

# Grundlagen der Stereoskopie

## Medieninformatik IL

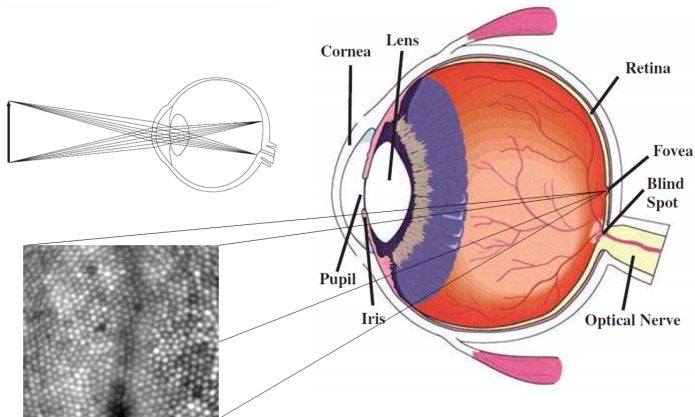
Andreas Unterweger

Vertiefung Medieninformatik und Bildverarbeitung  
Studiengang ITS  
FH Salzburg

Wintersemester 2024/25

# Wiederholung: Menschliche Bildwahrnehmung

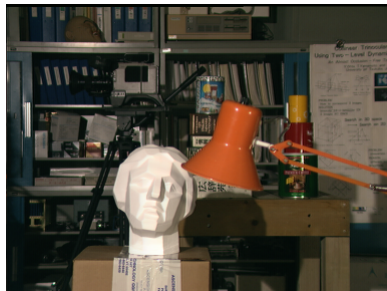
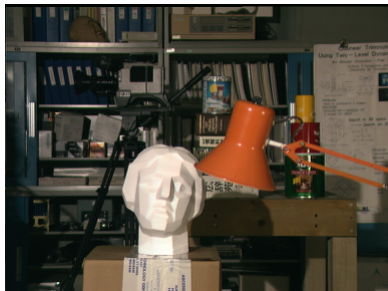
- Auge ist ähnlich einer Camera obscura aufgebaut
- Bildinformationsverarbeitung eines Auges: Monokularsehen



Quellen: Roorda, A. und Williams, D.: The arrangement of the three cone classes in the living human eye. *Nature*, 397(6719):520-522, 1999; