

# Teil 1: 3D-Grundlagen

Das 3D-Kino durchlebte in seiner Vergangenheit viele Höhen und Tiefen. Doch nun scheint eine reelle Chance zu bestehen, den Film in drei Dimensionen auf lange Zeit hin zu etablieren. 3D-Spezialist Florian Maier behandelt nach und nach in den folgenden Ausgaben die wichtigsten Aspekte der stereoskopischen Filmproduktion.

Spätestens seit »U2 3D« oder »Beowulf 3D« ist das Thema 3D wieder in aller Munde. Seine Blütezeit hatte der 3D-Film in den 50er Jahren, als Filme wie »Das Kabinett des Professor Bondi« (englischer Titel: »House of Wax«, 1953) oder »Gefahr aus dem Weltall« (englischer Titel: »It Came From Outer Space«, 1953) das Kino beherrschten. In den 80er und 90er Jahren war 3D insbesondere durch die IMAX-3D-Filme oder die so genannten 4D-Erlebniskinos in Vergnügungsparks bekannt. Insbesondere letztere sorgten dafür, dass 3D bis vor kurzem meist nur als netter Spezialeffekt wahrgenommen wurde, nicht aber als ernstzunehmende Konkurrenz für den herkömmlichen Film. Der Begriff 3D soll in dieser Artikelreihe übrigens stellvertretend im Sinne eines zweikanaligen stereoskopischen, also räumlich wirkenden Films genannt werden.

Lange Zeit war 3D der Inbegriff eines Rot-Grün-Filmes, den man nie länger als 10 Minuten betrachten konnte, ohne Ziehen in den Augen oder gar Kopfschmerzen zu bekommen. Die Hauptgründe dafür waren, dass zum einen physiologische Grenzen des Menschen beim Betrachten nicht eingehalten wurden, zum anderen unzureichende technische Möglichkeiten bestanden, einen 3D-Film adäquat zu produzieren und zu zeigen. Die größte Schwierigkeit bestand beispielsweise in der Produktion auf »analogem« Filmmaterial. Das führte dazu, dass das dreidimensionale Ergebnis einer »analogen« Aufnahme immer erst lange Zeit nach der Aufnahme betrachtet werden konnte – dann, wenn jeder Eingriff zu spät und das Set schon lange abgebaut war.

Dies ändert sich nun mehr und mehr. Mit Aufkommen immer hochauflösender digitaler Technik und der Möglichkeit, eine 3D-Einstellung zumindest ansatzweise sofort am Set kontrollieren zu können, ist die Produktion von 3D-Filmen immer einfacher und hoch qualitativer möglich. Der Workflow wird beschleunigt, neue Techniken erlauben auch noch nachträglich in gewissem Maße kleine Korrekturen an den Aufnahmen. Auch sinkende Equipmentkosten für hochauflösende digitale Technik sowohl auf Aufnahme- als auch auf Projektionsseite tragen zum jüngsten Erfolg von 3D bei. Dennoch sind diese Faktoren nicht alleine ausschlaggebend für eine gute 3D-Produktion. Am wichtigsten ist immer noch die Kenntnis über grundlegende Zusammenhänge von der Aufnahme bis zur Betrachtung eines 3D-Filmes. Und daran mangelt es oftmals. Die folgende Artikelserie soll zumindest an-



Beowulf

© Warner Bros

satzweise Abhilfe schaffen und die wichtigsten Aspekte der stereoskopischen 3D-Filmproduktion vorstellen.

Was macht also einen guten 3D-Film aus? Um diese Frage beantworten zu können, ist zunächst Hintergrundwissen zur Physiologie des Menschen notwendig. Dieser erste Artikel soll einen Überblick über die wichtigsten Begriffe im Bereich der Stereoskopie geben, bevor in den kommenden Artikeln auf stereoskopische Filmaufnahme, die Filmgestaltung, das Editing und auf Darstellung- und Projektionstechniken in 3D eingegangen wird.

