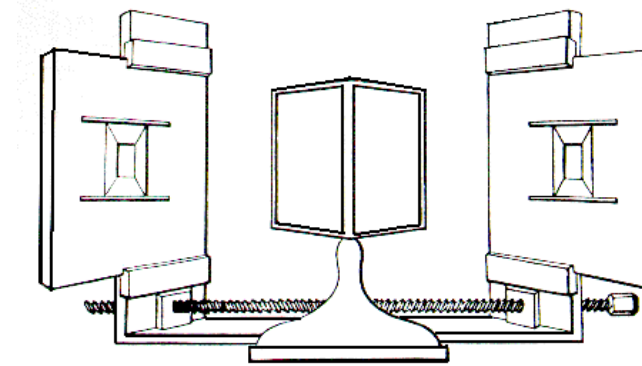




Geschichte der Stereo-Bilder

- Euklid (4. Jh. v. Chr.)
- Sir Charles Wheatstone (1838)
- 1860: 1 Million Stereoskope verkauft
- 1950er:





Wie projiziert man Stereo mit *einer* Display-Fläche?

- Benötigt eine Art *Multiplexing*

1. Zeitliches Multiplexing ("aktives Stereo"):

- Typ. 1 Projektor (z.B. Monitor)
- Abwechselnd links/rechts projizieren/rendern
- Synchron dazu linkes/rechtes Auge durchlassen (*shutter glasses*)
- Shutter-Glasses laufen mit 120 Hz → 60 Hz Framerate



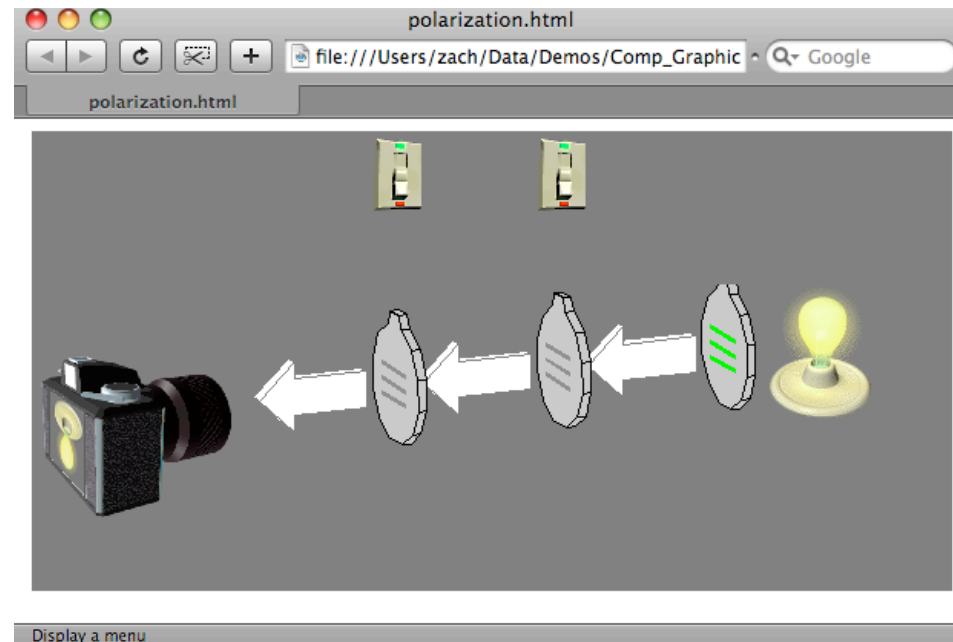
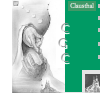
2. Multiplexing per Polarisation ("passives Stereo"):

- 2 Projektoren auf dieselbe Fläche
- Gleichzeitig projizieren mit unterschiedlicher Polarisation des Lichtes
- Polarisationsbrille lässt richtiges Bild links/rechts durch





Demo



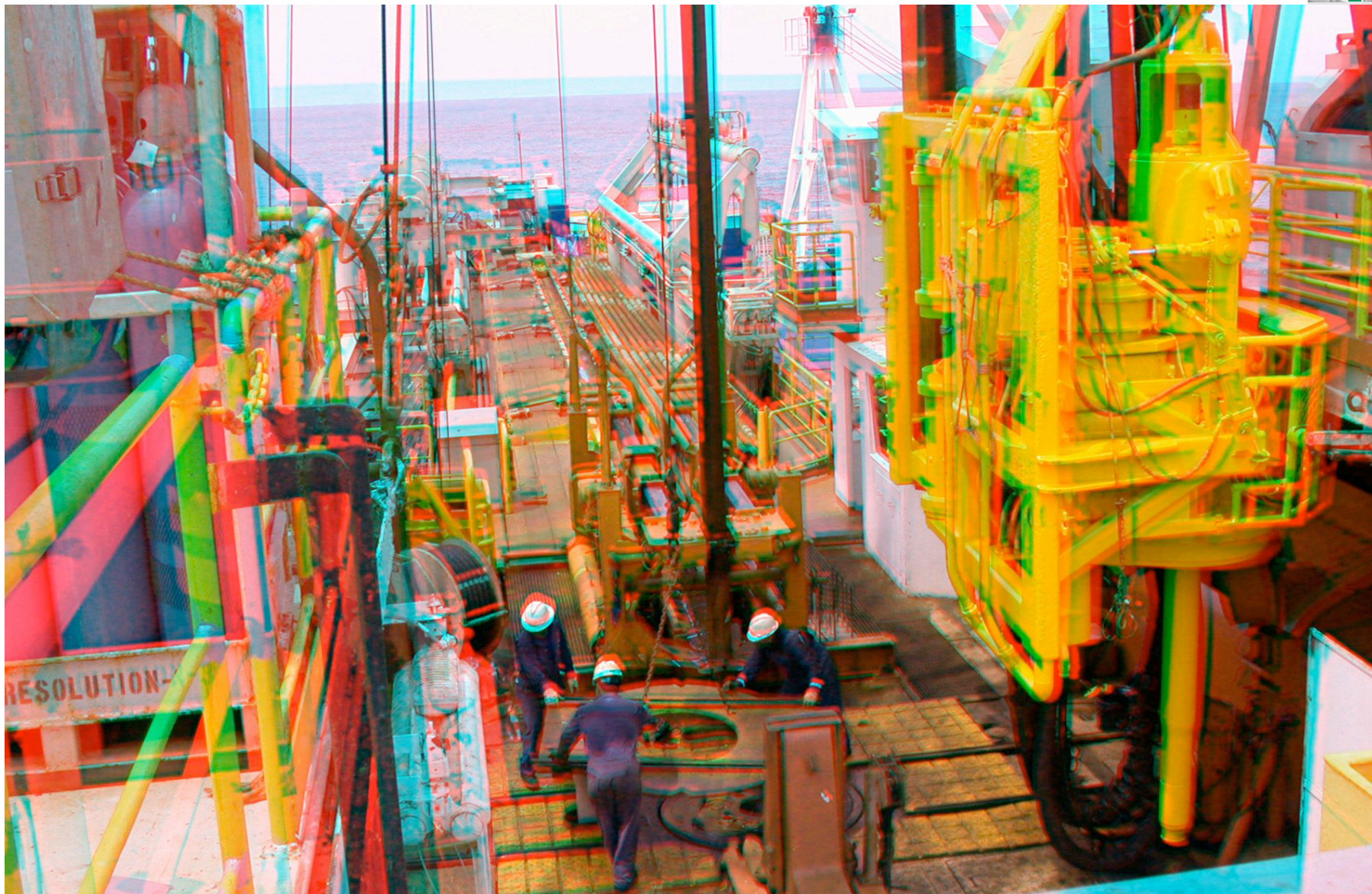
<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/polarization.html>



