

# Sehlust und Sehfrust – Sehprobleme bei 3D-Kino und 3D-Fernsehen, Teil 1

Wolfgang Wesemann

Der Hobbit, Avatar, Spiderman und Prometheus – jeden Monat werden neue 3D-Filme vorgestellt. Viele Kinogänger sind begeistert und sogar zuhause ist jetzt 3D-Fernsehen möglich. Doch das Sehvergnügen ist nicht ungetrübt. Bis zu 20 % der Zuschauer fühlen sich nach dem 3D-Erlebnis nicht wohl. Nach einer neuen amerikanischen Studie (Yang et al., 2012) können Augenschmerzen, Anstrengungsbeschwerden, unscharfes Sehen, Doppelbilder, Schwindelgefühle und Übelkeit auftreten. Es wurde auch über Schwierigkeiten, sich nach dem Ende des Films im Raum zu orientieren, berichtet. Überraschend war, dass die jüngeren Betrachter in der Altersgruppe von 24–34 Jahren mehr Probleme mit dem 3D-Sehen hatten als die älteren Betrachter.

Der folgende Artikel beschreibt in zwei Teilen, welche Sehprobleme beim 3D-Kino und 3D-Fernsehen beobachtet wurden und welche Ursachen dafür verantwortlich sein können.



Abb. 1: Neytiri aus dem 3D-Film Avatar, kann man nicht nur im Kino sondern mit einer Blue-ray Disc auch zu Hause auf einem 3D-Fernseher bestaunen. Mit freundlicher Genehmigung von 20th century fox.

## 1. Vorbemerkungen

### 1.1 Querdisparates und nicht querdisparates Raumsehen

Seit das Thema „3D“ wieder in Mode ist, wird so getan, als ob „normale“ Filme nur zweidimensional erscheinen. Das ist aber nicht der Fall.

Auch ohne 3D-Technik erkennt der Zuschauer räumliche Tiefe. Das visuelle System analysiert dazu monokular sichtbare Phänomene wie zum Beispiel die geometrische Perspektive, die Bewegungsparallaxe, die teilweise Überdeckung von Objekten, die Konturenschärfe und die Verteilung von Licht und Schatten. Auch durch einen Vergleich zwischen dem Sehwinkel, unter dem ein Objekt dem Betrachter erscheint, und der aus der Erinnerung bekannten tatsächlichen Größe erkennt man intuitiv die Entfernung des Objekts. Dieses *nicht querdisparate Raumsehen* [DIN 5340 – Nr. 329] kennt jeder. Ein 3D-Fernseher ist dazu nicht nötig. Besonders eindrucksvolle monokulare 3D-Effekte lassen sich mit Kamerafahrten, die die Szene umkreisen, erzielen. Die Seitwärtsbewegung versorgt das visuelle Gehirn mit allen nötigen Tiefeninformationen und führt – auch bei monokularer Betrachtung – zu einem lebendigen räumlichen Seheindruck.

Die Sehfunktion, die bei 3D-Filmen zusätzlich angesprochen wird, ist die Fähigkeit zum *querdisparaten Raumsehen*. Diese Fähigkeit wird auch mit den alternativen Benennungen *Stereopsis* und *Stereosehen* bezeichnet [DIN 5340 – Nr. 394]. Bei dieser Art des räumlichen Sehens „vergleicht“ das visuelle System die Richtungswerte, unter denen räumlich gestaffelte Objekte dem rechten und linken Auge erscheinen. Dadurch erscheint die Außenwelt „plastisch“.

### 1.2 Nicht jeder kann räumlich Sehen

Um 3D-Filme erleben zu können, muss das visuelle Gehirn das querdisparate Raumsehen beherrschen. Dies kann es nur, wenn die Sehentwicklung in der Kindheit ungestört verlaufen ist. In Deutschland können mindestens 4,4 % der Bevölkerung, das sind 3,6 Millionen Menschen nicht räumlich sehen. Der Grund sind Augenstellungsfehler wie zum Beispiel ein frühkindliches Schiellsyndrom oder Mikrostrabismus.[1] Auch eine Amblyopie



Abb. 2: Zuschauer erfreuen sich 1950 an einem 3D-Film mit Rot-Grün-Brille.

mit starker Anisometropie kann das Binokularsehen massiv beeinträchtigen. Wenn die Binokularneurone im visuellen Cortex das querdysparat Tiefensehen in der plastischen Phase der Sehentwicklung nicht erlernt haben, hilft kein Sehtraining im Erwachsenenalter. Wie viele Menschen nicht optimal räumlich sehen können, ist nicht bekannt. Nach Angaben des „eyecare trust“ sollen es etwa zwölf Prozent der Bevölkerung sein. [2]

## 2. Visuelle Probleme durch die Technik der Bildtrennung

Damit man im Kino oder am heimischen Fernsehgerät räumlich sehen kann, muss man dem rechten und linken Auge ein Stereobildpaar darbieten, das mit zwei Kameras aus unterschiedlichen Blickrichtungen aufgenommen wurde und deshalb querdysparat verschobene Bildbestandteile aufweist. Bei der Bildwiedergabe muss das Stereobildpaar dann möglichst perfekt auf die beiden Augen aufgeteilt werden. Dies geschieht meist mit einer Trennerbrille.

### 2.1 Rot-Grün-Brille

In den fünfziger Jahren produzierte Hollywood 3D-Filme, bei denen Rot-Grün-Brillen zur Bildtrennung verwendet wurden (Abb. 2). Das Verfahren ist nur für Schwarz-Weiß-Filme geeignet, denn die Brille lässt auf einem Auge nur rotes und auf dem anderen nur grünes Licht durch. Bei diesem „Anaglyphenverfahren“<sup>1</sup> kann es zu Sehproblemen durch binokulare Rivalität kommen. Manche Menschen – besonders Personen mit einem stark dominanten Auge – schalten beim Blick durch eine Rot-Grün-Brille ein Auge unbewusst ab und können dann natürlich nicht mehr räumlich sehen<sup>2</sup>. Die Rot-Grün-Technik wird heute bei 3D-Filmen und 3D-Fernsehen nicht mehr verwendet.

### 2.2 Polarisationsfilterbrillen

Im Vergleich zur Bildtrennung mit Rot-Grün-Gläsern führt eine Brille mit polarisierenden Gläsern zu wesentlich besseren Resultaten. Oft verwendet man linear polarisierte Filtergläser mit den Polarisationsrichtungen 45° und 135°. Alternativ sind Polfilterbrillen mit zirkular polarisierenden Folien im Gebrauch.

Die Polarisationsbrillen brauchen keine Stromversorgung und sind relativ preiswert. Nachteilig ist, dass die Polfiltertechnik im Kino nur dann funktioniert, wenn die Leinwand mit Metall beschichtet („versilbert“) ist<sup>3</sup>. Bei einer normalen Stoffleinwand geht die Polarisation bei der Reflexion verloren. Metallisierte Projektionsflächen haben aber den Nachteil, dass sie gerichtet reflektieren. Dadurch ist das Kinobild nicht auf allen Sitzen im Kinosaal gleich hell, und man sieht am besten von den mittleren Sitzplätzen.

Neuerdings gibt es auch 3D-Fernsehgeräte, bei denen die Bildtrennung über Polarisation erfolgt. Bei diesen Geräten sind die Zeilen des Fernsehgerätes abwechselnd rechts- und linkszirkular polarisiert. Die ungeradzahigen Zeilen werden beim Blick durch die zirkular polarisierte Trennerbrille dem rechten Auge dargeboten; das linke Auge sieht die geradzahigen Zeilen. Diese Art der Bildtrennung ähnelt den augenoptischen Sehzeichendarbietungssystemen Block Polaphor oder Zeiss Polatest E. Durch die zeilenweise Aufteilung des Bildes auf beide Augen reduziert sich die Auflösung bei einem HDTV-Gerät von 1920 × 1040 Pixel auf 1920 × 520 Pixel.

### 2.3 Shutterbrillen

Ein Kino, das elektronisch gesteuerte Shutterbrillen einsetzt, braucht keine metallisierte Leinwand. Mit der Shutterbrillentechnik werden die Bilder für das rechte und linke Auge zeitlich nacheinander dargeboten. Synchron zum Kinoprojektor gibt die Brille immer nur für ein Auge die Sicht frei. Dem anderen Auge wird in diesem Moment die Sicht versperrt. Auch 3D-Fernsehgeräte eignen sich hervorragend für diese Art der Bildtrennung.

Die Shutter-Technologie hat mehrere Vorteile und deshalb weite Verbreitung gefunden. Es gibt keine Farbverfälschung und selbst bei einer Kopfneigung, Kopfdrehung oder einer falschen Sitzposition ist die Bildtrennung sehr gut.

Mit den heute gängigen 3D-Projektoren werden im Kino jeweils 72 Bilder pro Sekunde für das rechte und linke Auge angezeigt (144 Hz Technik). Dadurch wird die Mindestanforderung von 73 Bildern pro Sekunde, die seit vielen Jahren für kleine CRT-Monitore erhoben wird<sup>4</sup>, fast eingehalten.

3D-Fernsehgeräte mit Shutterbrillen verwenden eine niedrigere Bildwechselfrequenz. Hier wird das Bild für das rechte Auge und das Bild für das linke Auge jeweils nur 60 Mal pro Sekunde angezeigt (120 Hz Technik, NVidia, 2012). [4] ▶

1 Anaglyphenverfahren von griech. anaglyph = reliefartig, ziseliert, erhaben

2 Der in der Augenoptik verbreitete TNO-Stereotest, der ebenfalls mit einer Rot-Grün-Brille arbeitet, enthält deshalb nicht nur den eigentlichen Stereotest, sondern auch einen Suppressionstest, mit dem man prüfen kann, ob Simultansehen bei dem Probanden vorliegt.

3 Genau wie die Sehzeichensprojektionsflächen im augenoptischen Refraktionsraum

4 Das Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin fordert schon seit vielen Jahren für kleine CRT-Bildschirme von 15 bis 17 Zoll Bildwiederholfrequenzen von mindestens 73 bis 85 Hz und für über 19 Zoll große CRT-Bildschirme eine Bildwiederholrate von 90 bis über 100 Hz. Auch die schwedische Norm TCO 99 fordert eine Bildwiederholfrequenz von mindestens 85 Hz und empfiehlt mehr als 100 Hz zum stressfreien Sehen. Da bei 3D-Fernsehgeräten mit Shutterbrillen die Bilder für das rechte und linke Auge abwechselnd dargeboten werden, sieht jedes Auge nur die Hälfte der angezeigten Bilder. Deshalb ist insgesamt eine doppelt so hohe Bildwechselfrequenz von 146 bzw. 170 bei kleinen 3D-Fernsehgeräten und 180 bis über 200 Hz bei größeren Geräten über 19 Zoll erforderlich. Das ist aber heute noch nicht Stand der 3D-Technik.



Abb. 3: Shutterbrille von JVC.

Diese niedrige Wechselfrequenz kann Sehprobleme hervorrufen. Das Bild wechselt für jedes Auge ständig zwischen „ein“ und „aus“ (schwarz). Es flimmert also mit einem hohen Kontrast. Manche Menschen bekommen durch niedrige Flimmerfrequenzen Sehprobleme. Zum einen sind dies Personen, die das Bildflimmern subjektiv wahrnehmen können – besonders wenn das Bild sehr hell ist. Zum anderen gibt es Menschen, die das Flimmern nur unterbewusst „spüren“. Sie fühlen sich unwohl ohne zu wissen warum<sup>5</sup>. Bei lichtempfindlichen, sensiblen Menschen kann ein sichtbares aber auch ein subjektiv nicht wahrnehmbares Bildflimmern Migräneattacken und temporäre Gesichtsfeldausfälle auslösen.

Wenn man die berechtigten Forderungen des Bundesamtes für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin akzeptiert, sollte man bei 3D-Fernsehgeräten mit Shutterbrillen statt der heute üblichen 120 Hz-Technik in Zukunft besser Bildwechselfrequenzen von mindestens 200 Hz verwenden.

## 2.4 Wechselwirkungen zwischen 3D-TV und Leuchtstofflampen

Ein schwerwiegendes Sehproblem, das mit Shutterbrillen auftreten kann, entsteht durch eine Wechselwirkung zwischen dem Flimmern des Fernsehbildes und konventionellen Leuchtstofflampen. Dieses Problem gibt es nur zuhause, da im dunklen Kinosaal keine Leuchtstofflampen angebracht sind. Konventionelle Leuchtstofflampen flimmern mit Frequenzen von 50 und 100 Hz<sup>6</sup>. Dieses normalerweise kaum sichtbare Lichtflimmern wird durch eine Shutterbrille massiv verstärkt. Durch die Mischung der Shutterbrillenfrequenz (60 bzw. 120 Hz) und der Leuchtstofflampenfrequenz entsteht eine Schwebung (Wikipedia, 2012 [5])<sup>7</sup>, die dazu führt, dass man die Umgebung des Fernsehers (zum Beispiel die Tapete hinter dem Gerät) in einer physiologisch sehr ungünstigen niedrigen Frequenz flackern sieht. Kopfschmerzen sind die Folge. Bei flimmerempfindlichen Personen können unangenehme Orientierungs- und Wahrnehmungsstörungen auftreten, die noch mehrere Stunden nach dem Absetzen der Shutterbrille vorhanden sein können. Bei bestimmten Schwebungsfrequenzen können durch dieses Flimmerlicht sogar epileptische Anfälle ausgelöst werden. Ein sehr

interessantes hörbares Beispiel für Schwebungen im Bereich der Akustik findet man bei dem im Literaturverzeichnis angegebenen Link [3]).

## 2.5 Crosstalk und Ghosting

Ein Problem, das bei allen Trennerbrillen auftritt, bezeichnet man technisch als „Übersprechen“ (engl.: crosstalk). [6] Dieser Begriff stammt eigentlich aus der Telefonie. Damit ist gemeint, dass man beim Telefonieren manchmal auch ein fremdes Telefonat mithört. In Bezug auf das Stereosehen bedeutet Übersprechen, dass das Teilbild für das eine Auge infolge der nicht perfekten Trenntechnik auch ein wenig vom anderen Auge gesehen wird. So entstehen unerwünschte Doppelkonturen und „Geisterbilder“ (engl.: „ghosting“), die die Bildschärfe stören und den Stereoeffekt vermindern. Ein moderner LCD-Fernseher hat heute Crosstalk von etwa drei bis vier Prozent. Bei älteren Modellen waren es noch acht Prozent und mehr.

Bei Brillen mit linearer Polarisation tritt das Problem des „Übersprechens“ besonders stark auf, wenn der Betrachter seinen Kopf nicht genau senkrecht hält. Bei seitlich geneigtem Kopf stimmt die Orientierung des Polfilters nicht mehr mit der Polarisation des Filmprojektors überein. Das Kinobild für das rechte Auge wird dann auch vom Filter für das linke Auge durchgelassen. Bei zirkular polarisierten Folien ist eine Kopfneigung unerheblich, denn diese Filter müssen nicht genau ausgerichtet werden.

Bei Shutterbrillen kommt es zu Geisterbildern, wenn die Synchronisation zwischen dem TV-Gerät und der Brille nicht perfekt klappt oder das rechte Glas noch nicht vollständig abgedunkelt ist, wenn das linke Bild schon wieder auf der Leinwand erscheint.

## 2.6 Mögliche Probleme durch Bildflimmern bei HFR 3D-Filmen

In den meisten Kinos werden 3D-Filme mit einem digitalen Filmprojektor auf die Leinwand geworfen, der die Bilder für das rechte und linke Auge nacheinander, also sequentiell anzeigt. Dies gilt sowohl für die Shutterbrillen- als auch für die Polfiltertechnologie. Es gibt zwar auch Systeme mit echter Doppelprojektion, die ein wesentlich ruhigeres und sinnesphysiologisch angenehmeres Bild erzeugen. Diese Systeme sind aber teurer und nicht weit verbreitet.

Bei einem normalen 3D-Kinofilm werden bei der Herstellung 24 Bilder pro Sekunde für jedes Auge aufgenommen. Um die Flimmerprobleme zu vermindern, wird dann bei der Wiedergabe jedes einzelne Bild dreimal hintereinander angezeigt. So ergibt sich die schon in Kapitel 2.3 genannte Bildfrequenz von 24 Bilder pro Auge pro Sekunde  $\times$  3 Wiederholungen pro Auge  $\times$  2 Augen = 144 Bilder/sek.

Der Film „Der Hobbit“ ist der erste Block-Buster Kinofilm, der in einer vollkommen neuen Technik gefilmt wurde, die man als „HFR 3D“ (HFR = high frequency rate) bezeichnet. Mit der neuen Technik werden doppelt so viele Bilder wie bisher also

<sup>5</sup> Brian Brown hat in den neunziger Jahren im Max Planck Institut in Göttingen eine Erklärung für dieses Unwohlsein gefunden. Er konnte bei Primaten nachweisen, dass unsichtbares Lichtflackern bis über 90 Hz vom Auge ins Gehirn geleitet wird und dort krampfartige, rhythmische Entladungen hervorruft.

<sup>6</sup> 50 Hz an den Rändern (Kathodenflimmern) und 100 Hz in der Mitte.

<sup>7</sup> Die Frequenz der Schwebung (des Lichtflackerns) ist gleich der halben Differenzfrequenz (siehe Wikipedia 2012 [5])

48 Bilder pro Sekunde für jedes Auge aufgenommen. Durch die höhere Bildfrequenz sollen Kameraschwanks und Bewegungen weicher, flüssiger und realitätsnäher als bisher erfolgen. Auch die Bildauflösung wurde mit neuen Spezialekameras von derzeit  $2048 \times 1080$  auf  $5120 \times 2700$  Pixel gesteigert, die dann anschließend in der Postproduktion auf  $4096 \times 2160$  Pixel heruntergerechnet wurden<sup>8</sup>.

Doch die neue HFR Technik bringt nicht nur Freude, sondern auch Sehprobleme. In Deutschland sind derzeit nämlich nur sehr wenige Kinos in der Lage sowohl die höhere Anzahl der Bilder/sek als auch die höhere Auflösung in ansprechender Qualität zu zeigen. Technisch besonders schwierig ist die Wiedergabe der höheren HFR –Aufnahmefrequenz von 48 Bildern/sek. Wenn man Flimmerprobleme vermeiden will, muss man jedes der 48 Bilder/sek für jedes Auge mindestens zweimal hintereinander anzeigen. Dadurch ergibt sich eine Bildwiederholfrequenz von 2 mal 2 mal 48 gleich 192 Hz. Dies ist mit vielen Projektoren und Shutterbrillen nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht möglich. Aus der Not heraus projizieren einige Kinos das Kinobild nur mit 2 mal 48 gleich 96 Bildern/sek. Diese Frequenz ist für flimmersensible Menschen aber eindeutig zu gering. Menschen mit Kopfschmerzneigung sollten sich den Hobbit dann lieber in der „normalen“ 3D Version mit 144 Bildern/sek ansehen.

### 3. Visuelle Wahrnehmung von 3D-Bildern

Das räumliche Sehen bezeichnet man zu Recht als die höchste Form der visuellen Wahrnehmung. Um aus zwei Bildern, in denen querdissparat versetzte Bildbestandteile enthalten sind, die räumliche Tiefe heraus zu filtern, muss das Gehirn hochkomplexe mathematische Analysen vornehmen. Heute weiß man, dass im visuellen Areal V2 kooperative neuronale Netzwerke vorhanden sind, die die exakte Position der einzelnen Bildpunkte im rechten und linken Auge miteinander vergleichen und die Querdissparation erkennen können. [7]

#### 3.1 Probleme durch Bewegungen

##### 3.1.1 Unnatürliche Bewegungsparallaxe

Wenn man den Kopf und den Oberkörper vor dem 3D-Fernseher seitlich nach rechts und links bewegt, merkt man, dass sich die 3D-Bilder auf dem Bildschirm unnatürlich verhalten. In der normalen Umwelt führen seitliche Bewegungen des Betrachters nämlich zu einer Bewegungsparallaxe, die zur Folge hat, dass entfernt liegende Objekte durch nähere Gegenstände verdeckt werden. Beim 3D-Fernsehen fehlt dieser Effekt. Diese unnatürliche Parallaxe fällt normalerweise aber nicht auf, da man beim Fernsehen oder im Kino still sitzt.

##### 3.1.2 Vektionen und Scheinbewegungen

Problematischer für das Wohlbefinden sind synchrone Bewegungen der gesamten Szenerie. Solche Bewegungen werden als Vektionen bezeichnet. Sie können eindrucksvolle subjektive

Empfindungen von Scheinbewegungen auslösen. Ein typisches Beispiel, das viele Leser sicherlich kennen, ist das Folgende: Man sitzt in einem still stehenden Zug, wartet auf die Abfahrt und sieht nach draußen. Plötzlich setzt sich der Zug auf dem Nachbargleis langsam in Bewegung. Durch die unerwartete Bewegung entsteht beim Beobachter der Eindruck, sein eigener Zug würde sich bewegen, und zwar in die entgegengesetzte Richtung wie der Zug auf dem Nachbargleis.

Dieses Phänomen wird in 3D-Simulatoren, zum Beispiel in einem Flugsimulator, absichtlich ausgenutzt. Dort soll der Betrachter das Gefühl haben, sich mitten in der simulierten Welt zu befinden. Auch in IMAX-Kinos, deren Leinwände so groß sind, dass sie fast das gesamte Blickfeld ausfüllen, werden Scheinbewegungen absichtlich hervorgerufen, um die Zuschauer zu beeindrucken.

Die subjektiv sichtbaren Bewegungen im Film kollidieren mit den Informationen, die der Gleichgewichtssinn liefert. Dieser unlösbare Konflikt zwischen den beiden Sinnesorganen kann zu der sogenannten Reisekrankheit oder Seekrankheit<sup>9</sup> führen. Auch 60 % aller Space-Shuttle Astronauten hatten aus diesem Grund beim Flug durch den Weltraum mit Kopfschmerzen, Schwindel und Übelkeit zu kämpfen.

Bei 3D-Filmen sind die Scheinbewegungen nicht so extrem ausgeprägt wie in einem IMAX-Kino. Dennoch ist unter Wissenschaftlern unbestritten, dass räumliche Bewegungen nach vorn und hinten bei sensiblen Personen Schwindel oder Übelkeit verursachen können.

#### 3.2. Der Akkommodations-Konvergenz-Konflikt

Abbildung 4 veranschaulicht, warum es beim 3D-Fernsehen und beim 3D-Kinofilm zu einem Akkommodations-Konvergenz-Konflikt kommt.

Auf der linken Seite der Abbildung 4 sind die Augenstellungen im natürlichen Sehen dargestellt. In Abb. 4a blickt das Augenpaar auf ein Objekt in ca. 3 m Entfernung. Die Fixierlinien kreuzen sich im angeblickten Objektpunkt. Beide Augen sind auf 3 m scharfgestellt. In Abb. 4c schauen die Augen auf ein näheres Objekt in ca. 2 m Abstand. Die Augen müssen jetzt stärker konvergieren bis die Vergenzstellung zu der kürzeren Sehentfernung passt und die Bilder wieder bifoveolar gesehen werden. Auch die Akkommodation passt sich automatisch an die kürzere Entfernung an.

Auf der rechten Seite der Abbildung 4 ist die Situation bei 3D-Fernsehen dargestellt. In Abb. 4b blickt der Betrachter auf ein Objekt, das sich in der Ebene des Fernsehgerätes in 3 m befindet. Die geometrischen Verhältnisse in Abb. 4b sind genauso wie im natürlichen Sehen in Abb. 4a. Genau wie im natürlichen Sehen sind die Konvergenz und die Akkommodation auf die Ebene des Fernsehgerätes eingestellt.

In Abb. 4d blickt er auf ein räumliches Objekt, das in 2 m Abstand vor dem Fernsehgerät in der Luft zu schweben scheint. Jetzt kommt es zum Konflikt. Genau wie beim natürlichen Sehen ►

<sup>8</sup> 2048 Pixel Bildbreite = 2K-Technologie, 4096 Pixel = 4K-Technologie, 5120 Pixel = 5K-Technologie

<sup>9</sup> Bei der echten Seekrankheit entsteht das Problem aus entgegengesetztem Grund. Wenn man unter Deck im schaukelnden Schiff sitzt, sieht man mit den Augen keine Bewegung. Der Raum steht still, aber der Gleichgewichtssinn meldet die Schaukelbewegungen. Dieser Konflikt verursacht Übelkeit.

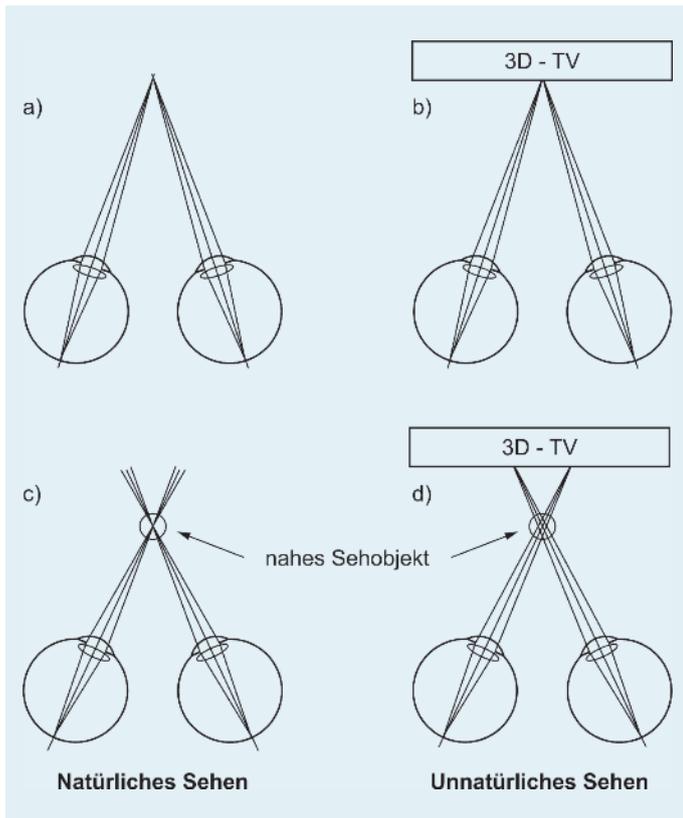


Abb. 4: Beim 3D-Fernsehen kommt es zu einem Akkommodations-Konvergenz Konflikt. Linke Seite (a und c): Beim natürlichen Sehen stellen sich sowohl Akkommodation als auch Konvergenz auf die gleiche Entfernung ein. Rechte Seite (b und d): Blick auf einen 3D-Fernseher: Wenn man ein vor dem Bildschirm schwebendes 3D-Objekt betrachtet (4d), muss man auf das nahe Objekt konvergieren. Die Akkommodation muss sich hingegen weiterhin auf die Bildschirmenebene scharfstellen.

(Abb. 4c) müssen beide Augen ihre Konvergenzstellung verändern, um das vor dem Fernseher schwebende Objekt bifoveolar zu fixieren. Die Akkommodation darf sich jetzt aber nicht auf den kürzeren Abstand von 2 m einstellen, sondern muss in der Bildschirmenebene – dem Ort der Abbildung – bleiben.

Dieser Akkommodations-Konvergenz-Konflikt ist unnatürlich und führt zu Stress. Warum? Im visuellen System des Menschen sind die Akkommodation und die Konvergenz neuronal gekoppelt. Das heißt, eine Verstärkung der Akkommodation infolge einer Objektannäherung bewirkt auch gleichzeitig eine Zunahme der Konvergenz. Genauso führt eine Konvergenzbewegung von der Ferne in die Nähe auch automatisch zu einer Verstärkung der Akkommodation. Diese neuronale Kopplung hat Vorteile, denn die Akkommodation und die Konvergenzbewegung erfolgen deutlich schneller, wenn der Akkommodations- und der Konvergenzbedarf in die gleiche Richtung gehen. [8]

Beim 3D-Fernsehen muss das visuelle System seine natürliche Kopplung zwischen Akkommodation und Konvergenz abschalten, denn das Fernsehgerät, auf dem die räumlichen Objekte dargestellt werden, befindet sich stets in der gleichen Entfernung. Bei der Betrachtung eines räumlichen Objektes, das scheinbar vor oder hinter der Bildschirmenebene lokalisiert ist, darf sich nur die Konvergenz verändern. Die Akkommodation muss stabil auf den Bildschirmabstand eingestellt bleiben. Wenn der Betrachter sich nicht auf diese künstlichen Sehbedin-

gungen einstellen kann, sieht er entweder unscharf oder doppelt. Das Gehirn muss diesen Konflikt lösen. Das kann zu Augenschmerzen, Kopfschmerzen und Müdigkeit führen.

Die Auswirkungen des Akkommodations-Konvergenz-Konflikts auf das Wohlbefinden wurden von Shibata et al. (2011) erforscht. [9] Dabei ergab sich, dass bei einem weit entfernten Bildschirm das Wohlbefinden stärker beeinträchtigt wurde, wenn sich die räumlichen Objekte hinter dem Bildschirm befanden. Bei einem nahe gelegenen Bildschirm war es genau umgekehrt. Hier beeinträchtigten räumliche Objekte, die noch näher waren, das Wohlbefinden negativ.

Aus der Sicht des Optometristen sind diese Probleme eng mit den asthenopischen Beschwerden verwandt, die bei einer Heterophorie entstehen können. Ein Mensch mit einer unkorrigierten Esophorie wird besser mit einem 3D-Objekt fertig, das vor dem Bildschirm schwebt. Für eine Person mit einer unkorrigierten Exophorie ist es angenehmer, wenn sich das 3D-Objekt hinter dem Bildschirm befindet.

Um den Konflikt zwischen Akkommodation und Konvergenz zu minimieren, versuchen 3D-Filmemacher die bildwichtigen Details einer Filmszene möglichst genau in die Bildschirmenebene zu verlegen. [10] ■ *(Wird im nächsten Heft fortgesetzt.)*



*Kontaktdaten:*

**PD Dr. Wolfgang Wesemann**

Höhere Fachschule für Augenoptik

Bayenthalgürtel 6

50968 Köln

E-Mail: [wesemann@hfak.de](mailto:wesemann@hfak.de)

## Literatur

- [1] Lorenz B. Genetik des Strabismus und des Nystagmus. In: Strabismus. Kaufmann H und Steffen H; Thieme2012: 169
- [2] Eyecare trust (2012) 3D Vision. [http://www.eyecaretrust.org.uk/view.php?item\\_id=566](http://www.eyecaretrust.org.uk/view.php?item_id=566)
- [3] Schulphysik.de (2012) Schwebungen – oder im Reich der Klavierstimmer. <http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/schwebung1.html>
- [4] NVidia (2012) 3D Vision Technologie. <http://www.nvidia.de/object/3d-vision-technology-de.html>
- [5] Wikipedia (2012) Schwebung.
- [6] Wikipedia (2012) Übersprechen.
- [7] Korn A. Bildverarbeitung durch das visuelle System. Springer Verlag, Berlin1982.
- [8] Krishnan VV, Shirachi D, Stark L. Dynamic measures of vergence accommodation. Am. J. of Optometry and Physiological Optics, 1977 (54) 470–473.
- [9] Shibata T, Kin J, Hoffman DM, Banks MS. The zone of comfort: predicting visual discomfort with stereo displays. J. of Vision 2011(8) 1-29.
- [10] Janssen JK, Kuhlmann U. Krank durch 3D. Welche Risiken birgt Stereoskopie. ct-Magazin, (11) 2010.

*Die unter der Rubrik „Fachthemen“ veröffentlichten Beiträge sind von dem Wissenschaftlichen Beirat der DOZ begutachtet worden. Nähere Auskünfte erteilen Dr. Andreas Berke ([berke@doz-verlag.de](mailto:berke@doz-verlag.de)) oder die Chefredaktion unter [hoeckmann@doz-verlag.de](mailto:hoeckmann@doz-verlag.de)*

# Sehlust und Sehfrust – Sehprobleme bei 3D-Kino und 3D-Fernsehen, Teil 2

Wolfgang Wesemann

## 3. Visuelle Wahrnehmung von 3D-Bildern

Zwei Sehprobleme können bei 3D-Filmen durch eine „unnatürlich“ hohe Bildschärfe entstehen.

