

## Stereoskopie

// h\_da Fachbereich Informatik / Labore / Virtual Reality / Basiswissen / Stereoskopie

### Grundlagen der Stereoskopie

von Nils Röder

#### 1.0 Konzept und Geschichte der Stereobilderzeugung

#### 2.0 Parallaxe

#### 3.0 Stereoskopische Verfahren

- 3.1 Infitec
- 3.2 Anaglyphen
- 3.3 Autostereoskopie
- 3.4 Polarisation
- 3.5 Shutter
- 3.6 KMQ

#### 4.0 Programmierkenntnisse

- 4.1 OpenGL
- 4.2 DirectX
- 4.3 OGRE3D
- 4.4 Anaglyphen

#### 5.0 Referenzen

### 1.0 Konzept und Geschichte der Stereobilderzeugung

Um räumlich sehen zu können verfügt der Mensch über zwei Augen. Dieses räumliche sehen der Umwelt begeisterte schon im Mittelalter Maler und Gelehrte wie Leonardo da Vinci, die versuchten Tiefeninformationen in ihren Gemälden zu vermitteln, in dem sie versuchten 3Dimensional zu zeichnen. Jedoch enthalten diese Gemälde keine wirkliche Tiefeninformation, da es sich hierbei nur um so genannte *Flachbilder* handelt, welche dem Betrachter für jedes Auge die gleiche Perspektive liefern. Eine Tiefeninformation wird hier nur angedeutet, da das Gemälde vom Zeichner so angefertigt wurde, dass es eine Vorstellung der räumlichen Perspektive wieder gibt. Aus solchen konventionellen zweidimensionalen Bildern / Gemälden können im Nachhinein also keinerlei Tiefeninformationen mathematisch rekonstruiert werden. Das gleiche gilt auch für Photographien die mit herkömmlichen Kameras angefertigt werden. Diese verfügen nur über ein Objektiv, was vergleichbar wäre mit einem Menschen der ein Auge zu kneift [HERBIG]. Für die Wahrnehmung eines räumlichen Bildes ist es also zwingend notwendig, jedem Auge des Betrachters eine spezifische Perspektive der zu visualisierenden Szene darzubieten. Dies ist mittels Stereoskopischer Techniken realisierbar. Man spricht von so genannten Stereobildern.

Der Begriff „Stereoskopie“ setzt sich aus den zwei griechischen Wörtern stereo (räumlich) und skopein (sehen) zusammen. Es handelt sich hierbei um ein Verfahren bei dem paarweise Bilder (stereoskopische Halbbilder genannt) getrennt für jedes Auge angeboten werden. Die darzustellenden Raumpunkte sind durch korrespondierende Bildpunkte auf jedem Halbbild abgebildet. Aufgrund der Parallaxe sind diese ein wenig seitenverschoben zueinander (genannt: stereoskopische Deviation). Unter der sogenannten Deviation versteht man den horizontalen Abstand gleicher Bildelemente auf beiden Halbbildern zueinander. Die Deviation ist damit die Abbildung der Parallaxe [WikiStereo]. Das Prinzip der Stereoskopie ist demnach ganz einfach. Der Mensch sieht die Welt mit zwei Augen, wobei jedes Auge die Welt aus einer anderen Perspektive wahrnimmt. Durch das binokulare (beidäugige) Sehen ist es dem Mensch möglich, die Welt in drei Dimensionen wahrzunehmen. Das Gehirn verarbeitet die Halbbilder dann zu einem dreidimensionalen Abbild. Die Stereoskopie setzt bei der Zuführung der Bildinformationen an das jeweilige Auge an. Ziel ist es, wie bei dem natürlichen Sehvorgang die Augen jeweils mit einem für sie perspektivisch korrekten Bild zu versorgen. Vergleicht man stereoskopische Bilder mit herkömmlichen 2D-Bildern, so ist der wohl größte Vorteil der Stereoskopie sofort erkennbar. Es wird dem Betrachter ermöglicht, die Lage der abgebildeten Raumpunkte zu empfinden. Dies ist letztendlich auf die Repräsentation der Bilddaten zurück zu führen, da diese dem natürlichen Sehvorgang sehr nahe kommt.

Der englische Physiker Charles Wheatstone (1802-1875) gilt als der Urvater der Stereoskopie. Im Jahr 1832 hatte er bereits zwei Modelle nach seinen Angaben anfertigen lassen. Anschließend erschienen 1833 Informationen über seine Experimente in der dritten Auflage der "Outlines of Human Physiology". Kurz vor der Veröffentlichung der Photographie teilte er 1838 seine Erkenntnisse der Royal Society in London mit. Bereits hier verwies er auf diverse Betrachtungsgeräte. Im gleichen Jahr noch veröffentlichte Wheatstone am King's College London, seine ersten Forschungsergebnisse über räumliches Sehen. Er berechnete und zeichnete Stereobildpaare und konstruierte für deren Betrachtung einen Apparat, bei dem der Blick des Betrachters durch Spiegel auf die Halbbilder umgelenkt wurde (siehe Abbildung 1). Diesen Apparat nannte er Stereoskop [Stereo].

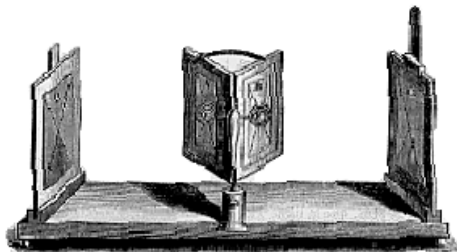


Abbildung 1 - Spiegelstereoskop (Spiegel in der Mitte, Halbbilder an den Seiten)  
Quelle: [Stereo]