"Farb-Multiplexing"

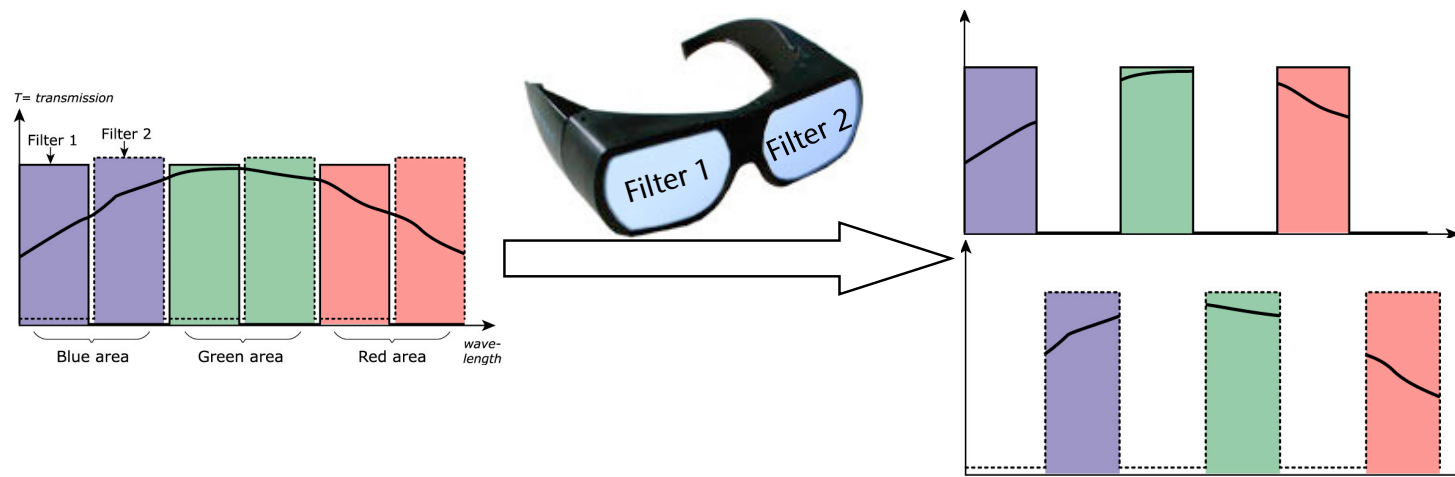
- Einfache Version: *Anaglyphes Stereo* (Rot-Grün-Stereo)







- Verallgemeinerung ("*Infitec*"):
 - Jede Farbe durch einen engen Farbkanal (Bandpaß)
 - Jeder User bekommt Brille mit verschobenen Filtern



- Problem:
 - Farbtreue



Stereo für mehrere Benutzer

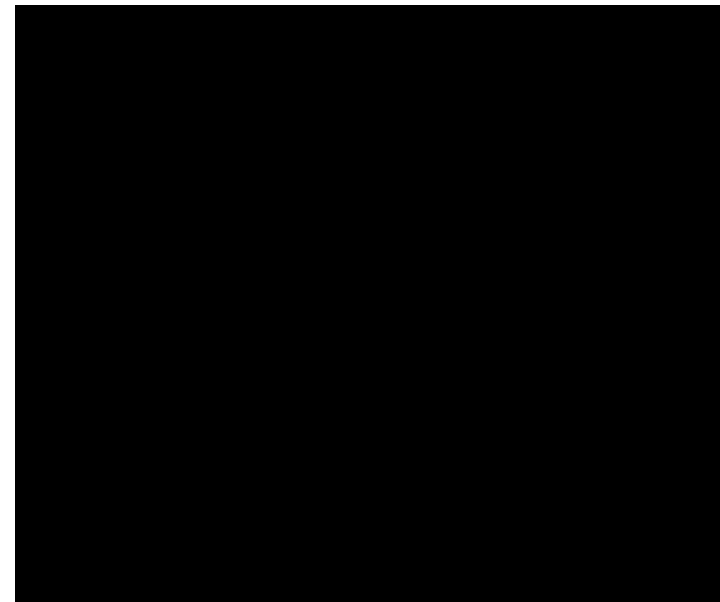
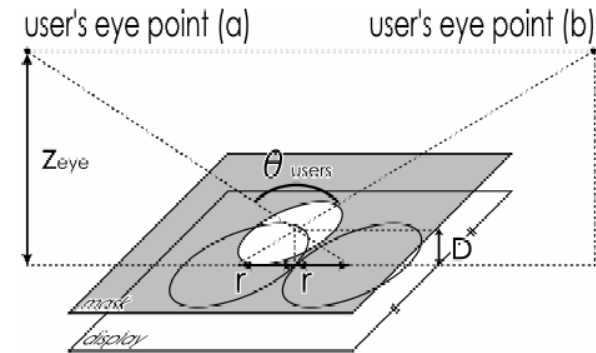
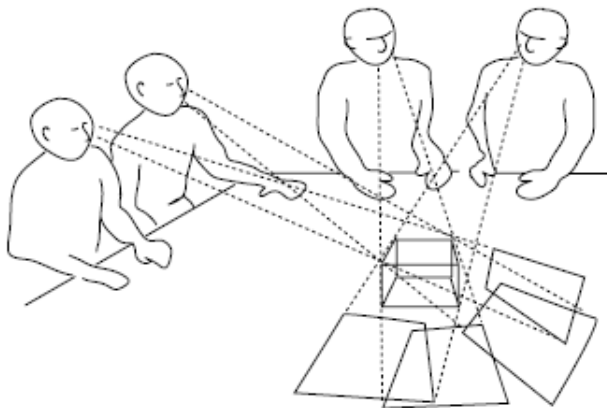
- Bislang nicht zufriedenstellend gelöst!
- Zeit-multiplexed:
 - Frame-Rate für multi-user stereo = $\text{Frame-Rate für Mono} / 2 \cdot \#\text{User}$
- Infitec für mehrere User:
 - Jeder User bekommt Brille mit verschobenen Filtern
 - Bei n Usern braucht man also $2n$ verschiedene Filter
- Räumlich multiplexed





