder. Früher wurde hier das Anaglyphen-Verfahren angewandt, bei dem Rot-Cyan- oder Rot-Grün- Brillen zum Einsatz kommen. Der 3D Effekt kann mit jedem herkömmlichen Display ohne jegliche technische Veränderungen erzeugt werden. Hierfür werden simultan zwei verschiedene Bilder,

je eins in den Farben der Filterbrille, dargestellt.

Bei modernen Refraktionsgeräten erfolgt die Trennung der beiden simultan dargebotenen Seheindrücke über verschiedene Polarisationszustände und dazugehörige Analysatoren (Polarisationsfilter). Dabei wird auf die Displayoberfläche eine Polarisationsfolie aufgebracht, die das Display zeilenweise polarisiert. Hierfür wird in der Regel das Licht jeder Zeile abwechselnd linear in 45° und 135° polarisiert. Werden die entsprechenden Analysatoren in die Messbrille eingesetzt, so kann jedes Auge nur jede zweite Zeile des Displays sehen, d.h. die Auflösung des Displays wird in der vertikalen halbiert und der Kontrast sowie die Helligkeit des Displays merklich reduziert. Die Funktionsweise ist in Abb. 4 illustriert.

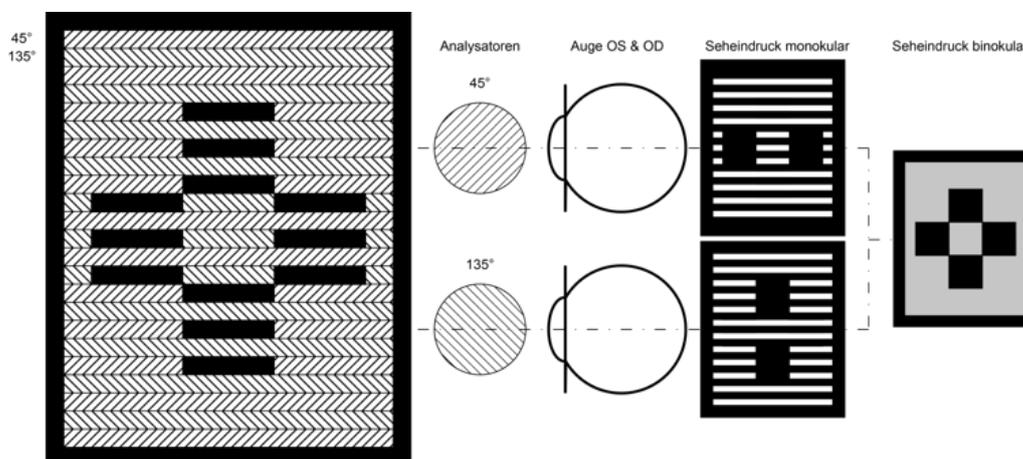


Abb. 4: Aufbau und Funktionsweise eines Trenners mit Streifenfilter (Eigene Abbildung nach Diepes, 2004)

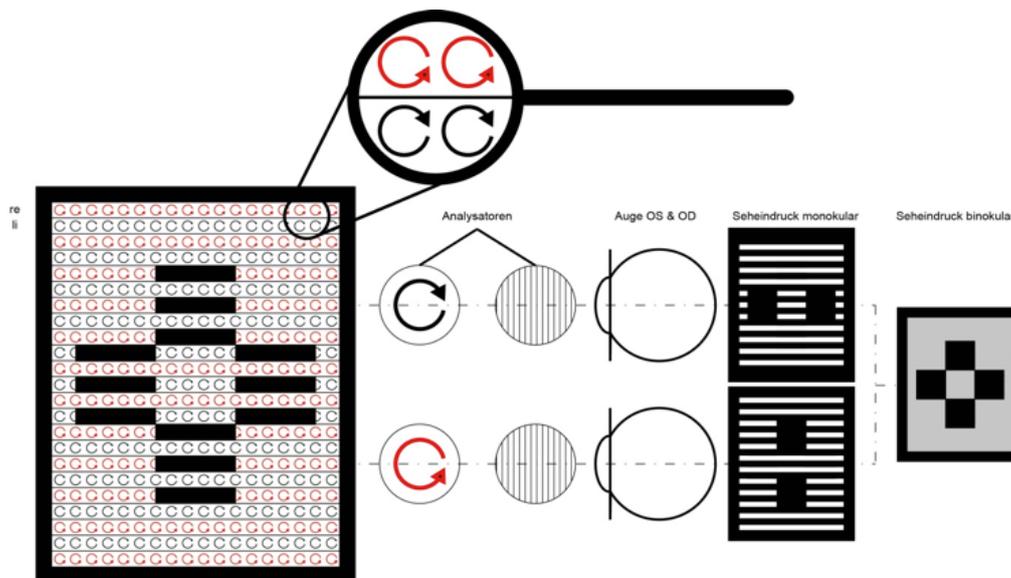


Abb. 5: Aufbau und Funktionsweise eines Trenners mit zirkularer Polarisation (Eigene Abbildung)

Seit geraumer Zeit werden auch Refraktionsgeräte angeboten, bei denen die Trennung mit zirkularen Polarisatoren erfolgt. Ein zirkularer Polarisator besteht immer aus einer Verzögerungsplatte (sog. Lambda/4-Plättchen) und einem nachgeschalteten linearen Polarisator. Das Trennungsprinzip bleibt jedoch nahezu identisch, d. h. das Display wird weiterhin zeilenweise polarisiert, jedoch nicht mehr linear in 45° und 135° sondern zirkular in rechts- und linksrum drehend. Der in der Messbrille eingesetzte zirkulare Polarisator wandelt das zirkular polarisierende Licht wieder in linear polarisierendes Licht um, welches durch das nachgeschaltete Absorptionsgitter des Polarisationsfilters entweder absorbiert oder transmittiert wird, siehe Abb. 5.

In ersten Laborversuchen mit monochromatischem Licht konnte gezeigt werden, dass der Transmissionsgrad bei den zirkularen Polarisationsfiltern in Idealstellung höher ist als bei linearen Polarisationsfiltern und, dass eine deutlich geringere Abhängigkeit des Absorptionsgrades von der Verdrehung des Filters vorliegt. Jedoch lag der Absorptionsgrad bei linearen Filtern über dem der zirkularen Filter.

Literatur:

- DIEPES, H. 2004. Refraktionsbestimmung. 3. Aufl. Heidelberg: DOZ-Verl.
- GÄRTNER, A. 2008. LCD-Monitore-Teil 1. Grundlagen und Technologie. mt-Medizintechnik, 128 (2), S. 54–67.
- DIN EN ISO 10938:2014 (Entwurf) – Anzeigetafeln für die Sehprüfung – Gedruckt, projiziert und elektronisch
- DIN EN ISO 8596

3D IN KINO UND FERNSEHEN – KÖNNEN WIR NOCH SCHRITT HALTEN? EIN VORTRAG IN 3D

Dr. med. Christian Kandzia

Da in 3D-Technik gedrehte Filme immer mehr in Mode kommen, stellen auch die Patienten immer häufiger Fragen zu dieser Technik und ihren Auswirkungen. Warum bekommt manch ein Patient im 3D-Kino Kopfschmerzen, wie erklären sich die asthenopischen Beschwerden oder warum sieht man im Kino mitunter doppelt? Diese Fragen versucht der Vortrag zu beantworten. Dabei darf der Zuschauer die 3D-Effekte mit einer Rot-Grün-Brille „live“ erleben.

Die 3D-Technik hält immer mehr Einzug in die Kinos. Inzwischen werden auch die heimischen Fernseher mit 3D-Technik ausgestattet. Verschiedenste Techniken werden eingesetzt, um den dreidimensionalen Bildeneindruck auf der Leinwand oder dem Monitor zu realisieren. Diese Techniken werden zwar immer weiter perfektioniert, was aber nicht ausschließt, dass der Betrachter Probleme bei der Wahrnehmung des dreidimensionalen Bildes hat. Hier kann entweder eine fehlerhafte 3D-Technik oder aber eine beeinträchtigte Binokularfunktion des Betrachters die Ursache sein. Beide Ursachen bedingen mitunter asthenopische Beschwerden, die der Patient dann dem Augenarzt berichtet.