### 3.3 Richtung der Akkommodation

Beim normalen räumlichen Sehen bilden die Augen nur die Ebene, die fixiert wird, scharf auf der Netzhaut ab. Vor oder hinter dem Fixierpunkt liegende Objekte sind umso unschärfer, je größer deren Abstand vom Fixierpunkt und je größer die Pupille ist (Abb. 5 oben). Im natürlichen Sehen nutzt das visuelle System die Bildunschärfe aus, um zu erkennen, in welche Richtung es bei einer Änderung der Fixation akkomodieren muss. Bei einem 3D-Fernsehgerät kann das Auge diese Fertigkeit nicht anwenden. Im Gegenteil, wenn sich das Auge auf eine nähere – vermeintlich richtige – Entfernung einstellen würde, wird das Bild unschärfer, weil die Bildschärfe immer an die Ebene des Fernsehgerätes gekoppelt ist.

### 3.4 Doppelbilder durch zu große Querdisparationen

Das visuelle System kann zwei stereoskopische Teilbilder nur dann zu einem räumlichen Seheindruck verschmelzen, wenn die Querdisparation nicht größer ist als der Panumbereich<sup>1</sup>. Übersteigt der querdisparate Versatz zwischen den beiden Teilbildern diese Obergrenze, sieht man doppelt.

Bei Spielfilmen und Zeichentrickfilmen unterscheidet sich die Bildschärfe vom normalen Sehen. Oft wird versucht, das gesamte Bild von vorn bis hinten deutlich abzubilden. Dies geschieht, weil der Regisseur nicht weiß, wohin der Betrachter blicken wird. Das heißt, in Spielfilmen wird oft mit einer höheren Tiefenschärfe gearbeitet als beim natürlichen Sehen (Abb. 5 unten). Noch extremer ist die Tiefenschärfe bei Zeichentrickfilmen. Hier ist es sozusagen keine Kunst, die Figuren scharf abzubilden, da sie im Computer scharf berechnet werden. Im Gegenteil, es ist schwer, in einem Zeichentrickfilm eine Bildunschärfe, die dem natürlichen Sehen entspricht, einzuarbeiten.

Aus optometrischer Sicht könnte man fälschlicherweise glauben, dass es ein großer Vorteil ist, wenn alle Bildbestandteile im Film scharf sind. Dann hat der Betrachter die freie Wahl und kann hinsehen wohin er will. Doch sinnesphysiologisch gibt es ein Problem. Die Größe des Panumbereichs hängt nämlich von der Bildschärfe ab.

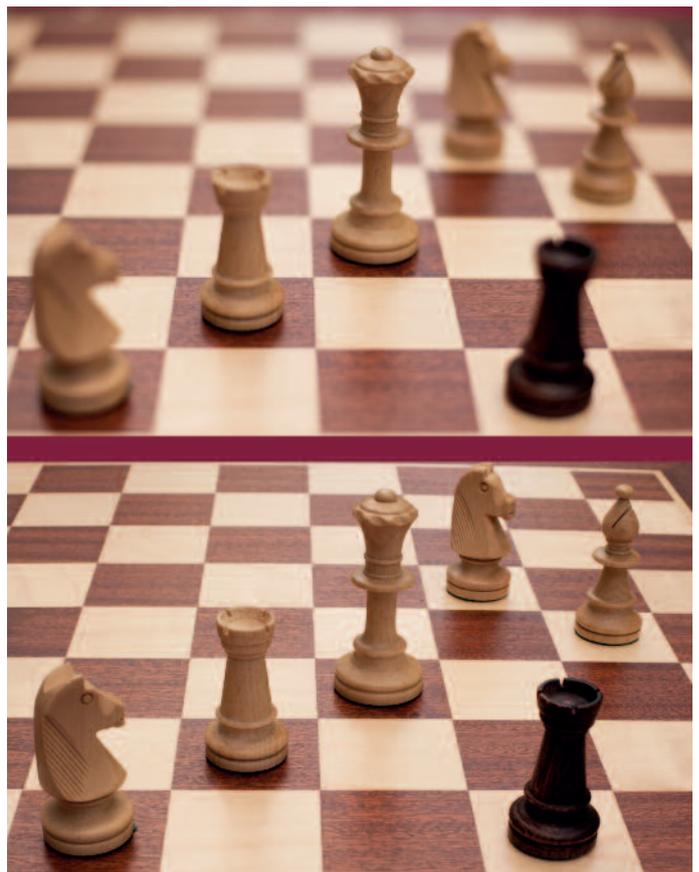


Abb. 5: Oben: Wenn das menschliche Auge die Dame auf dem Schachbrett fixiert, ist die Ebene, in der die Dame steht, deutlich. Die anderen Figuren sind unscharf. Unten: In Spielfilmen und besonders in Zeichentrickfilmen wird oft mit einer höheren Tiefenschärfe gearbeitet. Sowohl die Dame als auch die anderen Figuren sind deutlich.

<sup>1</sup> Nach DIN 5340–311 [3] bezeichnet der Panumbereich die unmittelbare Umgebung jeder korrespondierenden Netzhautstelle in einem Auge, in der trotz disparater Abbildung sensorische Fusion möglich ist. Das Wort Panumraum (DIN 5340–312) bezeichnet die dazugehörige Menge aller Objektpunkte im Außenraum. Er ist somit derjenige Teil des Außenraums, der trotz disparater Abbildung binokular einfach gesehen wird.

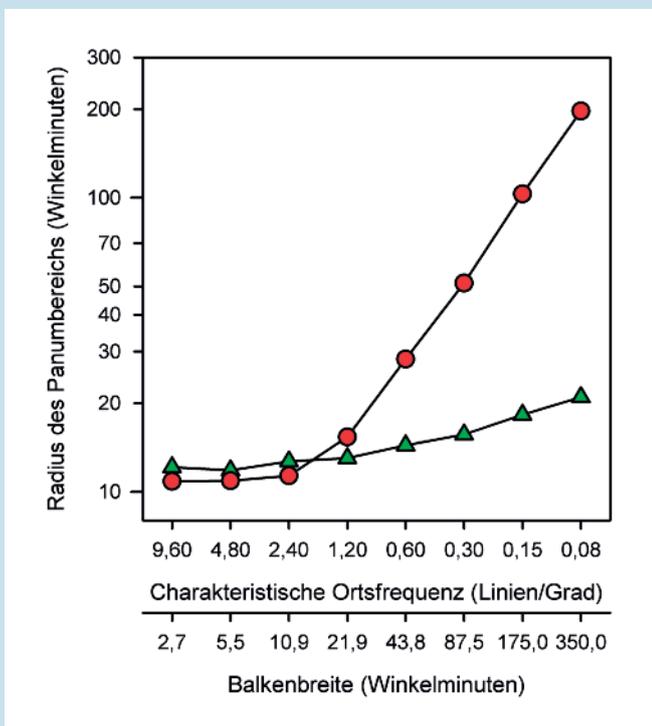


Abb. 6: Radius des Panumberbereichs nach Schor und Tyler [1]. Die zwei x-Achsen geben die Breite der Testobjekte an. Grüne Dreiecke: Scharfe Balken. Rote Kreise: Unscharfe Balken. Bei breiten unscharfen Balken ist der Panumberbereich 10 Mal so groß wie bei scharfen Balken.

Dies wird bei Betrachtung von Abb. 6 deutlich, die die Ergebnisse einer wissenschaftlichen Untersuchung von Schor et al. [1] wiedergibt. Schor verwendete bei seinen Experimenten Balken mit unterschiedlicher Breite und Konturenschärfe. Im ersten Experiment wurde den Versuchspersonen ein *scharfkantig* begrenzter vertikaler Balken räumlich dargeboten. Im zweiten Experiment wurde ein *unschärfer* Balken mit einer sanft verlaufenden Helligkeitsverteilung gezeigt. Die Balkenbreite konnte von 2,7 bis 350 Winkelminuten variiert werden (siehe auch Wesemann [2]).

Gemessen wurde bis zu welcher maximalen Querdisparation man die Balken, die vor dem Monitor schwebten, noch räumlich sehen konnte, und ab wann Doppelbilder auftraten.

Bei den Messungen ergab sich, dass die Größe des Panumberbereichs sehr stark von der Bildschärfe abhängt. Die grünen Dreiecke in Abb. 6 zeigen die Größe des Panumberbereichs für scharfkantige Balken. Die roten Kreise zeigen die Größe für unscharfe Objekte. Bis zu einer Balkenbreite von 22 Winkelminuten verlaufen beide Kurven sehr ähnlich. Bei sehr breiten Balken unterscheidet sich der Kurvenverlauf aber deutlich voneinander. Bei 350 Winkelminuten breiten *scharf abgebildeten Balken* tritt bereits bei einer Querdisparation von 20 Winkelminuten Diplopie auf. *Unscharfe Balken* können hingegen noch bis zu einer 10-mal so großen Querdisparation von 200 Winkelsekunden ohne Doppelbilder räumlich gesehen werden.

Daraus folgt u.a., dass Doppelbilder viel leichter auftreten, wenn räumliche Objekte scharf auf der Netzhaut abgebildet werden. Nur wenn die weiter vorn oder weiter hinten liegenden Sehobjekte unscharfe Konturen haben, kann das visuelle System das räumliche Sehen auch für große Querdisparationen aufrechterhalten.

Deshalb versuchen die Produzenten von modernen 3D-Zeichentrickfilmen, alles was vor oder hinter der wichtigsten handelnden Person liegt, per Computer künstlich unscharf dar-

zustellen. Nur dann ist ein annähernd natürliches Sehen möglich.

Shibata et al. [4, S.24] beschreiben eine „Prozent Regel“ für 3D-Kinofilme. Sie besagt, dass gekreuzte Querdisparationen (das Sehobjekt wird vor dem Bildschirm lokalisiert) nicht größer als zwei bis drei Prozent der Bildschirmbreite sein sollten. Ungekreuzte Disparationen sollten hingegen maximal ein bis zwei Prozent der Bildschirmbreite groß sein. Diese Regel sollte für Sehobjekte eingehalten werden, die der Betrachter während des Films aktiv betrachtet. Mendiburu [5] erklärt, wie groß das „3D-Budget“ ist, das dem Regisseur zur Verfügung steht, und macht Vorschläge, wie man mit diesem Budget umgehen sollte.

### 3.5 Schnelle Schnitte belasten das räumliche Sehen

Wenn man Elektroden auf den Kopf klebt und die visuell evozierten Potentiale (VEP) misst, findet man, dass das räumliche Sehen sehr viel langsamer von statten geht als die normale visuelle Wahrnehmung. Während ein monokular sichtbarer Musterwechselreiz bereits nach etwa 100 Millisekunden in der Area 17 nachweisbar ist, dauert es deutlich länger, bis ein räumliches Muster eine Gehirnantwort hervorruft (Klingenberg [6]).

Einige Personen brauchen sogar mehrere Sekunden, bis sie ein räumliches Objekt in einem Random-Dot-Stereotest (z. B. TNO- oder Randot-Test) erkennen. Das visuelle System benötigt offenbar viel Zeit, bis die „mathematische Analyse“ der räumlichen Bilder im Gehirn abgeschlossen ist. In unserer natürlichen Umwelt ist das kein Problem, denn wenn man die Räumlichkeit der Umgebung erst einmal erkannt hat, kann man sicher sein, dass sich die Tiefenstaffelung der umgebenden Objekte nur langsam verändert. In 3D-Filmen ist das anders.

Besonders Action-Filme sind geprägt durch rasante Bildsequenzen. Bei 2D-Bildern kann das visuelle System dem Geschehen problemlos folgen. Wenn aber in schnell geschnittenen 3D-Filmszenen ständig die räumlichen Distanzen wechseln, hat das Gehirn nicht genügend Zeit, um die querdisparate Tiefeninformation zu verarbeiten. Es gerät an seine Belastungsgrenze. Kopfschmerzen können die Folge sein.

Damit dieses Problem gar nicht erst entsteht, kann der Regisseur jede einzelne Szene so gestalten, dass die Augen nicht überfordert werden. So berichtet Gieselmann [7] davon, dass „James Cameron in der ersten halben Stunde des Films Avatar bewusst auf schnelle Action-Szenen verzichtet hat, damit sich die Augen der Zuschauer an das unnatürliche 3D-Sehen gewöhnen können.“ Allerdings sind nicht alle Regisseure so mitfühlend mit dem Zuschauer. Häufig werden besonders krasse 3D-Schockszenen bewusst als Stilmittel eingesetzt.

Noch problematischer sind Filme, die erst nachträglich in 3D umgewandelt wurden, denn bei der Herstellung solcher Filme wurde natürlich keine Rücksicht auf die besonderen Probleme des Binokularsehens genommen.

### 3.6 Gibt es einen optimalen Betrachtungsabstand?

Mit der Einführung des HDTV-Fernsehens hat sich die Bildqualität enorm gesteigert. Nun kann man mit Großbildfernsehgeräten im heimischen Wohnzimmer kino-ähnliche Bedingungen herstellen. ▶

Über den idealen Betrachtungsabstand bei 3D-TV-Geräten sind sich die Fachleute jedoch nicht einig. Im Gegenteil – eigentlich herrscht totale Verwirrung. Es gibt zahlreiche Empfehlungen, die sich aber zum Teil erheblich widersprechen.

Ein paar der Vorschläge, die man in wissenschaftlichen Arbeiten und im Internet findet, sind in Abb. 7 zusammengefasst. Dargestellt ist der „beste Betrachtungsabstand“ als Funktion der Bildschirmdiagonale des Fernsehgeräts nach Angaben verschiedener Autoren.

Wie man auf einen Blick erkennt, sind sich die Autoren nicht einig. Die durch ihre bahnbrechenden Entwicklungen im Bereich des Kinotons bekannte Firma THX [8] schlägt vor, dass die Kinoleinwand selbst vom hintersten Platz noch mindestens unter einem Sehwinkel von 36° gesehen werden muss. Optimal ist nach deren Meinung ein Sehwinkel von 40°. Dahinter steht die Vorstellung, dass der Kinobesucher möglichst ganz in der visuellen Kinolandschaft „versinken“ soll. Auf der Basis dieser Philosophie empfiehlt THX, sich möglichst nah vor den Fernseher zu setzen. THX meint, dass ein Abstand vom 1,2-fachen der Bildschirmdiagonale optimal ist. Eine noch kürzere Entfernung wird von der amerikanischen Webseite Best 3D reviews [9] empfohlen. Best 3D ist der Auffassung, dass man sich bei einem 165 cm großen Fernsehgerät in einem Abstand von 104 cm hinsetzen sollte. Dann erscheint der Fernseher unter einem Sehwinkel von 77°.

Von Ardito [10] und Lund [11] wurde der bevorzugte Betrachtungsabstand bei 2D-Fernsehgeräten wissenschaftlich untersucht. Bei diesen Versuchen wurde ein wesentlich größerer Abstand als angenehm empfunden. Wenn man die Originaldaten

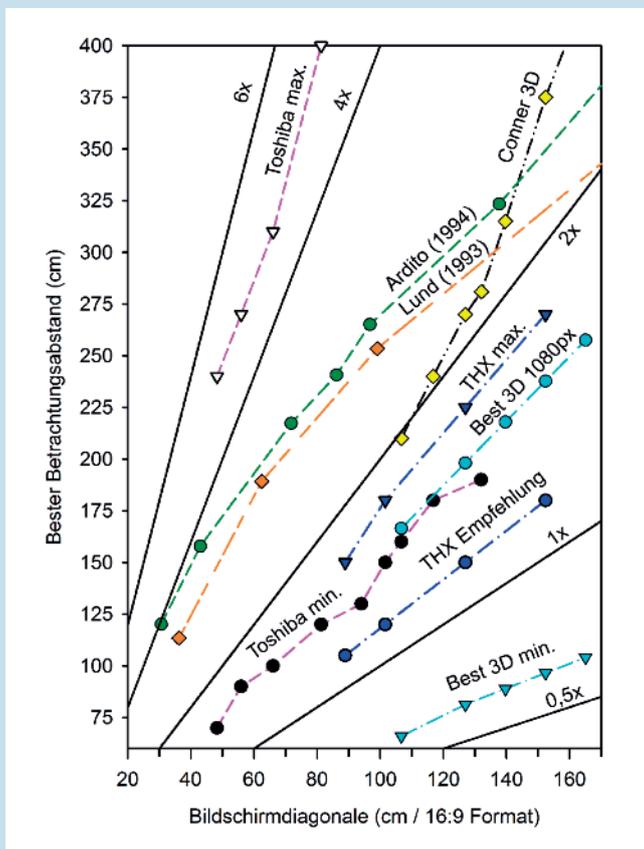


Abb. 7: Optimaler Betrachtungsabstand als Funktion der Bildschirmdiagonale nach Angaben verschiedener Autoren.

auf eine 16:9 Bildschirmdiagonale umrechnet, findet man: Bei kleinen Monitoren war das Sehen besonders angenehm, wenn der Monitor etwa viermal so weit weg war wie die Bildschirmdiagonale. Bei größeren Bildschirmen war ein Abstand von der zweifachen Bildschirmdiagonale am besten.

Toshiba (zitiert nach Wikipedia [12]) empfiehlt Abstände, zwischen der 1,5- und fünffachen Bildschirmdiagonale. Conner [13] von der Webseite 3D-TV buying guide spricht sich für einen Abstand vom Bildschirm zwischen der zwei- und dreifachen der Bildschirmdiagonalen aus.

Aus diesem Wirrwarr von Empfehlungen wird klar, dass es grundsätzlich verschiedene Auffassungen gibt. Die „Kino-Enthusiasten“ möchten das überwältigende Kinoerlebnis mit der großen Leinwand nachahmen und empfehlen eher kurze Abstände. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen fand man visuelles Wohlbefinden eher in einem größeren Abstand.

### 3.7 Der sinnesphysiologisch „richtige“ Betrachtungsabstand

Bei der Diskussion über die beste Entfernung wird ganz außer Acht gelassen, für welchen Betrachtungsabstand der 3D-Film eigentlich hergestellt wurde. Die „richtige“ räumliche Tiefe, die die räumlichen Proportionen der realen Welt exakt wiedergibt, sieht nämlich nur Derjenige, der in der „richtigen“ Entfernung vom Bildschirm sitzt. Betrachtet man den Film aus einem größeren oder kleineren Abstand sieht man den Stereoeffekt hingegen entweder übertrieben groß oder geringer als geplant.<sup>2</sup>



Abb. 8: Auswirkungen eines falschen Beobachtungsabstandes auf die Räumlichkeit. Oben: Räumlich richtige Wiedergabe bei richtigem Beobachtungsabstand. Unten: Räumlich verzerrte Wiedergabe bei einem doppelt so großen Beobachtungsabstand.

<sup>2</sup> Zusätzlich spielt natürlich auch noch der Augenabstand des Betrachters eine Rolle.

Die Auswirkungen eines falschen Beobachtungsabstandes sind in Abb. 8 am Beispiel eines Basketballspielers, der einen Ball in Richtung auf den Zuschauer wirft, anschaulich dargestellt. Das obere Bild zeigt die Räumlichkeit, wenn der Beobachter in dem richtigen Abstand vor dem TV-Gerät sitzt. Der Basketballspieler schwebt in 3D vor dem Fernseher. Seine Proportionen sind richtig.

Das untere Bild zeigt die Räumlichkeit, wenn der Beobachter in einer doppelt so großen Entfernung vor dem TV-Gerät sitzt. Durch den falschen Beobachtungsabstand, verzerren sich die räumlichen Proportionen. Der linke Arm erscheint jetzt exakt doppelt so lang zu sein wie er wirklich ist und sieht für den Betrachter spindeldürr aus. Der Ball ist zu einer Ellipse verzerrt, die beiden Halbachsen stehen im Verhältnis zwei zu eins.

### 3.8 Besondere Probleme bei 3D-Computerspielen

Alle oben genannten Probleme können bei 3D-Spielen in besonders heftiger Weise auftreten. Im Gegensatz zu 3D-Filmen gibt es bei Computerspielen keinen Regisseur, der das 3D-Storyboard auf eine dem visuellen System angemessene Art und Weise umsetzt. Hier kann der Computerspieler selbst entscheiden, wie er sich in seiner Spielumgebung bewegt. Im Spiel können plötzlich sehr nah gelegene Objekte auftauchen, die eine zu große Querdisparation aufweisen. Sensorische Fusion ist dann nicht mehr möglich und Diplopie tritt auf.<sup>3</sup> Erschwerend kommt hinzu, dass Computerspieler oft sehr viel länger vor dem Bildschirm sitzen als ein Kinofilm üblicherweise dauert.

Hier steht die Entwicklung aber erst am Anfang. Nach Giesemann [7] will „Sony bei künftigen stereoskopischen Spielen für die PlayStation 3 die Szenen so gestalten, dass sie die Spieler nicht überfordern“. Generell sollten die Charaktere im Computerspiel nicht zu weit vor oder hinter der Bildschirmenebene lokalisiert werden. Zudem soll es möglich sein, die Intensität des 3D-Effektes im Setup der Grafikkarte individuell zu verändern.

## 4. Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Stereosehen im Kino oder Zuhause ist eine faszinierende neue Seherfahrung, deren Reiz sich niemand entziehen kann.

Durch die Polfilter- oder Shutterbrillen-Technik ist heute eine einwandfreie Farbwiedergabe möglich. Ein Nachteil ist die geringe Lichtdurchlässigkeit der Trennerbrillen. Deshalb ist das 3D-Kinobild oft dunkler als ein normaler Spielfilm.

Etwa vier Prozent der Bevölkerung können nicht räumlich sehen. Diese Personen können sich die teuren Kinokarten für 3D-Filme sparen.

Bei der Betrachtung von 3D-Filmen kann es zu unterschiedlichen Sehproblemen kommen. Dazu zählen anstrengendes Sehen, unscharfes Sehen, müde Augen, Kopfschmerzen, Doppelbilder, Schwindel, seltener auch Übelkeit. Die Probleme entstehen durch Unzulänglichkeiten der Technik und durch prinzipielle visuelle Wahrnehmungskonflikte. Das visuelle System versucht die Konflikte zu abzumildern. Dies gelingt aber nur unzureichend.

<sup>3</sup> Nach Mendiburu [5] dürfen in 3D-Filmen extreme Querdisparationen vorkommen aber nur selten und nur für Sekundenbruchteile.

# Die clariti-Familie



## Silikon-Hydrogel-4-Wochenlinsen

Die clariti 4-Wochenlinsen-Familie ist ab jetzt in sphärisch, torisch und multifocal erhältlich.

Stellen Sie um auf die clariti-Familie:

- Hohe Sauerstoffdurchlässigkeit
- Mit UV-Schutz
- Hoher Wassergehalt und niedriger Modulus
- Hoher Parameterbereich in allen Designs
- Flexibilität, viele Kunden zu versorgen

Sauflon unterstützt Sie bei der Umsetzung Ihrer Geschäftsvision:

die clariti Familie ist speziell bei Kontaktlinsenspezialisten erhältlich.

Für weitere Informationen und Bestellung von Anpasslinsen wenden Sie sich bitte an unser Service-Team:  
Tel.: 06026 99770 E-Mail: [info@sauflon.de](mailto:info@sauflon.de) [www.sauflon.de](http://www.sauflon.de)

Die Probleme betreffen nicht alle Menschen gleichartig, denn die Belastungsfähigkeit des Binokularsehens ist von Mensch zu Mensch sehr verschieden (Rassow und Wesemann [14]).

Andauernde Schäden durch das Betrachten von 3D-Filmen sind nach dem heutigen Wissenstand nicht zu erwarten. Die Beschwerden verschwinden meistens nach kurzer Zeit.

Die heute verbreitete Bildfrequenz der TV-Shutterbrillen von 120 Hz (60 Bilder pro Sekunde pro Auge) ist nach Meinung des Autors zu niedrig. Sie kann bei flimmerempfindlichen Personen Beschwerden hervorrufen.

Noch problematischer sind Flimmereffekte, die durch eine Wechselwirkung zwischen der Shutterbrillenfrequenz und dem Licht von Leuchtstofflampen auftreten können. Dadurch können Kopf- und Augenschmerzen, Fusionsstörungen sowie Störungen der Raumwahrnehmung auftreten, die noch Stunden nach dem Ende des 3D-Films andauern. Deshalb sollte man im Heimkino eine Raumbelichtung mit Glühlampen oder Halogenlampen installieren.

Sensible Menschen, die zu Migräne neigen oder flimmerndes Licht nicht vertragen können, sollten einem TV-Gerät mit Polfilter-Technik den Vorzug geben. Bei dieser Technik wird das Bild nicht ständig an- und abgeschaltet. Es steht ruhig und das visuelle Gehirn bleibt entspannt.

Zirkular polarisierte Brillen sind besser als linear polarisierte, da die Bildtrennung auch bei einer seitlichen Neigung des Kopfes gut funktioniert.

Im Gegensatz zur Shutterbrillentechnik muss bei Polfilter-Systemen darauf geachtet werden, dass sich die Augen in der richtigen Höhe im Vergleich zur Monitormitte befinden.

Von allen 3D-Wahrnehmungskonflikten ist der Akkommodation-Vergenz-Konflikt am besten erforscht. Er kommt dadurch zustande, dass die Entfernung, in die die Augen konvergieren sollen, nicht mit der Entfernung übereinstimmt, auf die sich die Augen scharf stellen müssen. Ältere Menschen, die aufgrund ihrer Alterssichtigkeit ihre Augen nicht mehr richtig scharf stellen können, werden mit diesem Konflikt besser fertig als jüngere Menschen.

Personen, die 3D-Fernsehen als anstrengend empfinden, sollten versuchsweise den Abstand zum Bildschirm vergrößern. Dann wird der Sehwinkel, unter dem die Querdissipation auf dem Bildschirm erscheint, geringer und das visuelle System entlastet.

Man kann davon ausgehen, dass die Filmgesellschaften in den nächsten Jahren bei der Produktion von 3D-Filmen noch dazulernen. Durch geeignete Maßnahmen kann der Film bereits bei der Herstellung so gestaltet werden, dass weniger Sehprobleme zu erwarten sind. So weiß man, dass sich die bildwichtigen Sehobjekte möglichst nahe bei der Leinwand bzw. in der Bildschirmenebene befinden sollten. Weniger wichtige Objekte dürfen weiter hinten oder vorn liegen.

Auch beim Schnitt von einer Bildsequenz zur anderen muss darauf geachtet werden, dass dem Auge nicht zu schnelle Veränderungen der räumlichen Tiefe zugemutet werden. Die Hauptperson sollte beim Wechsel der Perspektive möglichst in der gleichen räumlichen Tiefe bleiben.

Schließlich muss der Filmregisseur schon bei der Herstellung des 3D-Films darauf achten, dass die Fixation des späteren Betrachters möglichst gut gelenkt wird. Dies kann man z. B. dadurch erreichen, dass die Hauptperson in der betreffenden Szene heller beleuchtet wird als die weniger wichtigen Neben-

darsteller. Neu ist auch, dass weit vorn oder hinten gelegene Objekte in Zeichentrickfilmen absichtlich unscharf gerechnet werden, damit nicht so leicht Doppelbilder auftreten.

Die größten Probleme sind derzeit bei dreidimensionalen Computerspielen zu erwarten. Aber auch die Spielehersteller werden dazulernen und versuchen, die Software so zu optimieren, dass die visuellen 3D-Probleme in Zukunft geringer werden.

Ob der 3D-Hype tatsächlich von Dauer ist, muss sich erst noch erweisen. Einige Filmkritiker und Filmschaffende sind bis heute noch nicht davon überzeugt, dass das querdissipate Tiefensehen dem Kino wirklich wichtige neue Werte hinzufügt (Wikipedia [15]). So könnte es sein, dass 3D in der Zukunft in erster Linie für Action- und Horror-Filme, bei denen es auf die visuelle Schockwirkung der Bilder ankommt, eingesetzt wird und „ernsthafte“ Filme weiterhin zweidimensional produziert werden.

Klar ist jedoch schon heute: Das faszinierende 3D-Abenteuer geht weiter.

## 5. 3D-Diagnostik und Beratung durch Augenoptiker

Da das Gehirn Stereosehen nur in der plastischen Phase der Sehentwicklung erlernen kann, sollte der Augenoptiker dabei mitwirken, frühkindliche Sehentwicklungsstörungen möglichst frühzeitig zu entdecken. Er könnte z. B. Eltern von kleinen Kindern ermuntern, ihr Kind möglichst früh in einer Augenarztpraxis mit orthoptischer Abteilung untersuchen zu lassen. Das ist besonders wichtig, wenn bei einem oder bei beiden Eltern teilen binokulare Sehprobleme bekannt sind.

Erwachsene Kunden sollte der Augenoptiker hinsichtlich des 3D-Sehens qualifiziert beraten. In der Anamnese sollte auch das Thema „Kopfschmerzen bzw. Migräne durch flimmernde Lichtreize“ besprochen werden. Dies ist für 3D-Fernsehen noch wichtiger als für 3D-Kino, weil das Fernsehbild heller ist als die Kinoleinwand. Zusätzlich sollte die individuelle Qualität des Stereosehens gemessen werden. Dazu muss der Stereogrenzwinkel mit einem abgestuften Stereotest (z.B. Randot-Test, TNO-Test, oder Titmus-Test) bestimmt werden. Der Lang-Test ist nicht geeignet. Schließlich sollte auch das binokulare Zusammenspiel der Augen geprüft werden.



*Kontaktdaten:*

**PD Dr. Wolfgang Wesemann**

*Höhere Fachschule für Augenoptik*

*Bayenthalgürtel 6*

*50968 Köln*

*E-Mail: wesemann@hfak.de*

Die Literatur zum Beitrag ist auf [www.doz-verlag.de](http://www.doz-verlag.de) unter „Service“ im Downloadbereich zu finden!

*Die unter der Rubrik „Fachthemen“ veröffentlichten Beiträge sind von dem Wissenschaftlichen Beirat der DOZ begutachtet worden. Nähere Auskünfte erteilen Dr. Andreas Berke ([berke@doz-verlag.de](mailto:berke@doz-verlag.de)) oder die Chefredaktion unter [hoeckmann@doz-verlag.de](mailto:hoeckmann@doz-verlag.de)*

# Sehlust und Sehfrust – Sehprobleme bei 3D-Kino und 3D-Fernsehen, Teil 2

Wolfgang Wesemann

## Literatur

- [1] Schor CM, Tyler CW. Spatio-temporal properties of Panum's fusional area. *Vision Research*. 1981;21:683-692.
- [2] Wesemann W. Beiträge zur Physiologie des Stereosehens, zur Form des Horopters und zur Größe des Panumbereichs. *DOZ*. 5/2000;Teil 2: Abb.17. [http://hfak.de/download/Stereosehen\\_2000.pdf](http://hfak.de/download/Stereosehen_2000.pdf)
- [3] DIN 5340. Begriffe der physiologischen Optik. Beuth Verlag; 1998.
- [4] Shibata T, Kin J, Hoffman DM, Banks MS. The zone of comfort: predicting visual discomfort with stereo displays. *J. of Vision* 2011;11(8):1-29.
- [5] Mendiburu B. 3D movie making: Stereoscopic digital cinema from script to screen. Focal Press; Elsevier. 2009.
- [6] Klingenberger HJ. Objektive Bestimmung der räumlichen Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Auges mit Hilfe visuell evozierter Potentiale. *Medizin Dissertation, Univ. Augenlinik Hamburg*, 1986.
- [7] Gieselmann H. Schneller als das Auge. *ct magazin* 20/2010:p.32. <http://www.heise.de/ct/artikel/Schneller-als-das-Auge-1074567.html>
- [8] THX. Certified Cinema Screen Placement. 2012. <http://www.thx.com/professional/cinema-certification/thx-certified-cinema-screen-placement/>
- [9] Best 3D reviews. Best 3D TV Screen Size and Viewing Distance. 2012. <http://www.best-3davs.com/guides/best-screen-size-viewing-distance/>
- [10] Ardito M. Studies of the influence of display size and picture brightness on the preferred viewing distance for HDTV programs. *SMPTE Journal* 1994;103,517-522.
- [11] Lund AM. The influence of video image size and resolution on viewing-distance preferences. *SMPTE Journal*. 1993;102:406-415.
- [12] Wikipedia. Optimum HDTV Viewing Distance. 2012. [http://en.wikipedia.org/wiki/Optimum\\_HDTV\\_viewing\\_distance](http://en.wikipedia.org/wiki/Optimum_HDTV_viewing_distance)
- [13] Conner P. What 3D TV size is right for you? How far away should you sit? 3D-tv buying guide. 2012. <http://3d-tvbuyingguide.com/3dtv/step5-3d-view-distance.html>
- [14] Rassow B, Wesemann W. Fusion and Stereopsis under artificially Impaired viewing conditions of the binocular system. *Optometrie*. 1986;2:21-27.
- [15] Wikipedia. 3D Film. 2012.