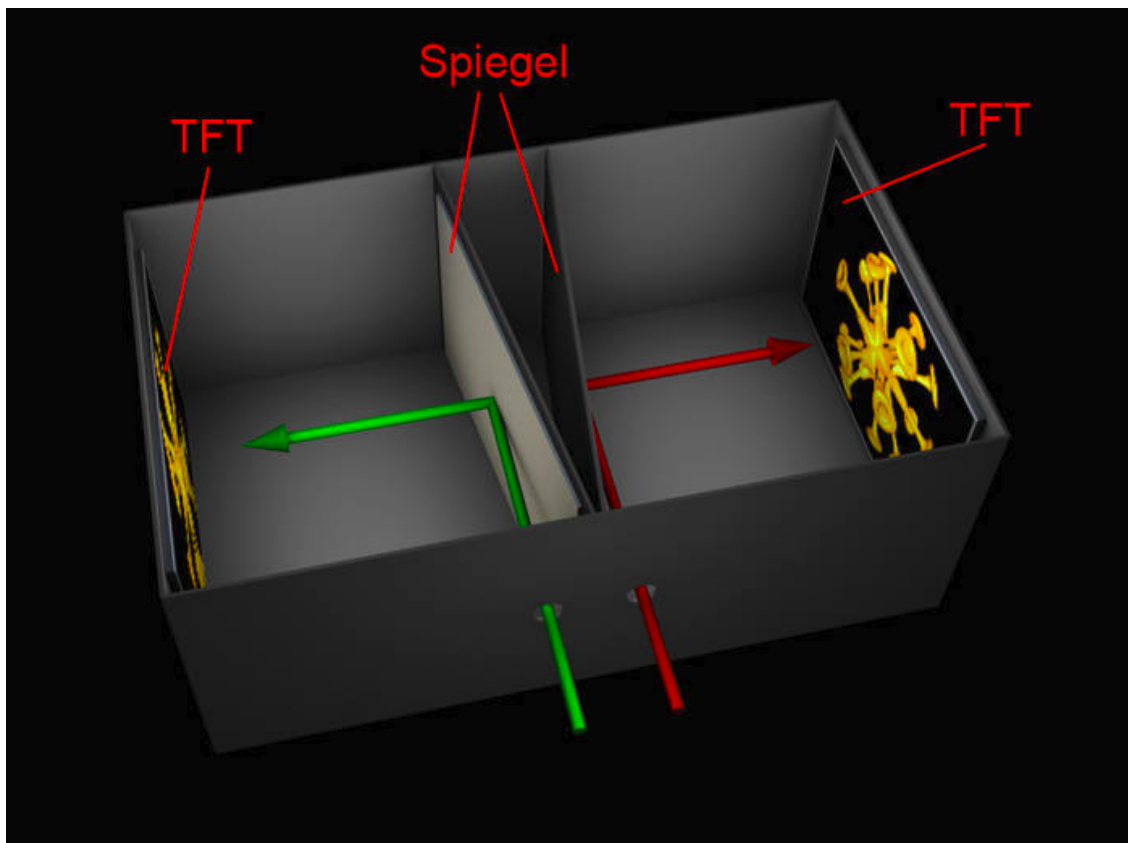


Abbildung 2 - Spiegelstereoskop h\_Da

## 2.0 Parallaxe

Wann ein Objekt vor oder hinter der Leinwand wahrgenommen wird, soll jetzt anhand der Parallaxe erklärt werden. Es existieren drei verschiedene Arten von Parallaxen. Hierbei handelt es sich um die so genannte „*Null Parallaxe*“, die „*Negative Parallaxe*“, sowie die „*Positive Parallaxe*“.

Spricht man von einer Null Parallaxe, so liegen die homologen Bildpunkte beider Bilder genau übereinander. Betrachtet man also einen Bildpunkt mit Null-Parallaxe, so bedeutet dies, dass sich die optischen Achsen in der Ebene der Leinwand schneiden (siehe Abbildung 3).

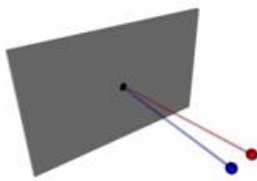


Abbildung 3 - Null-Parallaxe

Quelle: [DrevenRöder]

Bei einer positiven Parallaxe entspricht der Wert der Parallaxe dem Augenabstand und die optischen Achsen beider Augen befinden sich in einer parallelen Ausrichtung. Dies geschieht in der Natur bei der Betrachtung von Objekten in sehr großer Ferne (siehe Abbildung 4). Sämtliche Objekte, bei denen sich die optischen Achsen hinter der Projektionswand oder gar nicht schneiden (Parallaxe-Werte zwischen der Null-Parallaxe und dem Augenabstand) erzeugen Bilder, welche hinter der Projektionswand wahrgenommen werden.

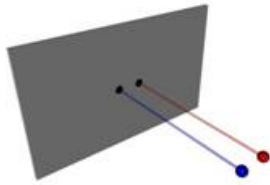


Abbildung 4 - Positive Parallaxe  
Quelle: [DrevenRöder]

Im Fall der negativen Parallaxe, kreuzen sich die optischen Achsen vor der Bildschirm Ebene. Erzeugte Bilder dieser Art werden somit als in den Raum hineinragend wahrgenommen (siehe Abbildung 5).

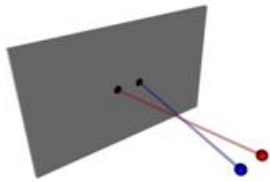


Abbildung 5 - Negative Parallaxe  
Quelle: [DrevenRöder]

Abbildung 6 zeigt zusammenfassend alle besprochenen Parallaxen.

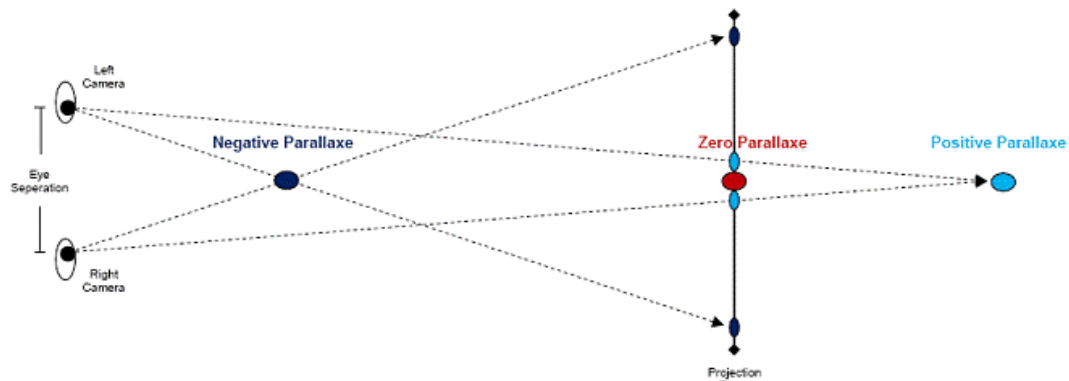


Abbildung 6 - Illustration von positiver, negativer und Null Parallaxe.  
Quelle: [DrevenRöder]

## 3.0 Stereoskopische Verfahren

Die nun folgenden Abschnitte befassen sich mit den heutzutage etablierten Verfahren bzw. Techniken der Stereoskopischen Darstellung.