Räumliches Multiplexing

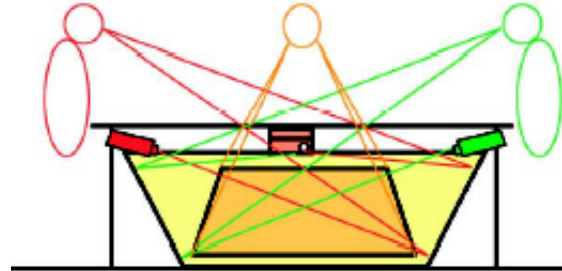
- Proj.fläche ist aufgeteilt unter Usern
- Kopplung zwischen
 - Größe des *View-Frustums*
 - Bewegungsspielraum des Users
 - D & Lochgröße
- Beispiele:
 - *Illusion Hole*



IllusionHole @ Siggraph 2001



- Weitere Beispiele:
 - Fakespace's Pyramide
 - Fraunhofer's "*virtual showcase*"



Fakespace



Oliver Bimber



Zeitliches Multiplexing

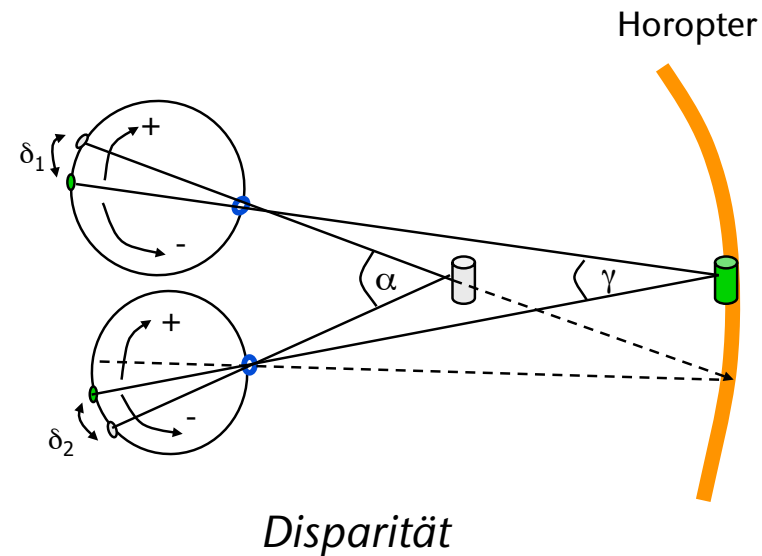
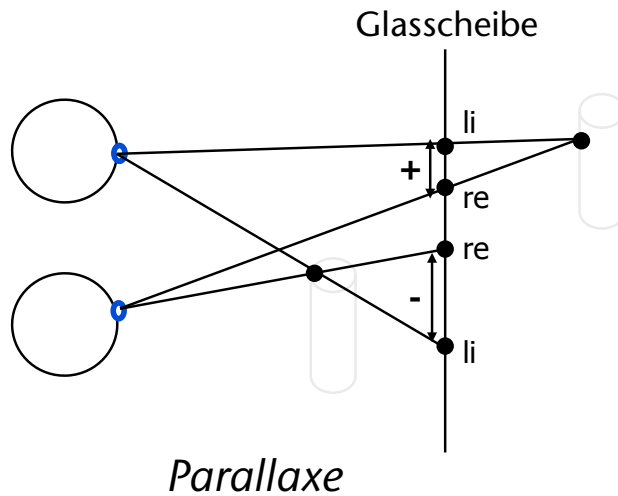
- Für 1 Person: Shutter-Glasses laufen mit 120 Hz
→ 60 Hz Framerate
- Für 2 Personen: Shutter-Glasses mit 180 Hz → 45 Hz Framerate





Stereo-Sehen

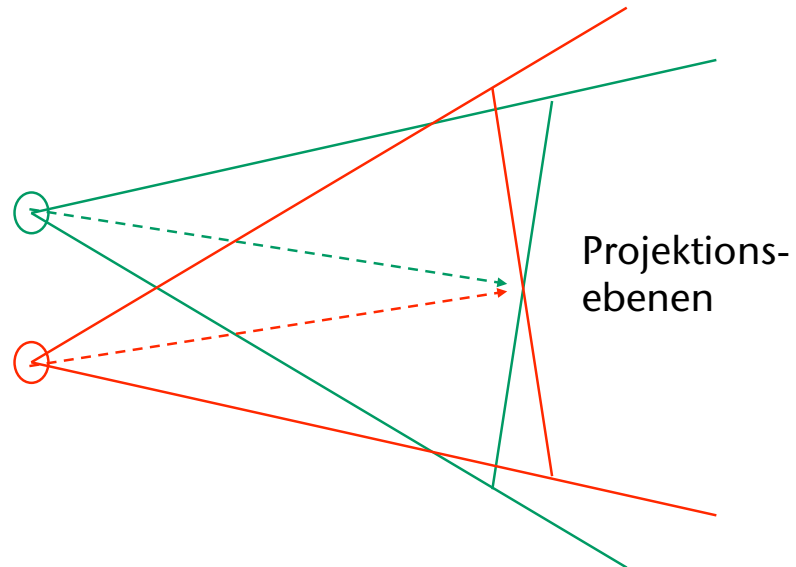
- Wichtiger "*depth cue*" (nicht der wichtigste)
- Nur bis einige Meter Entfernung
- Disparität im Auge = $\delta_2 - \delta_1 = \gamma - \alpha$
- Horopter = Punkte mit gleicher Tiefe wie fokussiertes Objekt = 0-Disparität
- Parallaxe auf dem Bildschirm:





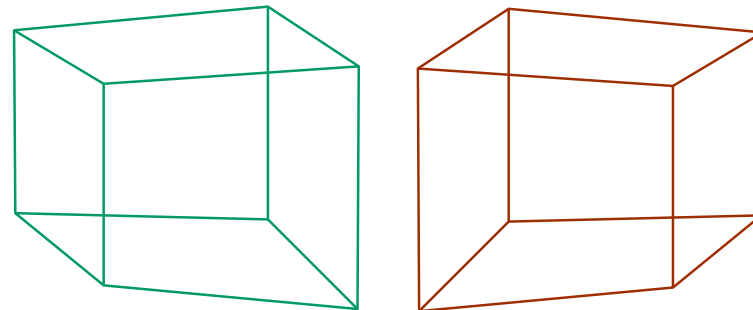
Projektion

- Falsch: konvergierende Hauptsehstrahlen



- Problem: vertikale Parallaxe

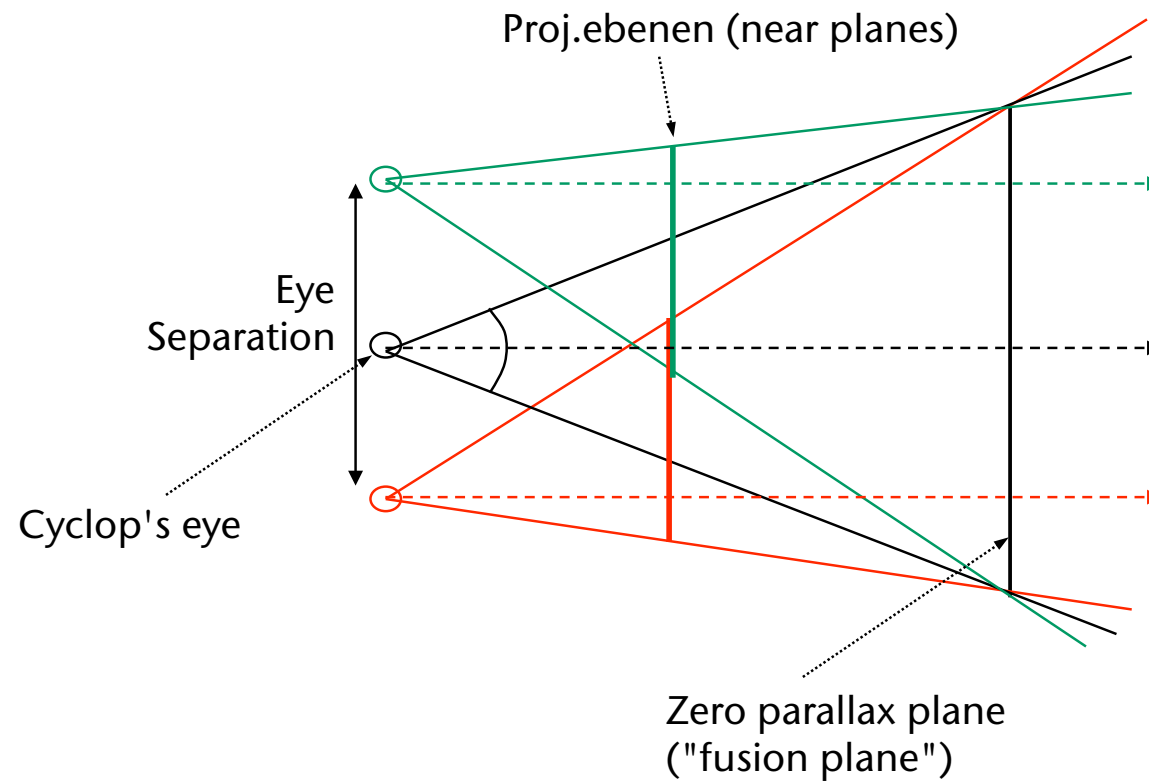
Heads-up text
Heads-up text





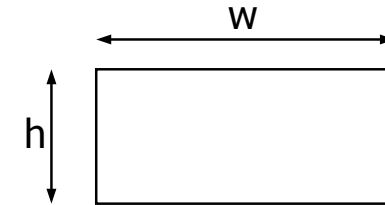
Stereoscopic Projection

- Richtig: parallele Hauptsehstrahlen
→ *off-axis perspective projection*





- Gegeben i , aspect ratio w/h , horizontaler FOV α , near n , zero-parallax depth z_0
- Bestimme *left/right/top/bottom* für `glFrustum()`
- Annahme: kein Head-Tracking, d.h.,
Zyklopen-Auge befindet sich über der Mitte der Zero-Parallax-Plane



- *top* und *bottom* wie gehabt:

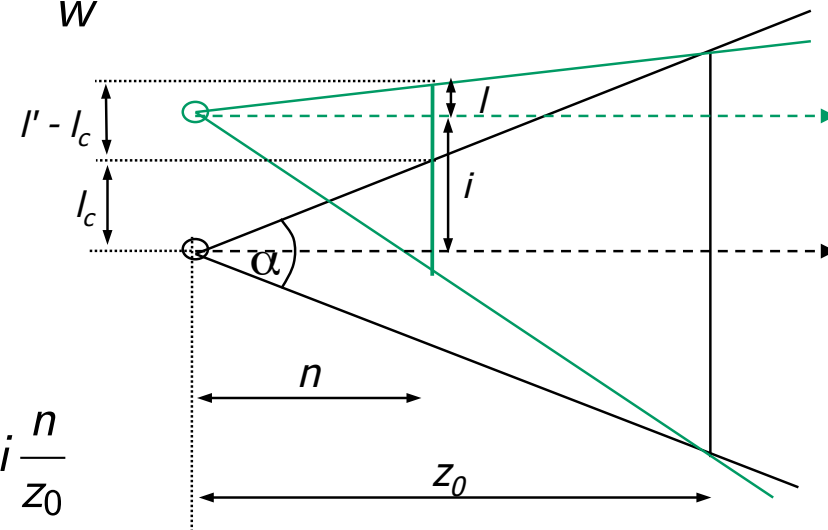
$$t = \frac{h}{w} l$$

- *left* am Beispiel linkes Auge:

$$l_c = n \tan \frac{\alpha}{2}$$

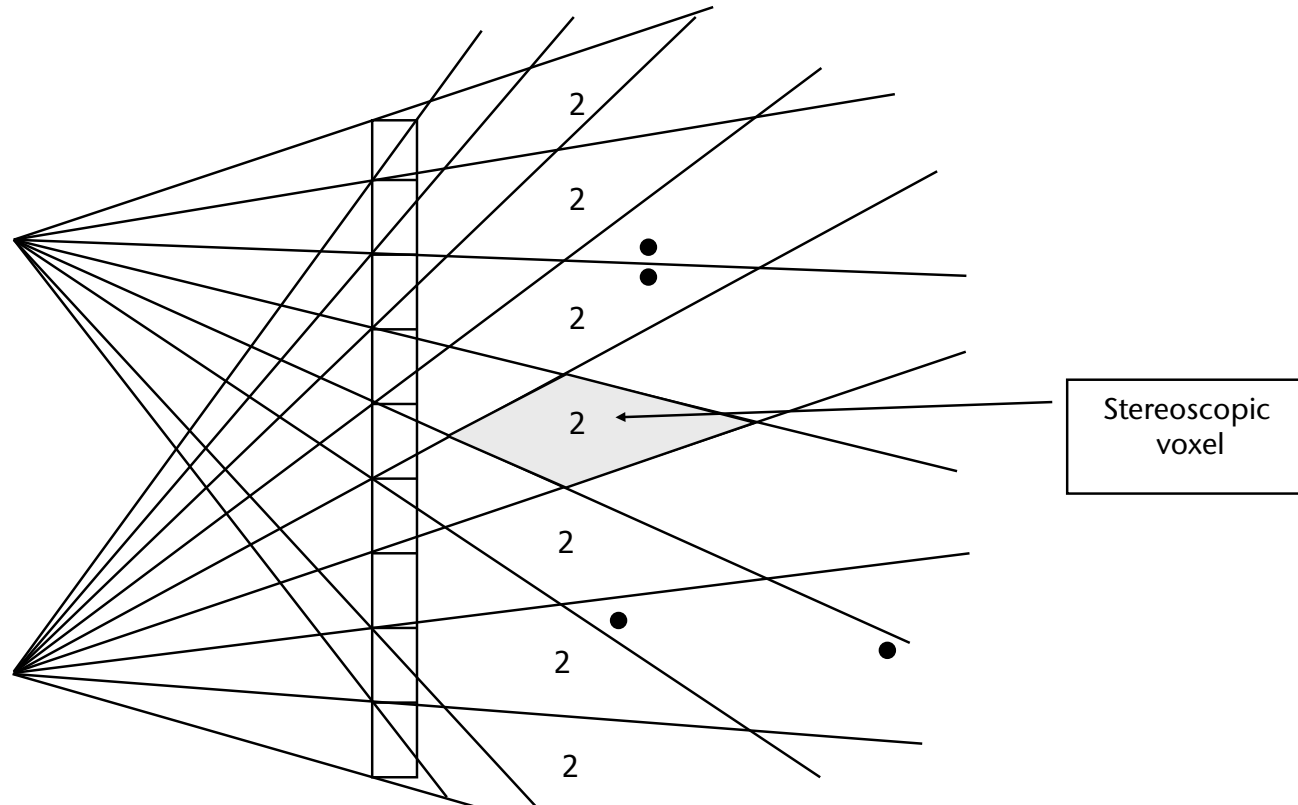
$$l' - l_c = i \frac{z_0 - n}{z_0}$$

$$l = l_c + (l' - l_c) - i = l_c - i \frac{n}{z_0}$$





Probleme des Stereo-Renderings: Depth aliasing

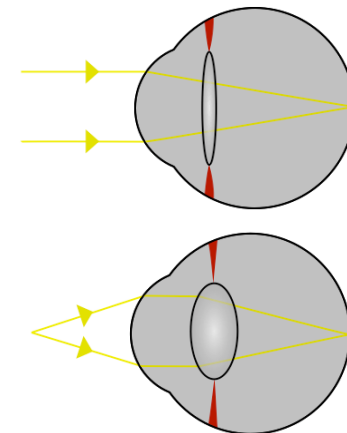
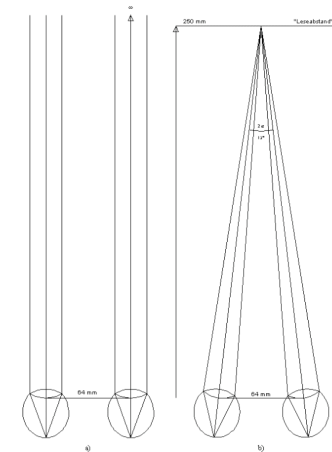


- Selbst wenn z-Buffer kontinuierlich wäre, gäbe es diesen Effekt!



Exkurs: Akkomodation und Konvergenz

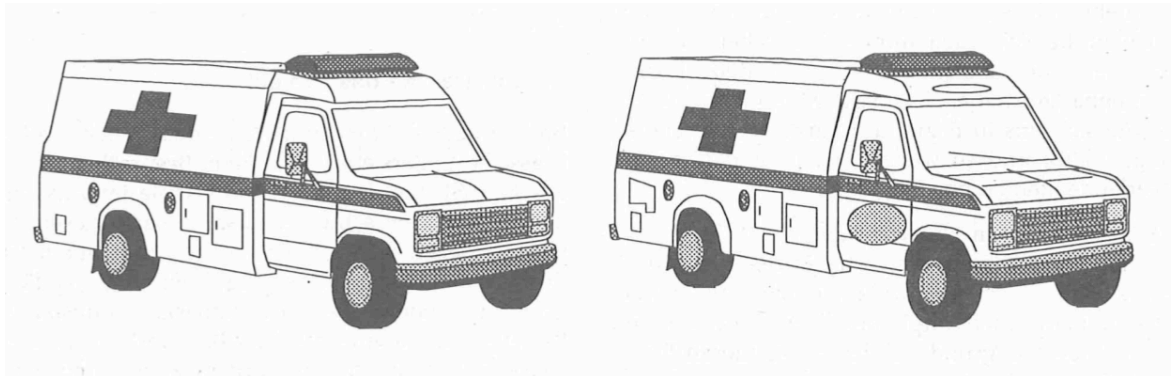
- Zwei wichtige Begriffe, die leicht verwechselt werden
- **Konvergenz** = gegensinnige Augenbewegung (um die Hochachse), so daß die Mittelachsen der Augen sich schneiden
 - damit ein bestimmtes Objekt (**Fixationspunkt**) auf den am höchsten aufgelösten Teil der Netzhaut abgebildet wird
- **Akkomodation** = Anpassung des Auges (der Linse) an verschiedene Distanzen
 - damit das gerade betrachtete Objekt (**Fixationspunkt**) scharf auf der Netzhaut abgebildet wird
 - (Ich sage oft auch **Fokussierung** hierzu, wg. Linse)





Experiment

- Folgendes Bild sieht man dreidimensional, wenn man Akkomodation und Konvergenz entkoppelt:





- "Magic Eye"-Bilder sind eine "Verklausulierung" dieses Effektes (werden speziell konstruiert):

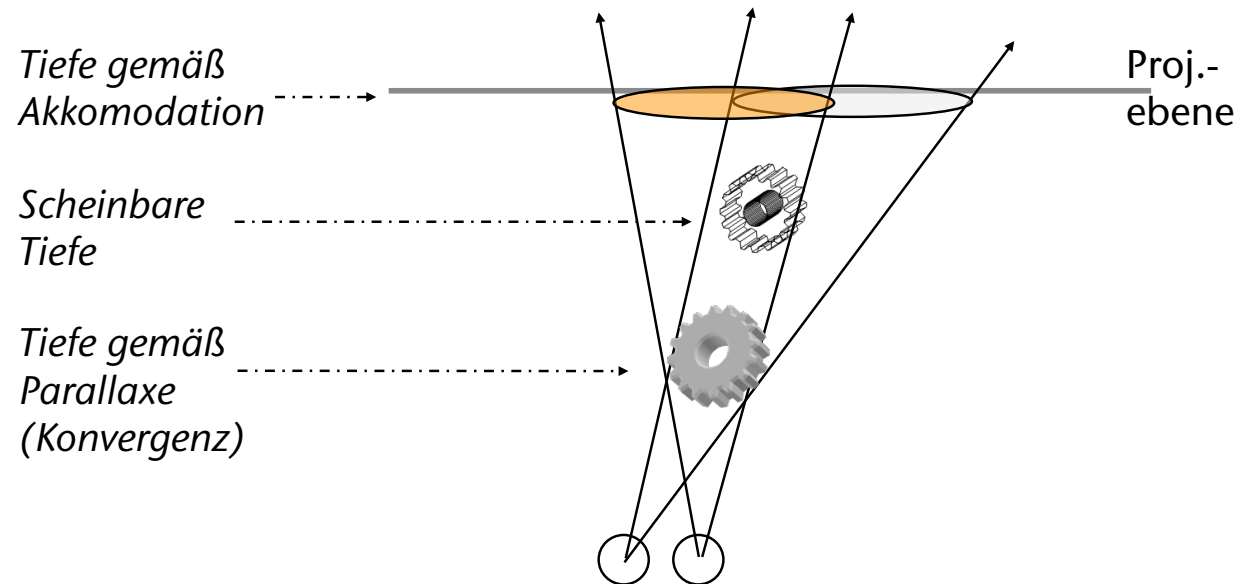


"Tiefenbild" dazu



Stereo ist nur die "halbe Miete" für echtes 3D!

- Effekt: in der Cave an der Powerwall erscheinen nahe Objekte zu weit entfernt
- Meine Hypothese:

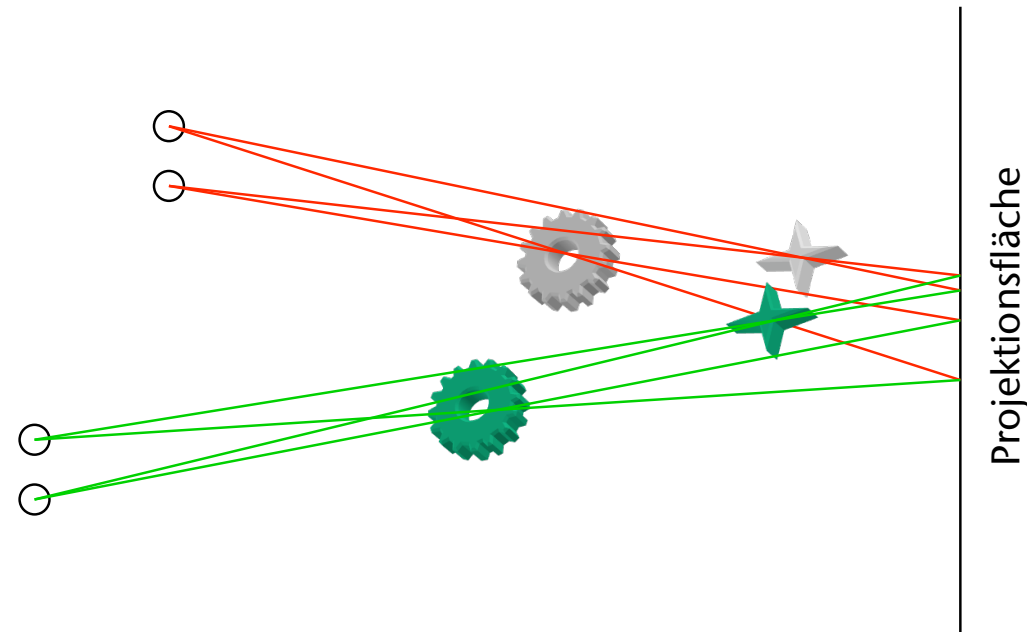


- Lösung: holographisches oder volumetrisches Display



Stereo is a "one man show"

- Warum stimmt ein gerendertes Stereo-Bild nur für 1 Standpunkt?



- Lösungen:
 - Für 2 Betrachter: 4 Bilder rendern
 - Holographische/Volumetrische Displays

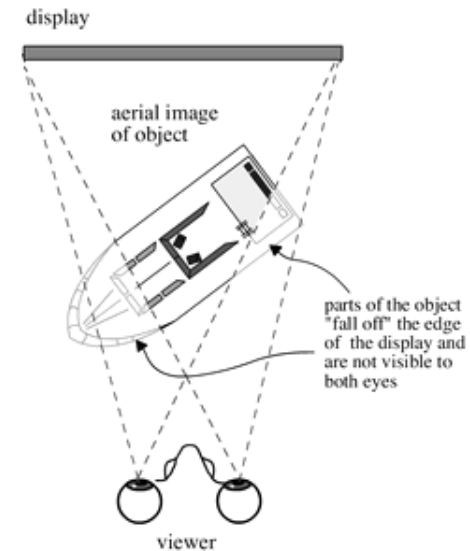
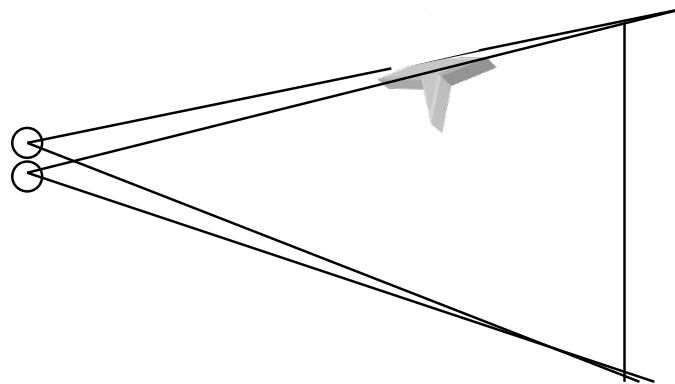


Stereo Violation

- 2 Effekte (treten immer zusammen auf):

