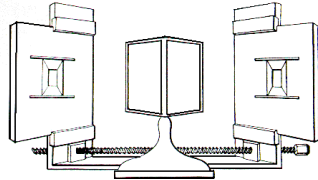




Geschichte der Stereo-Bilder

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 27

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

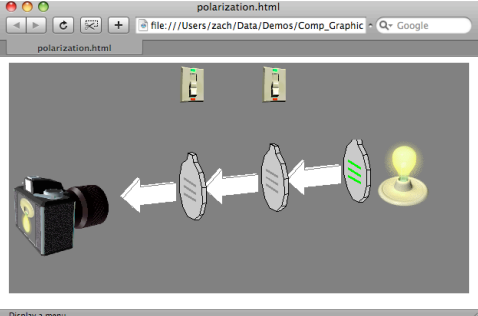
- Benötigt eine Art *Multiplexing*

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




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 28

Demo

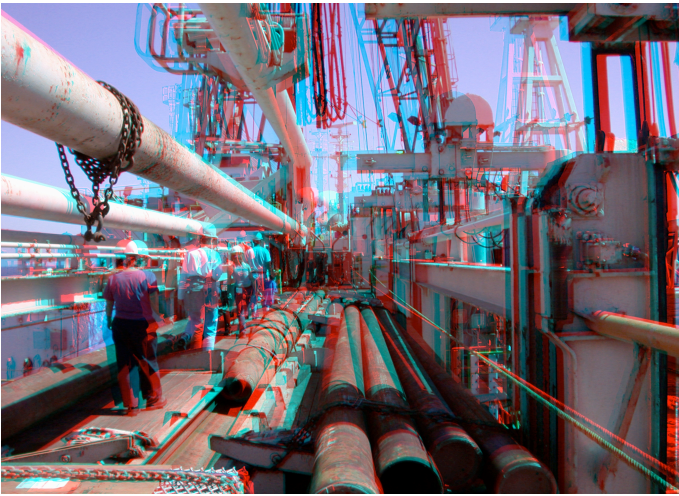


<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/polarization.html>

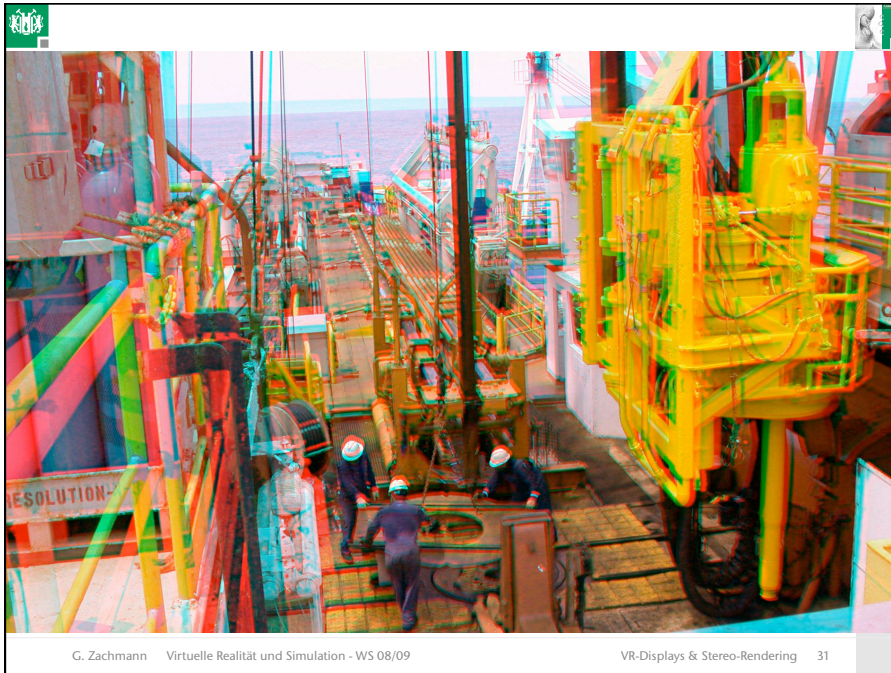
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 29

"Farb-Multiplexing"

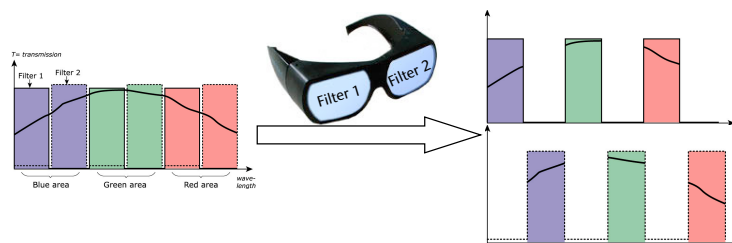
- Einfache Version: *Anaglyphes Stereo* (Rot-Grün-Stereo)



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 30



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



- Problem:
 - Farbtreue

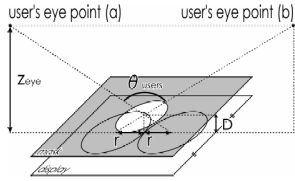
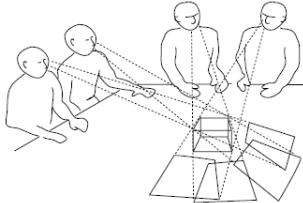
Stereo für mehrere Benutzer

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 33

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 34

■ Weitere Beispiele:

- Fakespace's Pyramide
- Fraunhofer's "*virtual showcase*"



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 35

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 36

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:

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 38

Projektion

- Falsch: konvergierende Hauptsehstrahlen

- Problem: vertikale Parallaxe

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 39

Stereoscopic Projection

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

Proj.ebenen (near planes)

Eye Separation

Cyclop's eye

Zero parallax plane ("fusion plane")

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 40

- 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:

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

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

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

w

h

n

z_0

$l' - l_c$

l_c

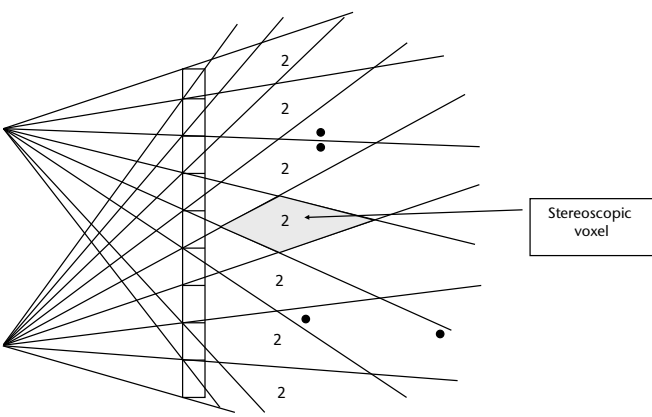
l

i

α

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 41

Probleme des Stereo-Renderings: Depth aliasing

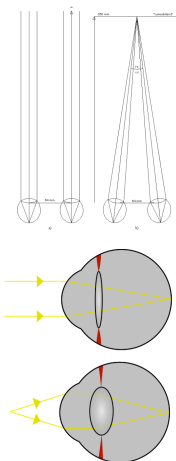


- Selbst wenn z-Buffer kontinuierlich wäre, gäbe es diesen Effekt!

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 42

Exkurs: Akkomodation und Konvergenz

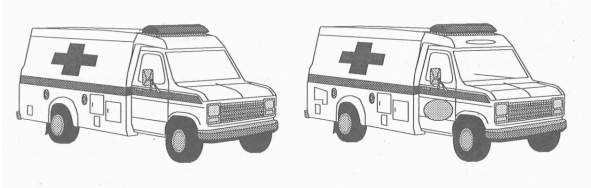
- Zwei wichtige Begriffe, die leicht verwechselt werden
- **Konvergenz** = gegensinnige Augenbewegung (um die Hochachse), so daß die Mittelachsen der Augen sich schneiden
 - damit ein bestimmtes Objekt (**Fixationspunkt**) auf den am höchsten aufgelösten Teil der Netzhaut abgebildet wird
- **Akkomodation** = 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)



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 43



Experiment

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



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 44

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



"Tiefenbild" dazu

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 45

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 46

Stereo is a "one man show"

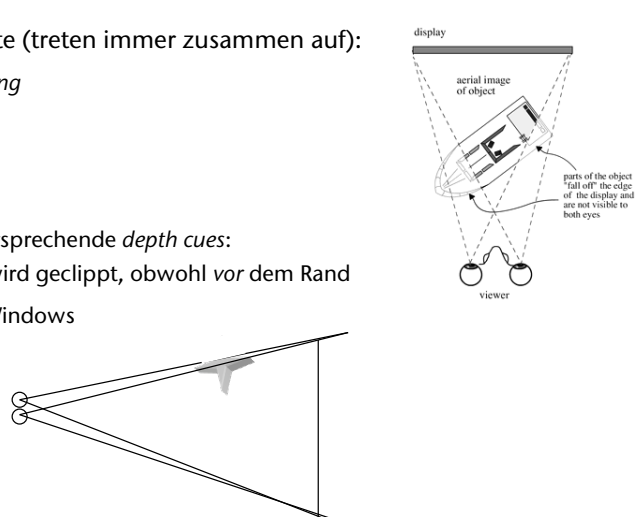
- Warum stimmt ein gerendertes Stereo-Bild nur für 1 Standpunkt?

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 47

Stereo Violation

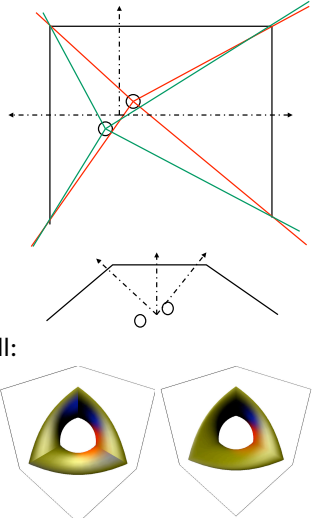
- 2 Effekte (treten immer zusammen auf):
 - Clipping
 - Widersprechende *depth cues*:
Obj wird geclipt, obwohl vor dem Rand des Windows