### 3.1 Infitec

Infitec bezeichnet eine Technik zur Kanaltrennung bei Stereoprojektionen basierend auf Interferenzfiltern (*Interferenzfiltertechnologie*). Hierbei werden die Bilder für das linke und rechte Auge mit Grundfarben unterschiedlicher Wellenlänge projiziert (so genanntes Wellenlängen-Multiplexing).

- Linkes Auge: Rot 629nm, Grün 532nm, Blau 446nm
- Rechts Auge: Rot 615nm, Grün 518nm, Blau 432nm

Die visuelle Aufnahme von Informationen erfolgt über Farbrezeptoren im Auge.

Tabelle 1 zeigt die Wellenlängen maximaler Empfindlichkeit  $\lambda_{MAX}$  dieser Farbrezeptoren, welche sich aus Abbildung 7 ergeben. Die selektive Erregung dieser Rezeptoren empfindet der Mensch als die Grundfarben Blau, Grün und Rot [Infitec].

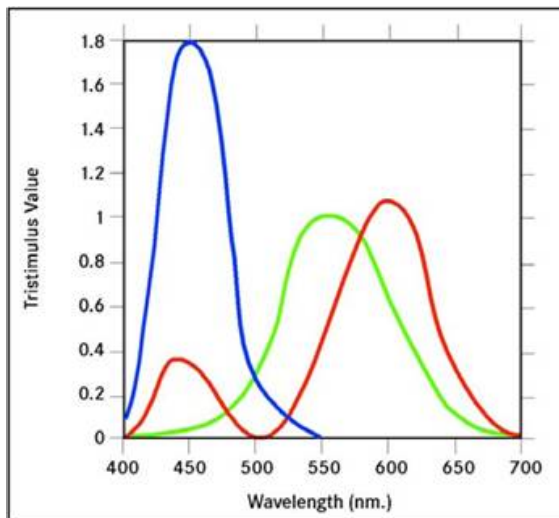


Abbildung 7 - Farbrezeptor Empfindlichkeiten  
Quelle: [Infitec]

#### Farbrezeptor

Blau	450 nm
Grün	550 nm
Rot	600 nm

Tabelle 1 - Maximale Empfindlichkeit sowie Halbwertsbreiten der Aug-Rezeptoren

Die beiden optischen Filter (dargestellt durch die durchgängige und gepunktete Linie, Abbildung 8) splitten das Farbspektrum in zwei Teile auf (der durchgängige Teil markiert die Informationen für das linke Auge Abbildung 9 A und der gepunktete Teil markiert die Informationen für das rechte Auge Abbildung 9 B).

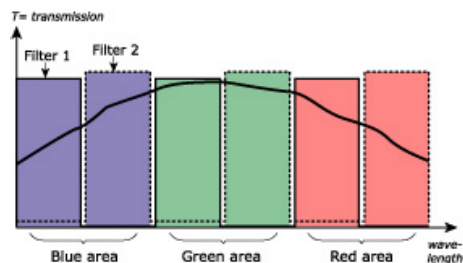


Abbildung 8 - Optische Filterung für das linke und rechte Auge (dargestellt durch die durchgängige und gepunktete Linie), Quelle: [Barco]

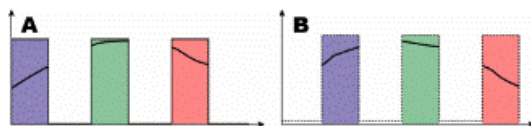


Abbildung 9 - Informationen für das linke und rechte Auge  
A.) Informationen für das linke Auge.  
B.) Informationen für das rechte Auge.  
Quelle: [Barco]

Die Kanaltrennung der projizierten Bilder erfolgt mit einer Brille, die über trennscharfe Interferenzfilter für jedes Auge das passende Wellenlängen-Tripel herausfiltert [Barco]. Das Verfahren wurde ab 1999 für den Einsatz in VR-Systemen von der Forschung der DaimlerChrysler AG in Ulm entwickelt. Abbildung 10 zeigt den Aufbau eines solchen Infitec-Systems.

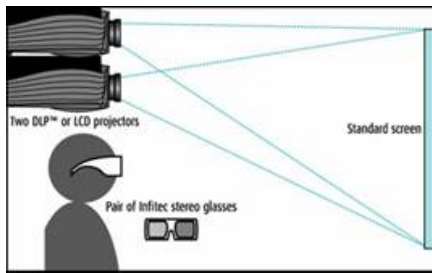


Abbildung 10 - Infitec Systemaufbau  
Quelle: [Barco]

## 3.2 Anaglyphen

Eine weitere Methode zur Betrachtung stereoskopischer Bilder ist das so genannte Anaglyphen-Verfahren. Es handelt sich hierbei um das wohl populärste und verbreitetste Verfahren der Stereoskopie. Zurück zu führen ist dieses Verfahren auf Wilhelm Rollman. Rollman veröffentlichte 1853 die Idee, Halbbilder komplementär [Farbimp] einzufärben und anschließend übereinander zu legen [Anaglyph]. Die Halbbilder werden mit Farbfiltern projiziert oder gedruckt (linkes Halbbild rot, rechtes Halbbild grün). Das trennen der Halbbilder erfolgte dann mit einer Brille, welche der Betrachter tragen muss. Mittels entsprechend eingefärbter Gläser (Farbfilter umgekehrt zur Projektion; rot vor dem rechten und grün vor dem linken Auge) konnten dann die Halbbilder wieder getrennt gesehen werden, da das jeweils gegenfarbige Bild auf hellem Grund dunkel erscheint und das jeweils gleichfarbige durch Absorption erlischt. Da beide Augen nun verschiedene Bilder sehen, entsteht im Gehirn wieder ein räumliches Bild.

Ein weiteres Verfahren wurde 1858 von Charles d' Almeida vorgestellt [Almeida]. Dieses Verfahren funktioniert genau umgekehrt zu dem von Wilhelm Rollman. Das bedeutet, dass sich hierbei das gleichfarbige Bild vor dunklem Grund hell abhebt und das gegenfarbige absorbiert wird [PgKg].

Die Funktionsweise der Farbfilter können sie anhand Abbildung 11 und der im Buchrücken angebrachten Anaglyphen-Brillen testen.



Abbildung 11 - Farbfilter Test

Wie bereits angesprochen wurden zur Filterung ursprünglich die Farben Rot und Grün verwendet. Dies änderte sich jedoch in den 70er-Jahren, als Stephen Gibson die Farbanaglyphentechnik erheblich durch neue Filterfarben verbesserte. Er benutzte Rot vor dem rechten und Blau vor dem linken Auge, was er letztendlich auch patentieren lies. Des weiteren wurden auch Farbfilter mit Rot und Cyan eingeführt, da Cyan zu gleichen Teilen aus Blau und Grün besteht, und somit eine bessere Darstellung von Echtfarben ermöglicht [WikiAnaglyph]. Eine etwas unbekannte Variante bietet die dänische Firma „Color Code“ an. Dabei handelt es sich um ein eigenes Farbanaglyphen-System, wobei hier das rechte Brillenglas Blau und das linke Brillenglas gelb gefärbt ist [WikiRaumbildprojektion]. Abschließend ist zu sagen, dass die Anaglyphen Technik darauf basiert, Farben zur Bildseparation heranzuziehen. Was jedoch den Nebeneffekt hat, dass so erzeugte Abbildungen "normalerweise" nur in schwarz/weiß wahrzunehmen sind. Farbige Anaglyphen sind zwar prinzipiell möglich und auch erprobt worden, jedoch konnten sie bisher nicht frei von Störbildern realisiert werden [Kemner]. Anaglyphenbilder fanden in ihrer Anfangszeit insbesondere in mathematischen Lehrbüchern Anwendung, wo sie benutzt wurden um geometrische Gebilde zu veranschaulichen.

Anhand dieser Fakten lässt sich schnell erkennen, dass die Anaglyphentechnik den heutigen Ansprüchen moderner Projektions- und Reproduktionstechniken nicht mehr genügt. Ein Pluspunkt ist lediglich die Einfachheit des Verfahrens. Es gelingt selbst Laien in kürze stereoskopische Bilder zu erstellen.

Im folgenden Teil sehen sie einige Beispielbilder und deren Berechnungen nach [3dvtat]. Die angegebenen Formeln zeigen, wie man die RGB-Werte des Anaglyphenbildes  $ra$ ,  $ga$  und  $ba$  aus den RGB-Werten der linken ( $r1$ ,  $g1$ ,  $b1$ ) und rechten ( $r2$ ,  $g2$ ,  $b2$ ) Halbbilder berechnet. Die Formeln sind für jedes Pixel anzuwenden.

### Echte Anaglyphen

Rot-Blau-Anaglyphenbilder wirken sehr dunkel (siehe Abbildung 12). Es treten jedoch, gegenüber herkömmlichen Rot-Grün-Anaglyphen, weniger Geisterbilder auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich durch die Verwendung der Rot-Blau-Kanäle die Farbspektren besser voneinander abgrenzen. Jedoch ist bei dieser Technik keine Farbwiedergabe möglich. Dieses Bild lässt sich durch eine Rot-Blau Brille betrachten.

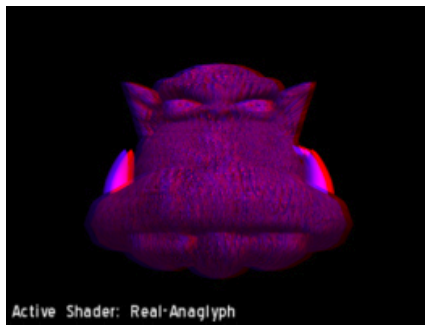


Abbildung 12 - Rot-Blau Anaglyphenbild

Berechnet wurde dieses Rot-Blau-Anaglyphenbild nach der folgenden Formel:

$$\begin{pmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,144 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0,299 & 0,587 & 0,144 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

Formel 1

Pixel für Pixel Berechnung eines Rot-Blau Anaglyphenbildes

Quelle: [3dttat]

## Graue Anaglyphen

Verwendet wird für das linke Bild der rote Kanal und für das rechte Bild der grüne sowie der blaue Kanal. Der erste Schritt besteht darin, die beiden Halbbilder in Graustufenbilder zu konvertiert. Dis hat zur Folge, dass die Farbinformationen verloren gehen. Letztlich bleiben also nur die Informationen zur Helligkeit übrig, welche dann für die Erstellung des Anaglyphenbildes verwendet werden (siehe Abbildung 13). Geisterbilder treten hier leider öfter als bei echten Anaglyphenbildern auf. Vorteilhaft ist aber, dass Graue Anaglyphenbilder mit Rot-Cyan-Brillen ebenso betrachtet werden können wie mit Rot-Grün-Brillen oder Rot-Blau Brillen.



Abbildung 13 - Graues Anaglyphenbild

Berechnet wurde dieses Grau-Anaglyphenbild nach der folgenden Formel:

$$\begin{pmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,144 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0,299 & 0,587 & 0,144 \\ 0,299 & 0,587 & 0,144 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

Formel 2

Pixel für Pixel Berechnung eines Grau-Anaglyphenbildes

Quelle: [3dttat]

## Farbige Anaglyphen

Ziel dieses Verfahrens ist es, Farbinformationen teilweise wiederzugeben. Verwendet werden Brillen mit Rot und Cyan Farbfiltren. Problematisch ist hierbei der rote Farbfilter. Dieser ist oftmals nicht in der Lage die Grünanteile des Bildes vollständig abzudecken. Demnach können Bildinformationen an das falsche Auge gelangen (es entsteht eine so genannte *Retinale Rivalität*), was zu Geisterbildern führt. Das ist auch der Grund, warum bei den Farbigen-Anaglyphen wesentlich häufiger Geisterbilder auftreten als bei allen anderen Techniken. Farbige Anaglyphen lassen sich leicht selbst erstellen. Sie setzen sich lediglich aus dem Roten Kanal des linken Bildes und dem Grünen sowie Blauen Kanal des Rechten Bildes zusammen (siehe Abbildung 14).

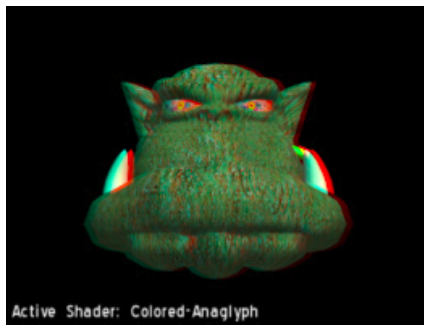


Abbildung 14 - Farbiges Anaglyphenbild

Berechnet wurde dieses Farb-Anaglyphenbild nach der folgenden Formel:

$$\begin{pmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

Formel 3

Pixel für Pixel Berechnung eines Farb-Anaglyphenbildes

Quelle: [3dvtat]

### Optimierte Anaglyphen

Hierbei handelt es sich um eine Optimierung der farbigen Anaglyphe. Ziel ist es die Geisterbilder zu minimieren, was sich aber letztlich auf den Rotkanal auswirkt. Rottöne können bei dieser "Teilweise Farbwiedergabe" somit gar nicht mehr dargestellt werden (siehe Abbildung 15). Zusätzlich zu Formel 4 wurde eine Gammakorrektur zur Aufhellung des berechneten Rotkanals  $r_a$  durchgeführt (Gammawert 1.5).

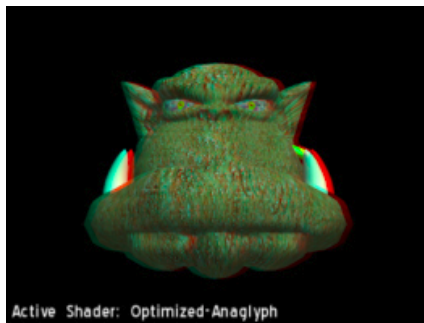


Abbildung 15 - Optimierte Anaglyphenbild

Berechnet wurde dieses Optimierte-Anaglyphenbild nach der folgenden Formel:

$$\begin{pmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0,7 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

Formel 4

Pixel für Pixel Berechnung eines Optimierten-Farbigen-Anaglyphenbildes

Quelle: [3dvtat]

Es existieren noch weitere verbesserte Algorithmen, die den Rotkanal der ursprünglichen Halbbilder teilweise auf den Grün- bzw. Blaukanal umlegen bevor Formel 4 angewendet wird.

### 3.3 Autostereoskopisches verfahren

Die Autostereoskopie (Griechisch: auto = selbst, stereo = räumlich, skopein = sehen) ist ein Verfahren, bei dem man dreidimensionale Bilder mit Tiefeneindruck darstellt, ohne dass der Benutzer auf Betrachtungsgeräte zurückgreifen muss. Es muss also beispielsweise keine Brille (z.B. Anaglyphenbrille, Shutterbrille) getragen werden [WikiAutoStereo].

#### Autostereoskopische Displays

Autostereoskopische Displays (oder auch 3D-Display) zeichnen sich wie bereits angesprochen dadurch aus, dass sie ohne Hilfsmittel eine volle dreidimensionale Wahrnehmung gestatten. Bei diesem Verfahren werden die beiden Halbbilder gleichzeitig projiziert. Die Kanaltrennung geschieht über Linsenraster oder Streifenmasken die vor dem Bildschirm angebracht sind (siehe Abbildung 16). Das Licht der einzelnen Pixel wird so in verschiedene Richtungen vor dem Bildschirm abgelenkt (Vergleichbar mit einem "Wackelbild").

Darüber hinaus können mittlerweile die Bildinformationen per Eye- oder Head- Tracking der Betrachterposition nachgeführt werden, um den *Sweet Spot* (optimale Benutzer Position für den korrekten Stereoeindruck) dynamisch zu gestalten. Dieses ist mittlerweile realisierbar, ohne



auf mechanische Mittel zurückzugreifen [Börner]. Sobald man die Halbbilder dem Benutzer elektronisch nachführt, spricht man auch von so genannten *Personen Adaptiven Monitoren* (PAM). Dies geschieht alles in Abhängigkeit der Betrachterposition, sowie der Raster- und Monitorgeometrie. Unter diesen Faktoren werden dann die Bildpixel so angeordnet, dass die getrennte Ansicht zweier Bilder ermöglicht wird [HHA99].

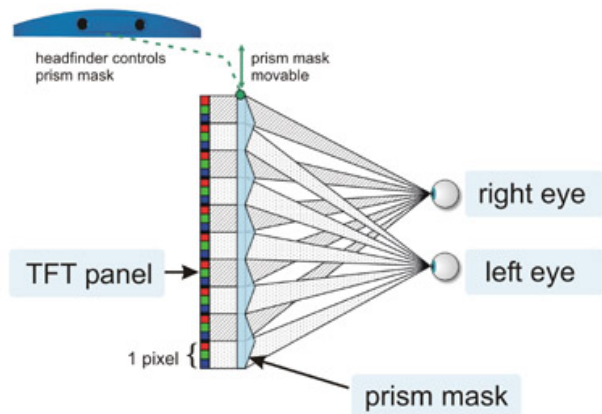


Abbildung 16 - Funktionsprinzip des autostereoskopischen Displays

Quelle: <http://www.seereal.com/>

Das Verfahren ist bereits auch als Multi-User-Display realisiert worden, was sich aber auf die Bildqualität auswirkt, da die beiden Halbbilder bei der Projektion spaltenweise ineinander verflochten sind (z.B. ungrade Bildschirm-Pixel-Spalten für das rechte Halbbild und die graden Bildschirm-Pixel-Spalten für das linke; siehe Abbildung 17).

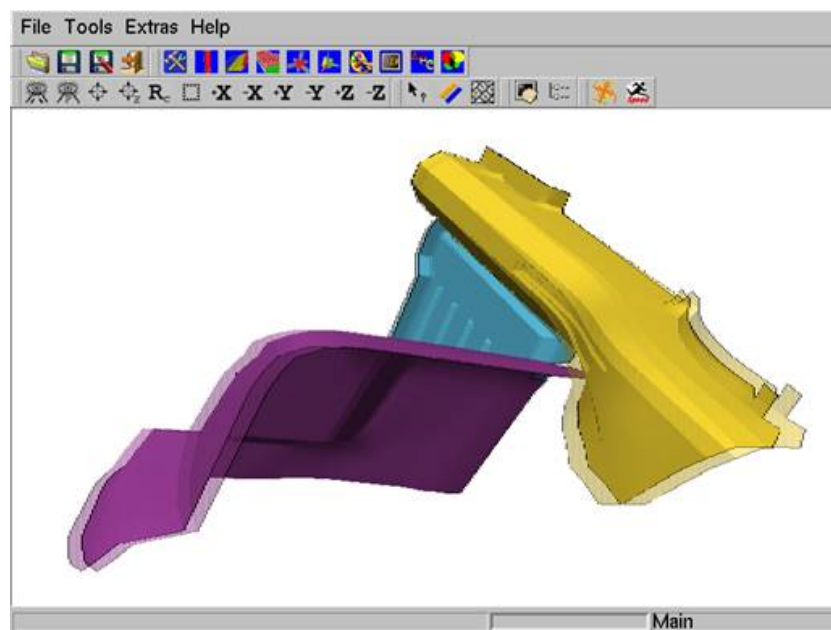


Abbildung 17 - Spaltenweise Aufteilung des Stereobildpaares am Beispiel dreier Fahrzeugteile

Quelle: <http://www.vis.uni-stuttgart.de/ger/research/proj/autopt/autostereo/>

### 3.4 Polarisierungstechnik

Bei der Polarisationsfiltertechnik handelt es sich um ein sehr weit verbreitetes Projektionsverfahren, welches nicht nur zu wissenschaftlichen Zwecken eingesetzt wird. So hat es dieses Verfahren sogar flächendeckend in die Kinos geschafft (z.B. IMAX oder Real D). Dieser Trend wird in Kürze noch weiter zunehmen, da Jeffrey Katzenberg (neben Steven Spielberg einer der Geschäftsführer von Dreamworks) kürzlich bekannt gab, dass ab 2009 alle Produktionen auch in 3D angeboten werden. Ein Polarisationsverfahren, das in Kinos Anwendung findet, ist [RealD]. Die Kanaltrennung wird bei diesem Projektionsverfahren durch *linear polarisiertes Licht* erlangt. Licht ist unter anderem eine elektromagnetische Welle, die transversal (rechtwinklig) zur Ausbreitungsrichtung schwingt. Hierbei kann es in allen möglichen Richtungen (bzw. Ebenen) rechtwinklig zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Wird es so manipuliert, dass es nur noch in einer Ebene schwingt, nennt man es polarisiert. Das linear polarisierte Licht schwingt nur noch in einer ganz bestimmten Ebene (welche rechtwinklig zur Ausbreitungsebene ist) [WikiPolarisation]. Um die Kanaltrennung zu realisieren, sind die Polarisationsrichtungen für das linke und rechte Teilbild um 90 Grad versetzt. Der Betrachter muss eine spezielle Brille tragen, die durch ihre eingebauten Polarisationsfilter wiederum dafür sorgt, dass jedes Auge nur das dafür vorgesehene Halbbild zu sehen bekommt (siehe Abbildung 18).



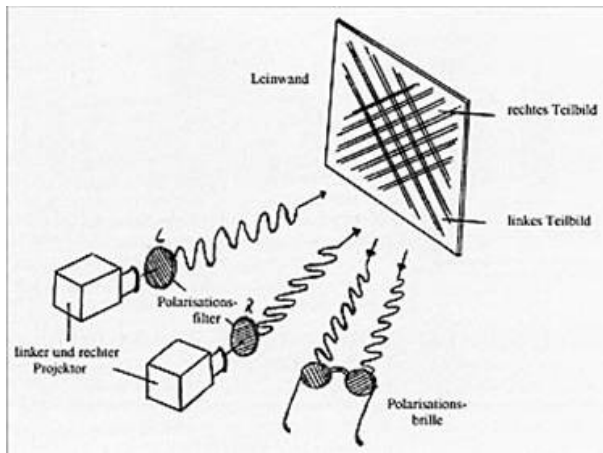


Abbildung 18 - Polarisationsfiltertechnik  
Quelle: <http://www.3d-historisch.de>

Um die Polarisierung des Lichts während der Projektion aufrecht zu erhalten benötigt man für dieses Verfahren eine spezielle Leinwand. Um genau zu sein muss diese *spiegelnd reflektierend* sein, was auch der Grund ist warum bei diesem Verfahren metallisch beschichtete Leinwände zum Einsatz kommen. Bei der Verwendung einer herkömmlichen Leinwand, würde das Licht wieder zerstreut werden, was die Aufhebung der Kanaltrennung bedeuten würde.

Ein Vorteil ist die hohe Farbtreue dieses Verfahrens, sowie die geringen Herstellkosten der Brille. Nachteil ist, dass der Betrachter seinen Kopf stets grade halten muss (nur bei linear polarisiertem Licht). Neigt man den Kopf zur Seite, so ändert sich der zur Kanaltrennung nötige Winkel von 90 Grad zwischen den Folien vor den Projektionslinsen und den Filtern in der Brille. Das hat zur Folge, dass die Kanaltrennung nicht mehr gegeben ist, und Geisterbilder auftreten [WikiRaumbildprojektion]. Ein weiterer Nachteil sind die schlechten Reflexionseigenschaften der Leinwand.

### 3.5 Shuttertechnik

Bei diesem Verfahren werden beide Halbbilder nacheinander projiziert. Möchte man also bei einer Anwendung gewährleisten, dass der Benutzer die projizierte Szene mit 30 Fps wahrnimmt, so muss die Anwendung doppelt so viel leisten (also 60 Fps). Für moderne Projektoren stellt dies auch kein Problem mehr dar. Über einen Infrarot-Signalgeber werden Steuerimpulse / Synchronisationsimpulse versendet, welche die Brillen der Betrachter steuern. Die Brillen (Shutter-Brille, Blendenbrille) sind mit LCD-Gläsern bestückt, welche sich immer wechselseitig abdunkeln (Synchronisiert über den Infrarotsignalgeber des Projektionssystems). Somit ist gewährleistet, dass das jeweilige Auge immer das dafür vorgesehene Halbbild erhält (siehe Abbildung 19). Im Gegensatz zum Polarisationsverfahren ist keine spezielle Leinwand von Nöten und die Neigung des Kopfes führt nicht zu Geisterbildern. Jedoch sind die Brillen wesentlich teurer. Weitere Vorteile des Verfahrens sind die hohe Farbtreue und die Möglichkeit an einem Computer-Monitor oder Fernsehgerät Stereoskopisch zu sehen [WikiRaumbildprojektion].