## Wie sieht man räumlich?

Um räumlich sehen zu können sind zahlreiche Informationen über das Gesehene für das Gehirn notwendig. Dazu zählen Tiefenhinweise, die sich in monokulare (also mit nur einem Auge) und binokulare (mit beiden Augen gleichzeitig wahrgenommene) Tiefenhinweise gliedern. Für die eigentliche dreidimensionale Wahrnehmung ist der »Tiefen-Sinn«, Stereopsis genannt, verantwortlich; also der Sinn, aus den Tiefenhinweisen einen dreidimensionalen Raum zu errechnen. Doch gehen wir diese Tiefenhinweise Schritt für Schritt durch:

## Monokulare Tiefenhinweise

Monokulare Effekte spielen bei der Raumwahrnehmung eine große Rolle. Bereits Leonardo da Vinci beschrieb im 16. Jahrhundert die von Malern der Renaissance entdeckten Tiefenhinweise, wie z.B. Schatten und Perspektive. Diese sorgen dafür, dass ein eigentlich zweidimensionales Bild wie zum Beispiel eine Strichzeichnung durch das Hinzufügen von monokularen Tiefenhinweisen wie einem Schatten einen dreidimensionalen Charakter erhält. Schon alleine wenn wir mit nur einem Auge durch die Welt gehen, können wir unsere Umgebung anhand dieser meist von Kindesbeinen an erlernten Fähigkeiten dreidimensional erfassen.

**Bildgröße:** Erzeugt ein Objekt im Auge, dessen Größe wir bereits kennen, ein größeres Abbild auf der Netzhaut, als ein anderes analog aussehendes Objekt, so ist das ein Hinweis darauf, dass sich das erste Objekt näher zum Auge hin befinden muss. Man wird also beispielsweise relativ einfach die Entfernung einer Person einschätzen können, da wir wissen, wie groß ein Mensch im Durchschnitt ist.

**Perspektive:** Aus der Erfahrung kann abgeleitet werden, dass Objekte, insbesondere vom Menschen konstruierte, ihre Größe mit zunehmender Entfernung vom Betrachter kontinuierlich verkleinern. Das beste Beispiel dafür sind parallele Schienenstränge, die am Horizont zusammenzulaufen scheinen. Perspektivische Szenen eignen sich in einem 3D-Film sehr gut, um die Räumlichkeit zusätzlich zu betonen und den Augen einen Anhaltspunkt zu geben, sich im künstlich erzeugten Raum auf verschiedene Entfernungen einzustellen.

**Überlappen:** Befindet sich ein Objekt vor einem anderen, so verdeckt es das sich dahinter befindende Objekt. Diese Erfahrung ist im 3D-Film sehr wichtig für die korrekte Einstellung des so genannten Scheinfensters. Zur Erklärung dieses Begriffes kommen wir etwas später.

**Luft-Phänomene:** Durch Nebel oder Dunst in der Luft wirken entfernte Objekte mattiert und daher weiter entfernt. Dies kann man sehr gut feststellen, wenn man sich in einer weiten Landschaft mit Blick auf die Berge befindet.

**Textur:** Die Textur eines Objektes ist in der Nähe sehr fein detailliert; diese Detaillierung verliert sich mit zunehmender Entfernung und ergibt eine zunehmend

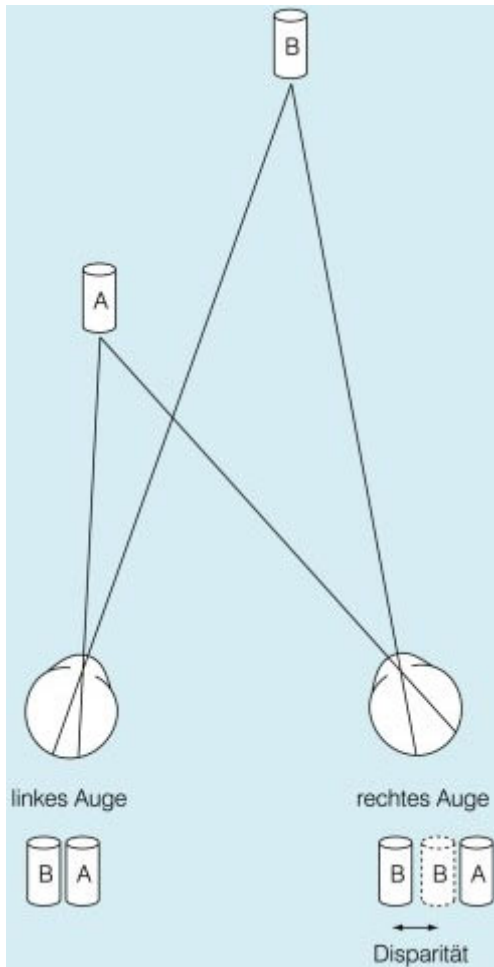


Abb 1: Darstellung der Disparität – die Augen sind auf das nähere Objekt eingeschwenkt. Disparität nennt man den Unterschied des Abstandes zweier korrespondierender Bildpunkte auf den Netzhäuten  
© Florian Maier

homogen erscheinende Oberfläche. Sehen Sie sich dazu einmal die Fassade eines Hauses aus nächster Nähe an – Sie werden feststellen: je weiter Sie sich von der Fassade entfernen, desto homogener wird Ihnen die Fläche erscheinen.

**Licht, Schatten:** Licht und Schatten modellieren ein Objekt und geben Hinweise auf die Plastizität. Wichtig ist die Lichtgestaltung auch, um die wichtigen Objekte im Raum zu betonen. Im 2D-Film macht man dies durch das Stilmittel der geringen Schärfentiefe, im 3D-Film kann man dieses Gestaltungsmittel nur beschränkt einsetzen. Hierzu wird in einem folgenden Artikel zur stereoskopischen Filmgestaltung näher eingegangen.

**Bewegungsparallaxe:** Bewegt sich der Betrachter an in der Tiefe gestaffelten Objekten vorbei, so verändern nahe Objekte schneller ihre relative Position zum Betrachter als entfernte Objekte. Dies kann man sehr gut feststellen, wenn man seinen Blick aus einem fahrenden Auto auf die vorbeiziehende Landschaft richtet. Bei der 3D-Filmaufnahme wird dieser Tiefenhinweis gerne zusätzlich in Form einer leichten Kamerafahrt genutzt, um dem dreidimensionalen Film noch mehr Tiefe zu verleihen.

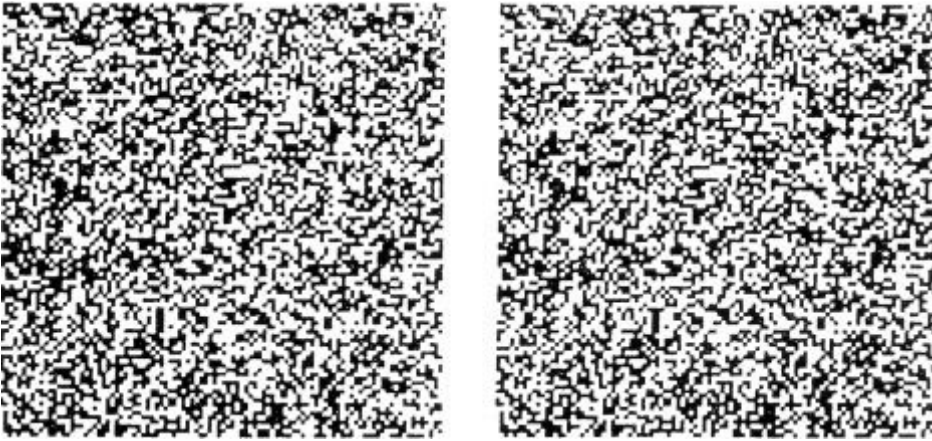


Abb 2: Julesz-Figur: Mit Hilfe des Stereoblickes entsteht allein durch die Disparität mit Hilfe der Stereopsis ein dreidimensionales Bild. Die Augen sind im entspannten Zustand auf ein sehr weit entfernt liegendes Objekt zu fixieren; anschließend sieht man in dieser Stellung durch die Julesz-Figur quasi hindurch, sodass beide Bilder zur Deckung gebracht werden. Es entsteht virtuell ein drittes, räumlich wirkendes Bild zwischen beiden Einzelbildern. © nach Lipton

**Scharfstellung** (Akkommodation): Um ein Objekt scharf auf der Netzhaut abbilden zu können, muss je nach Entfernung die Brechkraft des Auges über die Linse angepasst werden. Die Scharfstellung ist beim natürlichen Sehen mit der Konvergenzstellung, also dem Einschwenken der Augen auf einen Punkt, gekoppelt. Sie zählt im Gegensatz zu den anderen Tiefenhinweisen zu den anatomisch wahrgenommenen Tiefenhinweisen und ist ein von Geburt an angeborener Reflex. Je nach Muskelanspannung der Augenlinse liefert sie einen Hinweis auf die Entfernung eines Objektes.

Interessant ist, dass bereits monokulare Effekte ausreichen, um ein Objekt plastisch wahrzunehmen. Der Grund dafür liegt in dem starken Einfluss monokularer Effekte auf die räumliche Wahrnehmung – so wie wir es aus der Frühzeit der Evolution übernommen haben. Dies liegt besonders daran, dass das stereoskopische Sehen mit zwei Augen nur bis zu einer gewissen Entfernung funktioniert. Um aber dennoch

Entfernungen jenseits dieser Grenze gut abschätzen und Gefahren rechtzeitig erkennen zu können, sind die monokularen Tiefenhinweise seit der menschlichen Frühzeit sehr gut ausgeprägt. So kann ein plastisch wirkendes Bild allein aufgrund des monokularen Verstehens des Bildinhaltes erschaffen werden.

**Binokulare Tiefenhinweise**

Durch das Sehen mit zwei Augen kommen weitere Tiefenhinweise hinzu. Diese geben uns besonders im Nahbereich eine verbesserte Fähigkeit, Entfernungen sehr exakt einschätzen zu können. Dazu zählen:

**Konvergenz/Divergenz:** Im Gegensatz zum Umherblicken auf einem zweidimensionalen Bild müssen die Sehachsen der Augen beim Ändern der Fixierung eines Punktes von der Ferne zur Nähe nach innen einschwenken. Dies nennt man Konvergenzbewegung. Das Auseinanderschwenken der Augen beim Betrachtungswechsel von einem nahen auf ein fernes Objekt wäre eine Divergenzbewegung. Divergieren nennt man oftmals auch, wenn die Augen aus der Parallelstellung (beide Sehachsen sind parallel zueinander, wie beim Blick in die Ferne) noch weiter nach außen blicken würden. Dies ist nur minimal möglich und erzeugt ein Ziehen in den Augen bis hin zu Kopfschmerzen. Diese Information ist später wichtig für die richtige Einstellung der 3D-Parameter.

**Disparität:** Sie entsteht dadurch, dass Objekte eine unterschiedliche Entfernung zum Betrachter haben. Wird, wie in Abbildung 1 dargestellt, das nahe Objekt A fixiert, so befindet es sich in beiden Augen an den gleichen Stellen auf den Netzhäuten; das entfernte Objekt B hingegen wird in beiden Netzhäuten an unterschiedlichen Stellen abgebildet, nämlich im linken Auge direkt neben dem Abbild des Objektes A und im rechten Auge etwas weiter entfernt zum Abbild des Objektes A. Diesen Unterschied in der Entfernung der

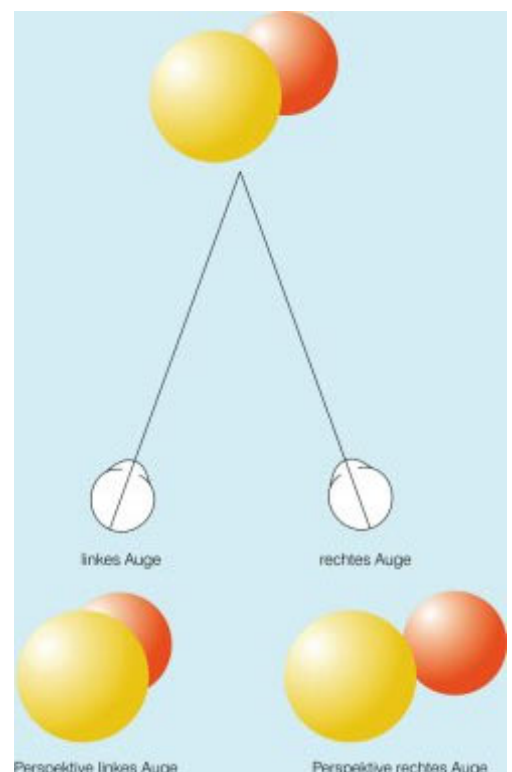
Abbilder korrespondierender Objektpunkte zueinander nennt man Disparität. Diese kann als absolute Strecke angegeben werden, oftmals aber auch als Winkel.

**Tiefen-Sinn** (Stereopsis): Sind die zuvor beschriebenen Tiefenhinweise lediglich Hilfestellungen bei der dreidimensionalen Wahrnehmung, so ist die Stereopsis der eigentliche »Tiefen-Sinn« des Menschen. Er sorgt dafür, dass sowohl mit Hilfe der monokularen und binokularen Tiefenhinweise als auch mit den Informationen aus den unterschiedlichen Blickwinkeln der beiden Augen eine dreidimensionale Wahrnehmung im Gehirn entsteht. Interessant ist, dass der »Tiefen-Sinn« auch unabhängig von den monokularen und binokularen Tiefenhinweisen funktioniert. Ein Beispiel dafür sind die so genannten Julesz-Figuren. Sie erscheinen wie verrauschte Zufallsbilder, frei von Tiefenhinweisen, und dennoch entsteht lediglich durch die Disparität auf der Netzhaut und die Verarbeitung des Tiefen-Sinns ein räumliches Bild (siehe Abbildung 2).

**Erzeugung künstl. 3D-Bilder**

Um ein dreidimensionales Bild erzeugen zu können, muss dem Betrachter ein dem natürlichen Sehen nachempfundenere dreidimensionaler Raum vorge-täuscht werden. Die Möglichkeit, sich Objekte dreidimensional – also mit Tiefenwirkung – vorzustellen, beruht neben der Interpretation von Tiefenhinweisen hauptsächlich darauf, dass die menschlichen Augen ein Objekt aus geringfügig unterschiedlicher Perspektive wahrnehmen (Abbildung 3).

Abb 3: Die Augen sehen ein räumliches Objekt aus unterschiedlicher Perspektive © Florian Maier



Diese so genannte »Parallaxe«, die eine unterschiedliche Abbildung von räumlich ausgedehnten Objekten auf den Netzhäuten hervorruft (Disparität), nutzt das Gehirn aus, um aus diesen Informationen ein dreidimensionales Bild zu konstruieren.

Die Parallaxe kann beim 3D-Film auch künstlich erzeugt werden: Wird dem linken Auge ein planes Bild zugeführt, das zuvor aus einer Perspektive aufgenommen wurde, die einem linken Auge entspräche, und dem rechten Auge ein planes Bild in analoger Weise zugeführt, so fusioniert das Gehirn diese beiden Einzelbilder zu einem einzigen räumlichen Bild.

Werden diese Überlegungen auf die stereoskopische Bildaufnahme beim 3D-Film übertragen, so stellen zwei Kameraobjektive angenähert die beiden menschlichen Augen dar. Die von den Kameras aufgenommenen Bilder, die stereoskopischen Halbbilder, werden getrennt aufgezeichnet und den Augen zu einem späteren Zeitpunkt getrennt wieder zugeführt (Abbildung 4).

Auf diese Weise kann dem Betrachter ein dreidimensionaler Raum vorgetäuscht werden, in dem er sich ähnlich dem natürlichen Sehen zurechtfinden und einen dreidimensionalen Raumeindruck gewinnen kann. Da die beiden stereoskopischen Halbbilder später bei einer 3D-Projektion oder einem 3D-Bildschirm am gleichen Ort, nämlich auf der Leinwand oder Bildfläche, deckungsgleich dargestellt werden müssen, ist ein technisches Verfahren notwendig, um die Bilder

wieder getrennt, also jedem Auge das ihm zugehörige, dem Betrachter zuführen zu können. Die möglichen Techniken für eine Darstellung (beispielsweise bei der 3D-Projektion oder dem 3D-Display) werden in einem späteren Artikel in dieser Serie vorgestellt.

### Grundbegriffe 3D-Aufnahme

Im folgenden Abschnitt werden Grundbegriffe für die 3D-Aufnahme und spätere 3D-Darstellung erklärt. Deren Kenntnis ist nötig, um die Gestaltungsmöglichkeiten bei der 3D-Aufnahme zu verstehen, die im nächsten Artikel dieser Serie erläutert werden.

**Parallaxe:** Wenn man ein Objekt anvisiert, so werden beide Augen auf einen Punkt im Raum eingeschwenkt. Die Augen sehen das Objekt aus unterschiedlicher Perspektive mit einer so genannten Parallaxe. Oder mathematisch gesprochen: der Winkel, den die Sehstrahlen zu einem bestimmten Punkt von zwei verschiedenen Beobachtungsorten einer Basis aus bilden, wird »parallaktischer Winkel« (auch »Konvergenzwinkel«) genannt. Diese Bezeichnung wird auch oft im Zusammenhang mit den optischen Achsen zweier Kameraobjektive verwendet.

**Bildschirmparallaxe:** Wenn man die zwei stereoskopischen Halbbilder übereinander legt – also das Bild, das die rechte Kamera aufgenommen hat und das Bild, das die linke Kamera aufgenommen hat – dann wird ein gefilmtes Objekt im Raum nicht deckungs-

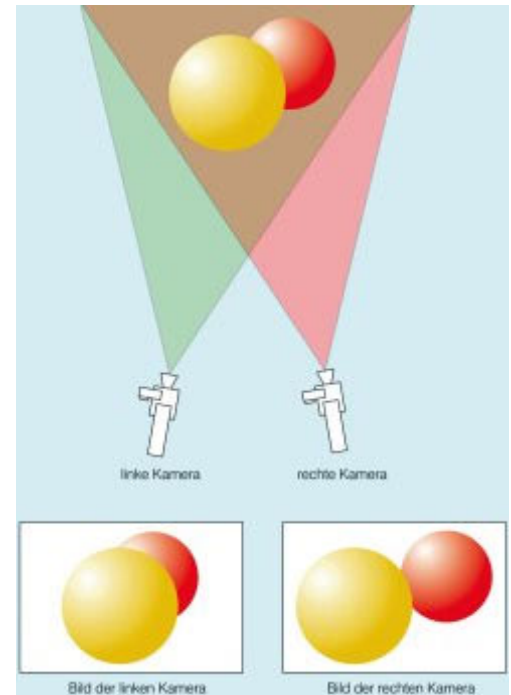


Abb 4: Die Kameras nehmen ein Objekt aus unterschiedlicher Perspektive auf. © Florian Maier

gleich an derselben Stelle abgebildet (bis auf einen einzigen Sonderfall), sondern mit einem horizontalen Versatz, der je nach 3D-Inhalt des Bildes unterschiedlich ausfällt. Dieser horizontale Versatz sorgt dafür,

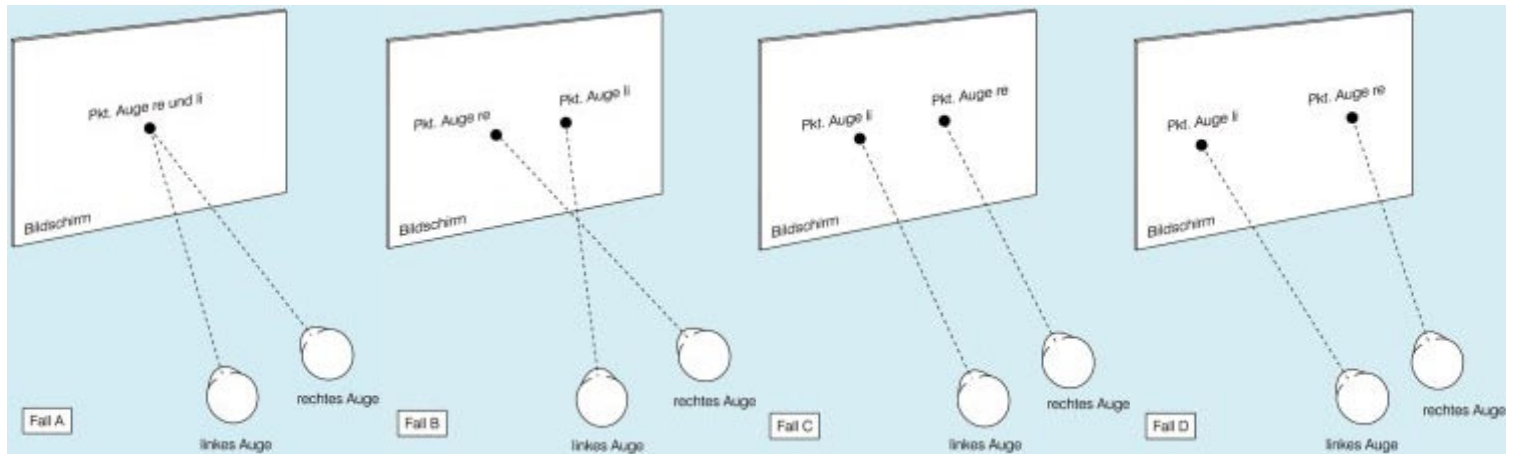


Abb 5: Die vier Formen der Bildschirmparallaxe nach Lipton.

dass wir (je nach Ausprägung des Versatzes) das Bild durch ein Einschwenken unserer Augen solange zueinander horizontal verschieben, bis das im 3D-Bild anvisierte Objekt zur Deckung kommt.

Je weiter die Augen »schielen« müssen, desto weiter kommt uns das Objekt vor dem Bildschirm herausgesetzt vor (»crossed parallaxis« – oder »negative Parallaxe« – siehe Abbildung 5). Das gleiche gilt in umgekehrter Richtung: je weiter wir die Augen im Vergleich zum Fixieren eines Punktes auf der Leinwand nach außen schwenken müssen, um das anvisierte Objekt zur Deckung zu bringen, desto weiter kommt uns das Objekt von der Leinwand nach hinten in den Raum versetzt vor (»uncrossed parallaxis« – oder »positive Parallaxe«).

In einem einzigen Fall müssen wir nichts unternehmen, um das Objekt ohne Doppelbilder wahrzunehmen: nämlich dann, wenn ein Objekt keinen horizontalen Versatz aufweist, also beide Bilder deckungsgleich sind. Dann wird das Objekt auch dort wahrgenommen, wo es projiziert wurde, nämlich auf der Leinwand. Die Leinwandebene wird Scheinfenster genannt, da Objekte, die hinter der Leinwand zurückversetzt erscheinen, wie durch ein Fenster betrachtet werden. Liegt ein Objekt bei natürlicher Betrachtung im Unendlichen, so ist die Stellung der Sehachsen unserer Augen parallel.

Übertragen wir dies auf eine Projektion, so müssen beide Augen ebenfalls parallel ausgerichtet sein, um das virtuelle Bild im Unendlichen wahrzunehmen. Das dies meist nicht wirklich im Unendlichen, sondern nur ein paar Meter hinter der Leinwand wahrgenommen wird, hängt mit dem sehr starken monokularen Tiefenhinweis der Akkomodation (Scharfstellung) auf den Bildschirm zusammen. Ist für ein Fusionieren der Einzelbilder eine Augenbewegung nötig, die über eine Parallelstellung hinausgehen würde (Divergenzbewegung über die Parallelstellung hinaus) so ist eine Fusion nur noch innerhalb sehr geringer Grenzen möglich; der äußere Grenzwert liegt bei 4° Divergenz – ab 1° entsteht aber meist schon ein unangenehmes Ziehen in den Augen).

**Scheinfenster:** Wie bereits im vorigen Absatz beschrieben wird die Bildebene, auf der der 3D-Film physikalisch projiziert oder gezeigt wird (also die Projektionsleinwand oder die 3D-Bildschirmoberfläche), Scheinfenster genannt. Objekte die im Scheinfenster dargestellt werden, werden im Dreidimensionalen auch genau auf der Projektionswand wahrgenommen, kommen also weder nach vorne in Richtung des Zuschauers heraus noch wirken nach hinten zurückversetzt. Hierbei befinden sich korrespondierende Bildpunkte deckungsgleich übereinander (siehe Begriffserläuterung »Bildschirmparallaxe«). Der Name »Scheinfenster« kommt dadurch zustande, dass man durch diesen Bildrahmen wie durch ein Fenster in einen dreidimensionalen Raum hindurch sehen kann.