- *Clipping*

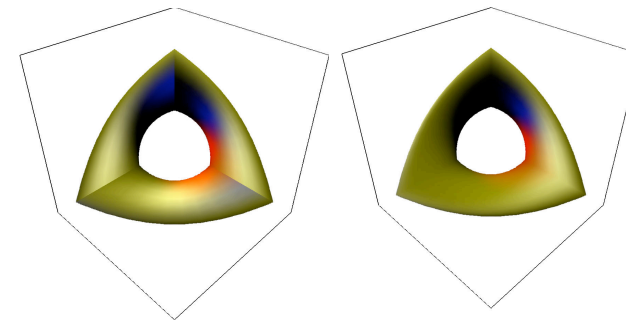
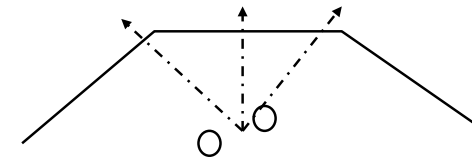
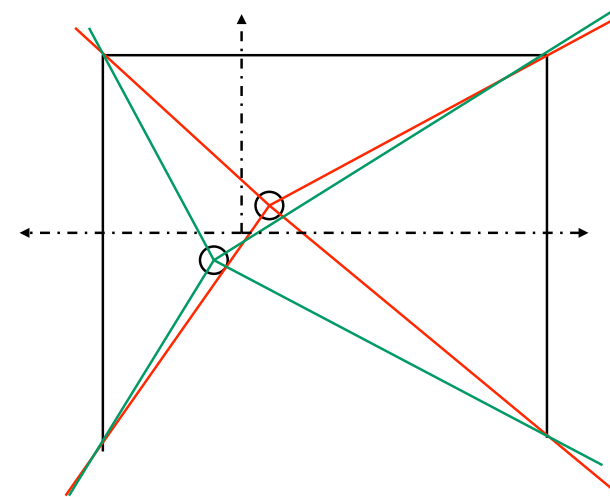
- Widersprechende *depth cues*:
Obj wird geclippt, obwohl vor dem Rand
des Windows





Rendering auf mehrere Wände

- Repräsentiere reale Proj.flächen durch Polygone in der virt. Umgebung
- Rotiere Pgon u. Viewpoint so, dass senkrecht zur z-Achse
- Bestimme left/right/top/bottom, weiter wie bisher
- Achtung bei *Viewing-Transformation*. Macht man es exakt wie bei Single-Wall:
 - spekulare Beleuchtung hat Knicke
 - Generierte Texturkoord. unstetig





Das Kopfmodell

M_e = Viewpoint-Trafo

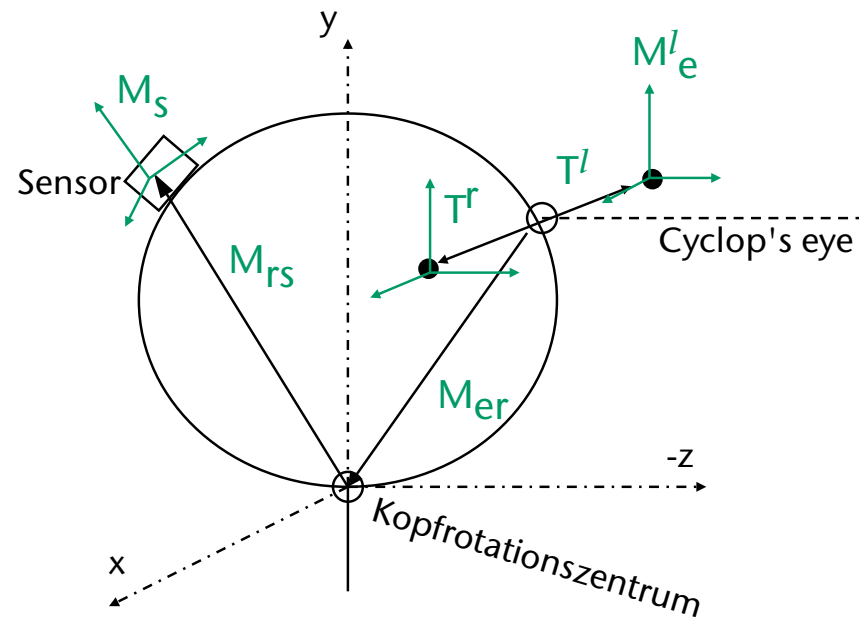
M_s = aktuelle Sensormessung, rel. zu Kalibrierung

M_{rs} = Trafo vom Kopfrotationszentrum zum Sensor

M_{er} = Trafo vom "Zyklopenauge" zum Kopfrotationszentrum

$T^l | T^r$ = Translation zum linken|rechten Auge

$$M_e = T_{l|r} M_{er} M_{rs} M_s$$





- Problem: "*infinite viewer*"

bei spekularem Anteil

$$specular : (s \cdot n)^{shiny}, s = \overline{VL} + (0, 0, 1)$$

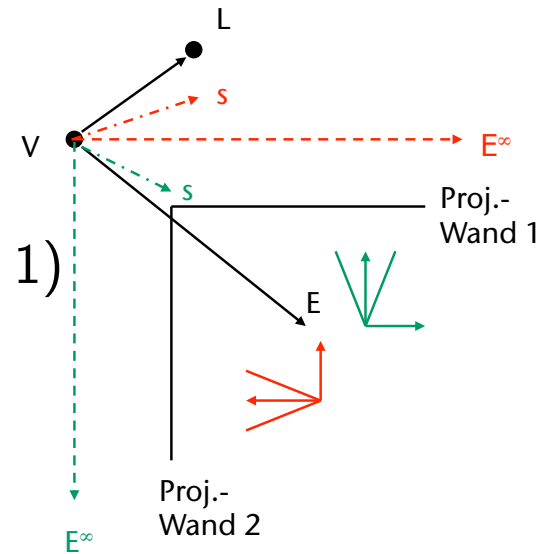
- Lösung:

1. "*Local viewer*" setzen, damit ist

$$s = \overline{VL} + \overline{VE}$$

2. Oder, Rotationsmatrix für Wand auf PROJECTION-Stack multiplizieren, nicht auf MODELVIEW

$$V_{screen} = M_{viewpoint} \underbrace{M_{proj} R_{wall}}_{GL_PROJECTION} \underbrace{M_{viewpoint} M_{world}}_{GL_MODELVIEW} V_{object}$$





Relevante GL(UT)-Befehle

- **Init:**

```
glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB | GLUT_DEPTH |  
GLUT_STEREO);
```

- **Rendern:**

```
glDrawBuffer(GL_BACK_LEFT);  
glClear(..)  
glFrustum(...)  
traverse scene graph ..  
glDrawBuffer(GL_BACK_RIGHT);  
glClear(..)  
glFrustum(...)  
traverse scene graph ..
```

- **Oder: in 2 verschiedene Pipes rendern**

- **Oder: Panorama-Mode (2 Viewports in einem großen Window)**



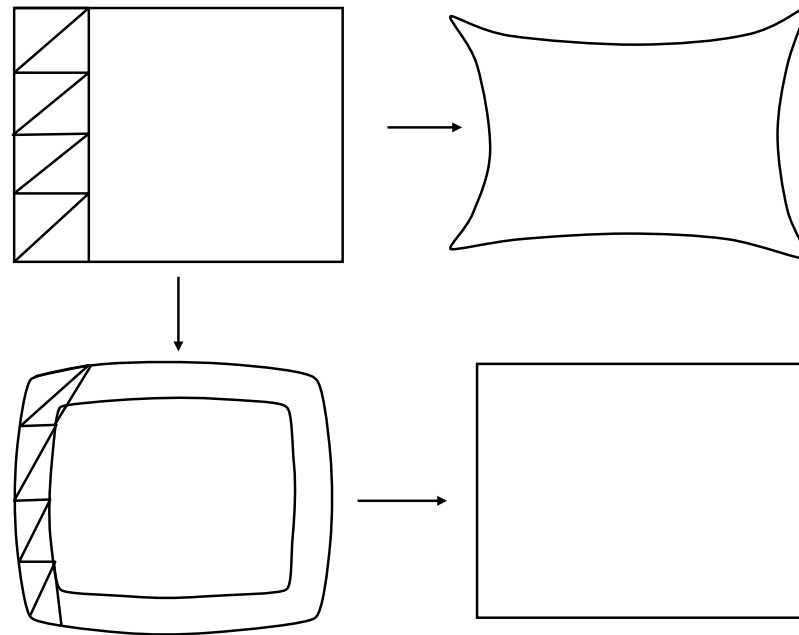
Guidelines für Stereo-Rendering

1. Parallaxe nicht zu groß!
 $\pm 1.6^\circ \sim \text{Parallaxe} \leq 0.03 \cdot \text{Entfernung Proj.wand}$
2. Einzelnes Objekt \rightarrow lege ZPP durch dessen Mittelpunkt
3. Ganze Szene \rightarrow 1/3 negative Parallaxe, 2/3 positive Parallaxe
4. Halte Objekte mit negativer Parallaxe möglichst in der Mitte



Entzerrung des Displays

- Optik verzerrt manchmal
- Idee: Vorverzerrung mit Textur





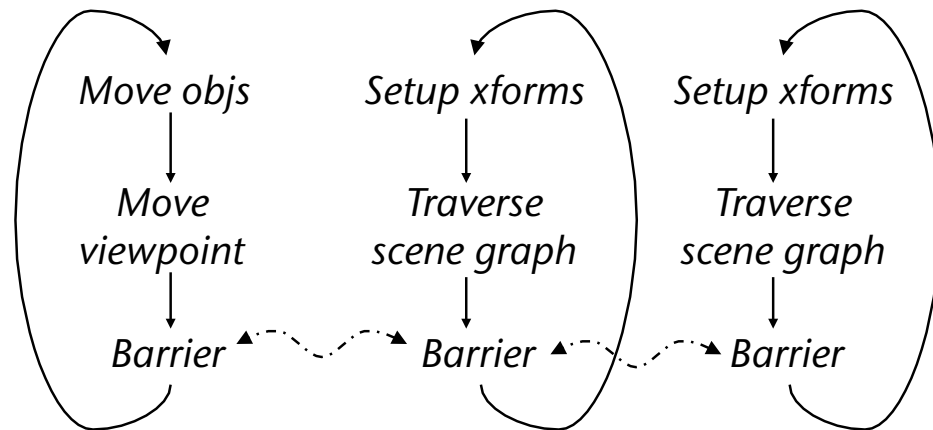
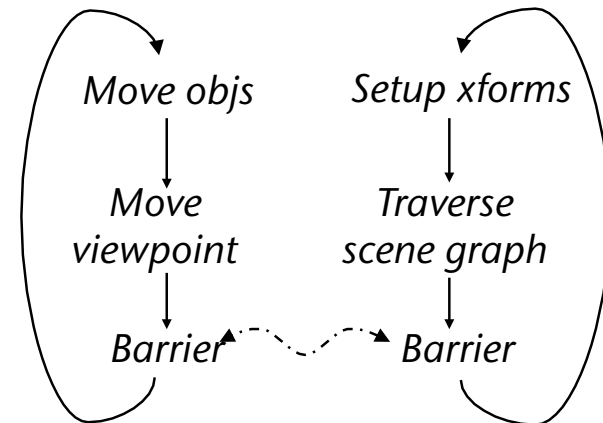
Offene Fragen

- Welcher Fehler entsteht durch die Annahme, daß Augen um Linsenmitte rotieren, und daß Augen perfekte Kugeln sind?
- Untersuchung der falschen Tiefenwahrnehmung (Dipl.arbeit!)
- ...



System-Übersicht: die Rendering-Loop

- 1 Prozessor → alles seriell
- 2 Prozessoren → App und Renderer parallel
- Stereo → 2 Render-Prozesse (3 Proc)
- Allg.: n Wände in Stereo →
 - Wenigstens $n+1$ Prozessoren,
 n Render-Prozesse
 - Besser $2n+1$ Prozessoren





Crosstalk (Ghosting)

- Wenn ein Auge (auch) das Bild sieht, das für das andere Auge bestimmt ist
 - Je nach Technologie mehr oder weniger vorhanden
- Papers von Bernd Froehlich und Robert van Liere!





Simulator Sickness



- Folgende Symptome treten manchmal bei längerem Verweilen in einem Flugsimulator / virtuellen Umgebung auf:
 - Seekrankheit, Augenschmerzen, verschwommene Sicht, Kopfweg, Schwindel, Ermüdung
- Ursache nicht sicher geklärt
- Häufigste Hypothese: nicht exakte Übereinstimmung zwischen visueller Wahrnehmung und Gleichgewichtsorgan
 - Bei längerem Aufenthalt auf einem Schiff unter Deck
 - Verzögerung der Bewegungen der Plattform im Flugsimulator
- Häufigkeit: 20-40% bei Kampfpiloten
- Weitere Beobachtungen:
 - Häufiger bei erfahrenen Piloten als unerfahrenen [sic]
 - In a rotating field when walking forward, people tilt their heads and feel like they are rotating in the opposite direction
 - If a person is walking on a treadmill holding onto a stationary bar and you change the rate the visuals are passing by, it will feel to the person like the bar is pushing or pulling on their hands