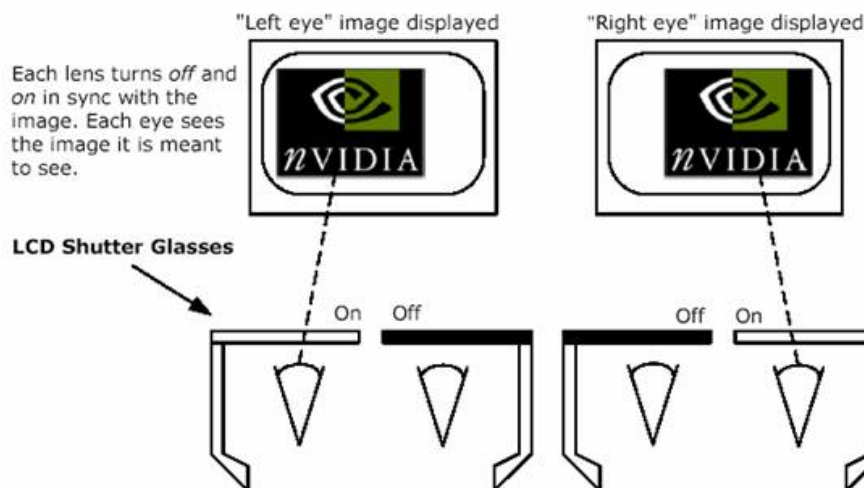


Abbildung 19 - Funktionsprinzip einer LCD-Shutter-Brille  
Quelle: [Nvidia]

### 3.6 KMQ

Hierbei handelt es sich um ein Verfahren das an der Universität Hohenheim entwickelt wurde. Die Bezeichnung KMQ ist auf die Nachnamen der Entwickler Dr. Christoph Koschnitzke, Rainer Mehnert und Dr. Peter Quick zurück zu führen. Bei diesem Verfahren sind die beiden Halbbilder, welche das stereoskopische Bild ergeben, übereinander angeordnet. Das Bild für das rechte Auge befindet sich oben, das Bild für das linke Auge unten (siehe Abbildung 20).

Den Stereoskopischen Eindruck erlangt man über ein spezielles Sichtgerät, das für jedes Auge über ein Prisma verfügt, welches die Sehstrahlen bzw. den Blick der Augen entsprechend umleitet [Perspektrum] [KMQ] Der Umgang mit dem Sichtgerät (angebracht im

Buchrücken) bedarf jedoch etwas Übung.

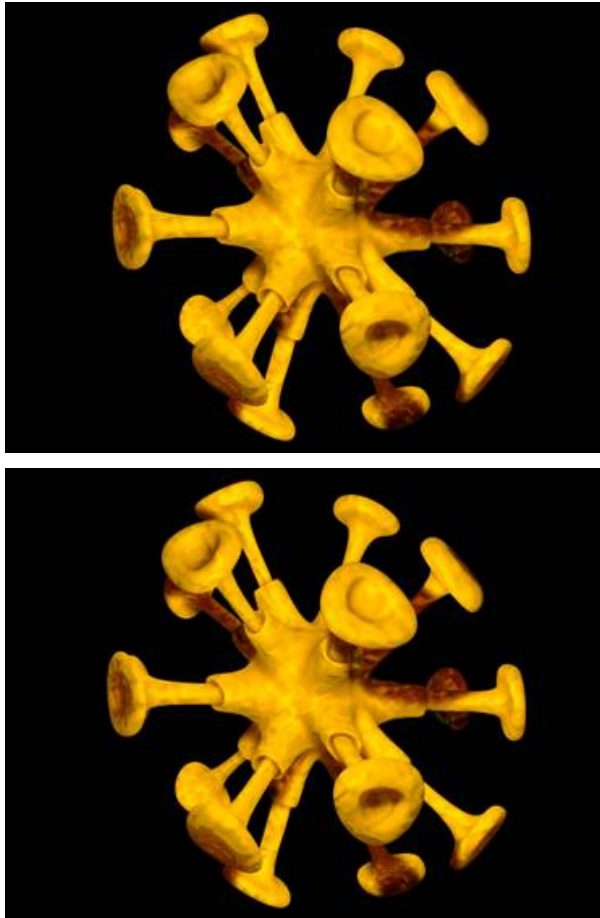


Abbildung 20 - KMQ Stereobild

Gebrauchsanweisung der Brille zur Betrachtung des Stereobildes:

- Setzen sie sich das Sichtgerät richtig herum (Schrift "KMQ" lesbar) auf die Nase.
- Halten sie sich die beiden Bilder direkt vor die Augen. Das Sichtgerät muss sich in der Mitte der beiden Bilder befinden und horizontal zu diesen ausgerichtet sein.
- Verändern sie jetzt den Abstand zwischen sich und den Bildern bis beide Halbbilder zur Deckung kommen.

Am häufigsten wird die KMQ-Technik für großformatige Drucke (Plakate, Fotos für Ausstellungen, etc.) verwendet.

## 4.0 Programmierkenntnisse

### 4.1 Stereoskopie mit OpenGL

```
Void SceneGeometry(){  
    //hier befindet sich die Geometrie der Szene (Tisch,  
    //Schachbrett, Figuren, etc.)  
    ...  
}
```

```
void RenderScene()  
{
```

```
    // Windowgroesse ermitteln  
    int winwidth = glutGet(GLUT_WINDOW_WIDTH);  
    int winheight = glutGet(GLUT_WINDOW_HEIGHT);  
    glMatrixMode (GL_PROJECTION);  
    glLoadIdentity();  
    gluPerspective(45.0f,(GLfloat)(winwidth/2.0f) / (GLfloat)winheight,0.1f, 300.0f);
```