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 48

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



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 49

Das Kopfmodell

- M_e = Viewpoint-Trafo
- M_s = aktuelle Sensormessung, rel. zu Kalibrierung
- M_{rs} = Trafo vom Kopfrotationszentrum zum Sensor
- M_{er} = Trafo vom "Zyklopeauge" zum Kopfrotationszentrum
- $T^l | T^r$ = Translation zum linken|rechten Auge

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 50

- 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

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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 51

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)**

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 52

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 → lege ZPP durch dessen Mittelpunkt
3. Ganze Szene → 1/3 negative Parallaxe, 2/3 positive Parallaxe
4. Halte Objekte mit negativer Parallaxe möglichst in der Mitte

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 53

Entzerrung des Displays

- Optik verzerrt manchmal
- Idee: Vorverzerrung mit Textur

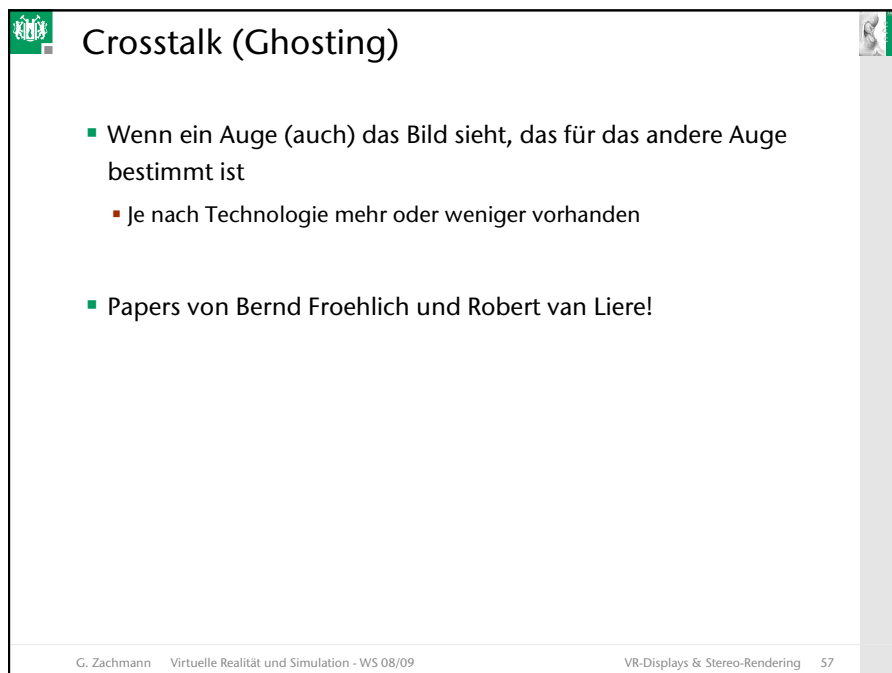
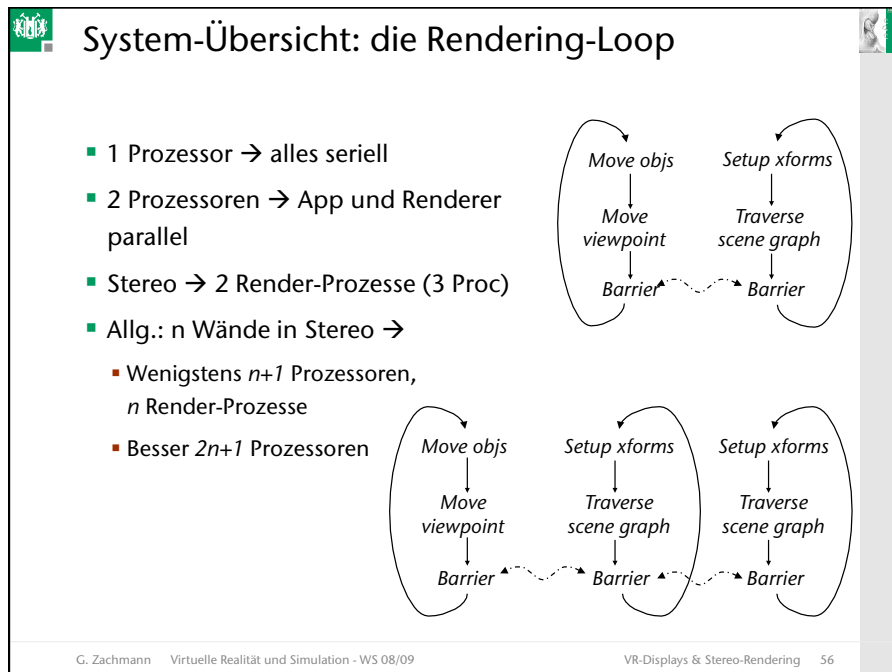
The diagram illustrates the concept of pre-distortion with texture for display correction. It is divided into two rows. The top row shows a square with a textured left edge (diagonal lines) being transformed into a distorted, hourglass-like shape. The bottom row shows a square with a textured left edge being transformed into a standard square.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 54

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!)
- ...

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 55



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

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation - WS 08/09 VR-Displays & Stereo-Rendering 58