**Augenabstand:** Als Augenabstand werden im Mittel 63 mm verwendet. Dieser Wert ist je nach Geschlecht, Alter und Abstammung unterschiedlich und kann im Bereich zwischen von 50 bis 75 mm variieren. Dies sollte man bei der physiologischen Gestaltung von 3D-Filmen berücksichtigen.

**Stereobasis:** Unter der Stereobasis (auch »Interaxial« genannt) wird der Abstand der optischen Achsen zweier Kameraobjektive bei der 3D-Bildaufnahme verstanden. Bei einem Side-by-Side-Rig (also wenn sich beide Kameras nebeneinander befinden) kann die Stereobasis lediglich so klein sein, wie die Kameragehäuse breit sind. Durch eine spezielle Spiegelkonstruktion (Mirror-Rig mit Strahlenteiler) kann diese minimal mögliche Stereobasis nochmals unterschritten werden, was in einer Vielzahl der Fälle bei der 3D-Aufnahme notwendig ist. Hierauf wird im folgenden Artikel genauer eingegangen werden

**Nahpunkt und Fernpunkt:** Bei der Berechnung der richtigen Stereobasis müssen einige Parameter in Betracht gezogen werden. Dafür werden Distanzen im Aufnahmeset gemessen. So wird der bei der 3D-Aufnahme am nächsten liegende Objektpunkt zur Kamera Nahpunkt genannt. In analoger Weise wird der Fernpunkt definiert. Er ist der am weitesten entfernten Punkt von der Kamera. Dieser liegt bei Landschaftsaufnahmen meist im Unendlichen.

Mit diesen Grundkenntnissen ist ein Verstehen der physiologischen Vorgänge beim Betrachten eines 3D-Filmes möglich. Wie man diese Kenntnisse in der 3D-Filmgestaltung anwendet, welche Zusammenhänge in der weiteren Kette von der Aufnahme bis zur Darstellung bestehen und welche Produkte es im Bereich des 3D-Films gibt, das behandeln die kommenden Artikel dieser Serie. ■ PP



Über den Autor: Florian Maier von 3D Consult ([www.3D-consult.eu](http://www.3D-consult.eu)) beschäftigt sich seit mehr als 10 Jahren mit Stereoskopie. Neben dem Gaststudium an der Hochschule für Fernsehen und Film München und dem Studium der Medientechnologie an der TU Ilmenau startete er seine eigene Videoproduktionsfirma für Image- und Werbefilme (BLUE FRAMES media – [www.blueframes.de](http://www.blueframes.de) – gegründet 1997) und spezialisierte sich in 3D-Fotografie und

3D-Video. Er entwickelte mehrere 3D-Aufnahmeverrichtungen und besitzt mehrere Patente. Seit seinem Abschluss als Diplom-Ingenieur arbeitet er als 3D-Berater in den unterschiedlichsten Projekten. Dazu gehören sowohl Forschungsprojekte im Bereich der Stereoskopie am Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR) und bei Firmen aus der Wirtschaft, als auch die Tätigkeit als 3D-Berater bei unterschiedlichsten Projekten im Filmbereich. Seit 2007 ist er bei P+S Technik als Entwickler von 3D-Rigs für professionelle 3D-Filmaufnahme tätig. Neben seinen Beratungstätigkeiten promoviert er an der TU Ilmenau am Institut für Medientechnik. Seine Forschungen umfassen die physiologischen Faktoren bei der Betrachtung von stereoskopischen Bildinhalten und die Erschaffung bestmöglicher Technologien, um eine dreidimensionale Bildbetrachtung ohne physische Beschwerden beim Betrachter zu ermöglichen.

**3D Consult Dipl.-Ing. Florian Maier**  
 Ahornstraße 5, 82205 Gilching  
 Fon 08105 774974-0, Fax 08105 774974-1  
 e-Mail: [f.maier@3d-consult.eu](mailto:f.maier@3d-consult.eu)  
[www.3d-consult.eu](http://www.3d-consult.eu)