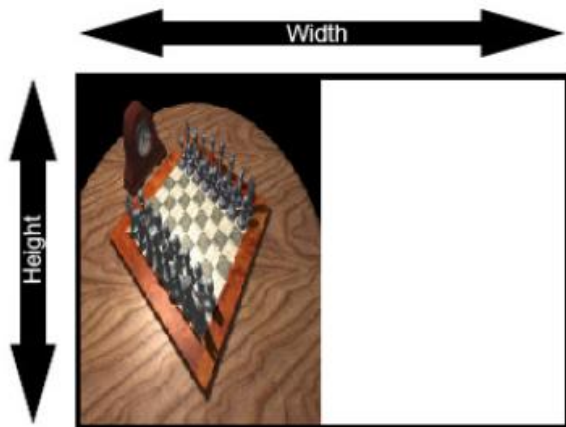
```
// Szene für das linke Auge rendern (linker Viewport)
// linke Hälfte des Fensters
glViewport (0, 0, winwidth/2,winheight);

// Matrix sichern (für das rechte Auge)
glPushMatrix();

// Kamera fuer linkes Auge verschieben
// auge_d ist der Augabstand
gluLookAt(-auge_d/2.0, 0.0, 1.0, -auge_d/2.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0);
glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();

// Framebuffer,Depthbuffer löschen
glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

// Aufrufen der Szenen Geometrie
Geometry();
```

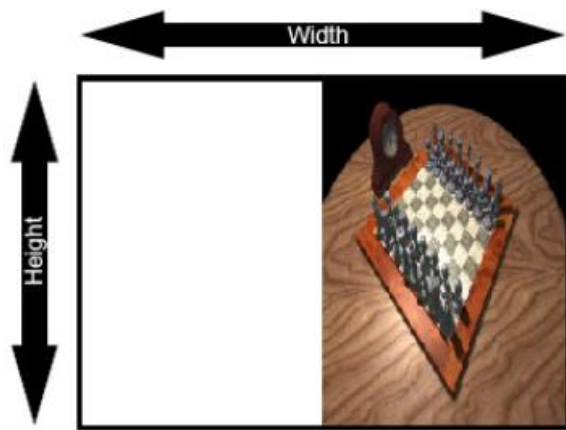


```
// Szene für das rechte Auge rendern (rechter Viewport)
glViewport (winwidth/2, 0, winwidth/2, winheight);
glMatrixMode (GL_PROJECTION);

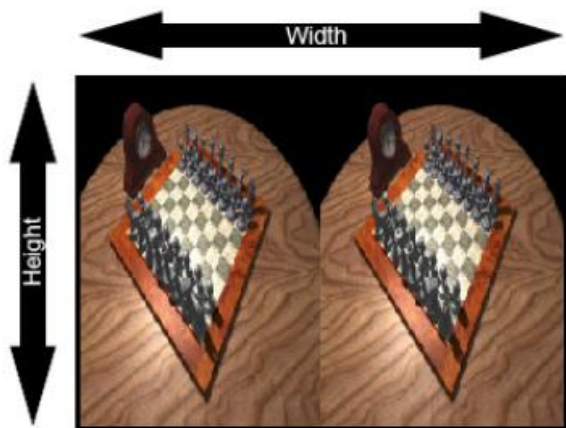
// WICHTIG:
// Kein glClear aufrufen da sonst die linke Szene
// verloren geht
// Matrix vom Stack holen
glPopMatrix();

// Kamera für das rechte Auge verschieben
gluLookAt(auge_d/2.0, 0.0, 1.0, auge_d/2.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0);
glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();

// Aufrufen der Szenen Geometrie
Geometry();
```



```
// Szene für linkes und rechtes Auge rendern  
glutSwapBuffers ();
```



```
}
```

#### 4.2 Stereoskopie mit DirectX

```
device->BeginScene();  
device->Clear(0,0,D3DCLEAR_TARGET | D3DCLEAR_ZBUFFER, D3DCOLOR_ARGB(0,0,0,0), 1.0f, 0));
```

```
// Projektion  
D3DXMatrixPerspectiveFovLH(&projection, ((90.0/180.0) * M_PI), 1.0f, 0.0f, 500.0f);  
device->SetTransform(D3DTS_PROJECTION, &projection);
```

```
// kamera richtung bestimmen  
dir = lookAt - position;  
D3DXVec3Normalize(&dir, &dir);
```

```
// vektor zwischen linkem und rechtem auge  
D3DXVec3Cross(&disparityDir, &up, &dir);  
D3DXVec3Normalize(&disparityDir, &disparityDir);
```

```
// view linkes auge  
posLeft = position + (disparityDir * seperation);  
lookLeft = posLeft + dir + (disparityDir * paralaxe);  
D3DXMatrixLookAtLH(&left, &posLeft, &lookLeft, &up);  
device->SetTransform(D3DTS_VIEW, &left);
```

```
// linker rendering bereich festlegen  
D3DVIEWPORT9 leftView={0, 0, Width/2, Height, 0, 1};  
device->SetViewport(leftView);
```

```
// rendering  
for(vector<Object*>::iterator iter = list.begin(); iter != list.end(); iter++)  
(*iter)->draw;
```

```
// view rechtes auge  
posRight = position - (disparityDir * seperation);  
lookRight = posRight + dir - (disparityDir * paralaxe);  
D3DXMatrixLookAtLH(&right, &posRight, &lookRight, &up);
```

```
device->SetTransform(D3DTS_VIEW, &right);

// rechter rendering bereich festlegen
D3DVIEWPORT9 rightView={Width/2, 0, Width/2, Height, 0, 1};
device->SetViewport(rightView);

// rendering
for(vector<Object*>::iterator iter = list.begin(); iter != list.end(); iter++)
(*iter)->draw;
device ->EndScene();
device->Present( NULL, NULL, NULL, NULL );
```

## 4.3 Stereoskopie mit OGRE3D

## 4.4 Stereoskopie mit Anaglyphen

## 5.0 Referenzen

[HERBIG]  
[WikiStereo]  
[WikiAnaglyph]  
[Stereo]  
[PgKg]  
[WikiPolarisation]  
[DrevenRöder]  
[Infitec]  
[Barco]  
[WikiRaumbildprojektion]  
[Farbimp]  
[3dttv]  
[Almeida]  
[Nvidia]  
[WikiAutoStereo]  
[Kemner]  
[RealD]  
[HHA99]  
[Perspektrum]  
[KMQ]  
[Börner]  
[Anaglyph]