Wir müssen uns also nicht nur mit den Störungen des Binokularsehens beschäftigen, sondern auch die Technik verstanden haben, die in Kino und Fernsehen angewandt wird. Nur so können wir dem Patienten erklären, warum er während oder nach dem „Genuss“ eines dreidimensional animierten Filmes asthenopische Beschwerden entwickelt hat.

Nahezu alle verfügbaren 3D-Techniken basieren derzeit auf der Dissoziation des

Binokularsehens durch Spezialbrillen. Die einfachste Technik besteht darin, durch verschiedenfarbige Folien vor den Augen (Rot-Grün-Brillen, Rot-Cyan-Brillen usw.) anaglyph codierte Bilder auf der Leinwand zu präsentieren. Diese Techniken existieren seit langem, kommen aber aus der Mode, da es mit diesen Brillen nicht möglich ist, ein farblich korrektes Bild zu sehen.

Ersetzt werden diese Farbfilterbrillen inzwischen durch Polarisationsverfahren, von denen das modernste die zirkulare Polarisation ist. Polarisationsverfahren ermöglichen eine natürliche Farbwahrnehmung, zirkulare Polarisation ist zudem unempfindlich gegen Kopfneigungen des Betrachters. Auch „Shutterbrillen“ kommen zum Einsatz. Bei Ihnen werden die Bilder in hoher Folge abwechselnd dem rechten und linken Auge dargeboten, wobei jeweils ein Brillenglas z. B. durch LCD-Steuerung verschlossen ist und das andere durchsichtig.

Aktuell sind Verfahren in der beginnenden Serienreife, die ohne eine spezielle Betrachtungsbrille auskommen und eine freie Betrachtung durch Linsen- oder Prismensysteme in den Raum projizierter Bilder ermöglichen.

1.: Entkoppelung von Akkommodation und Konvergenz

Allen dissozierenden Verfahren ist gemein, dass der Betrachter seine Akkommodation auf die Leinwandentfernung einstellt, nun aber durch die nebeneinander projizierten z.B. anaglyph codierten Bilder zu motorischer Fusion in konvergenter oder divergenter Richtung gezwungen wird. Dadurch wird dem Gehirn eine Position der betrachteten Objekte vor oder hinter

der Leinwand vorgetäuscht, was dann als räumliche Illusion erlebt wird (Abb.1 und 2). Die Entkoppelung von Akkommodation und motorischer Fusion birgt aber, da unphysiologisch, nicht nur die Gefahr der Asthenopie, sondern bei Betrachtern mit binokularen Labilitäten wie z. B. Phorien auch einen erheblichen sensorischen und motorischen Aufwand, um das Bild wahrzunehmen.

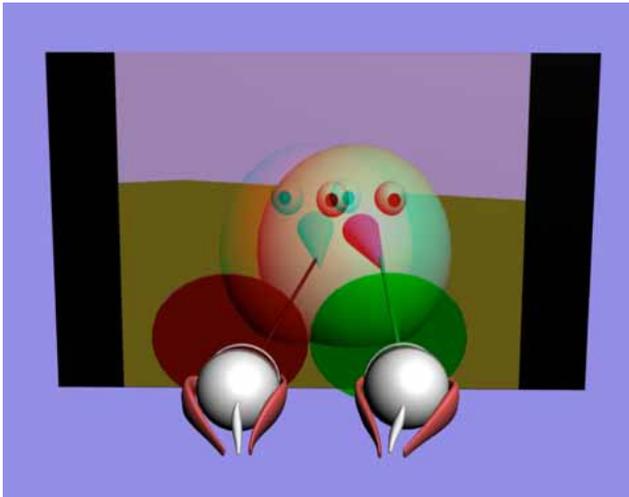


Abb. 1: Die Blickachsen der Augen kreuzen sich durch die Parallelverschiebung der anaglyph codierten Bilder hinter der Leinwand.

2.: Crosstalk-Phänomene

Mitunter gelingt es technisch nicht, die für das rechte und linke Auge vorgesehenen Bilder akkurat zu trennen. Ist dies der Fall, „spricht ein Kanal auf den anderen über“. Der Betrachter sieht jetzt nicht nur zwei durch motorische Fusion vereinbare Bilder, sondern auch ein durch das Übersprechen entstehendes monokulares Doppelbild, das er zwar ebenfalls über die Fusion beseitigen möchte, was ihm aufgrund der monokularen Genese des Bildes aber nicht gelingt (Abb.4).

3.: Sitzplatzproblem

3D-Filme sind so ausgelegt, dass der Betrachter in der Mitte des Kinos den optimalen Effekt erlebt. Je weiter man sich von diesem Platz entfernt, desto weniger sind die Effekte noch ohne Probleme wahrnehmbar. Sitzt der Betrachter zu nah an der Leinwand, kann dies seine motorische Fusion durch zu große Querdisparation überfordern, sitzt er zu weit entfernt, so kann der dreidimensionale Effekt so geringfügig werden, dass er nicht mehr in der gewünschten Weise wahrgenommen wird.

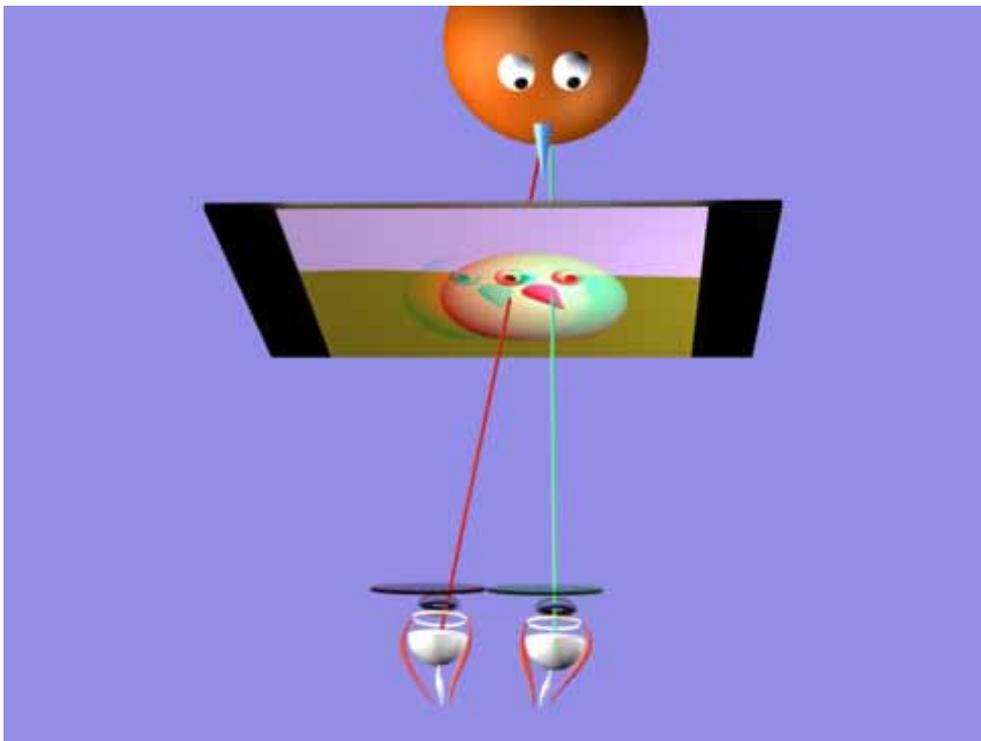


Abb. 2: Das Objekt wird dadurch hinter der Leinwand lokalisiert. Eine dreidimensionale Illusion entsteht.

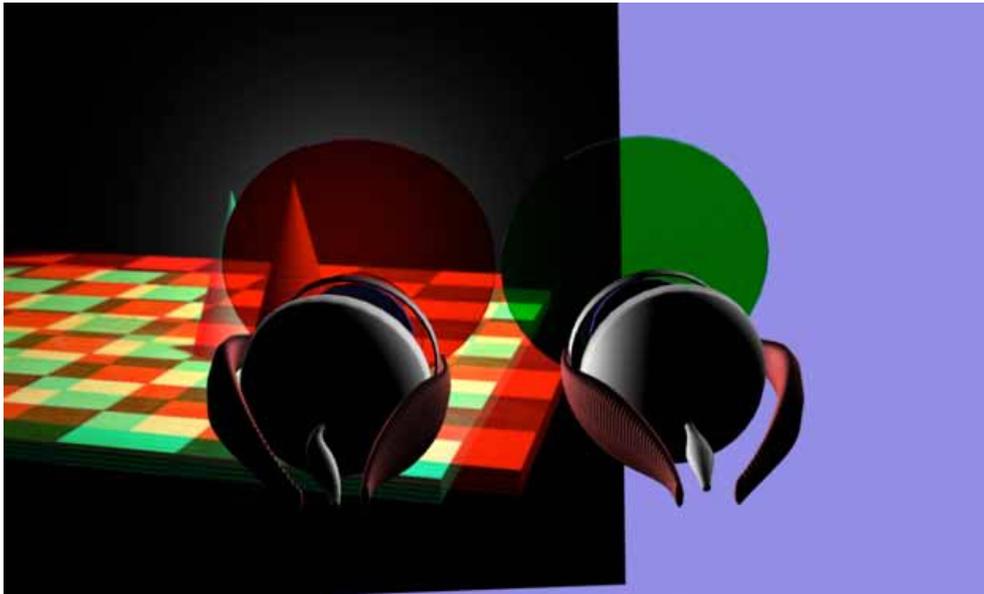


Abb. 3: Crosstalk: Die Kanaltrennung ist ausreichend, das linke Auge sieht nur den roten Kegel

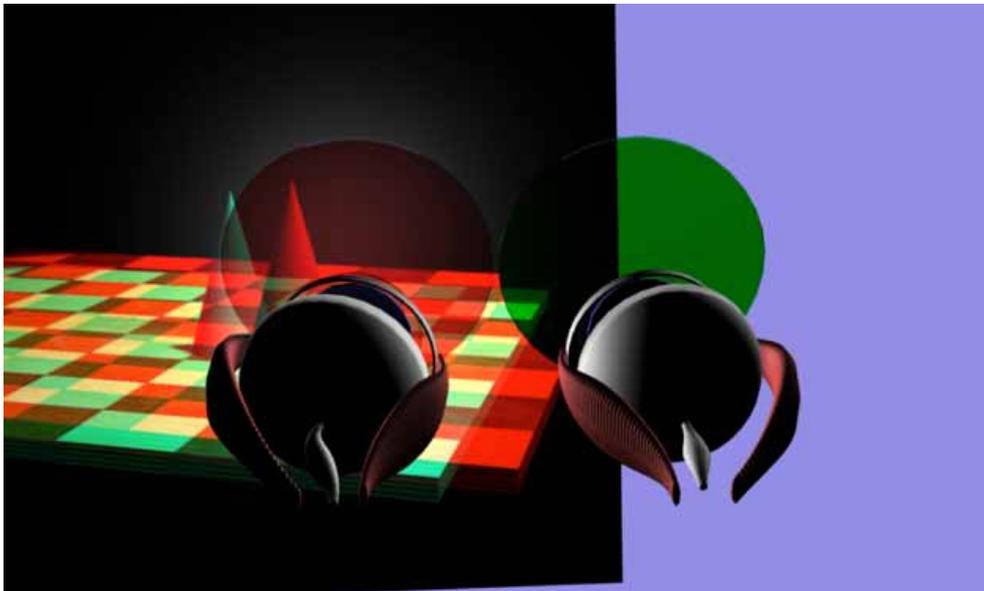


Abb. 4: Crosstalk: Die Kanaltrennung ist ungenügend, das linke Auge sieht beide Kegel. Es entsteht monokulare Diplopie

4.: Gigantismus und Liliputismus

Durch Nachbearbeitung und effektverstärkende Kamerapositionierung können Effekte entstehen, die das Gehirn animieren durch Größenberechnung und putative Anpassung fehlerhafte Objektgrößen zu verarbeiten. Entsteht dadurch ein vermeintlich vergrößertes Objekt, spricht man von Gigantismus, erscheint das betrachtete Objekt verkleinert, wird dies Liliputismus genannt. Die beschriebenen Probleme sind nur ein kleiner Ausschnitt aus einer Fülle von Hürden, die in der 3D-Technik auf Seiten der

Produktion aber auch auf Seiten des Betrachters einem entspannten Filmerlebnis entgegenstehen können. Es ist also wichtig, dass auch der Augenarzt sich mit dieser Technik auseinandersetzt, damit er seinen Patienten im Falle von Problemen beraten kann.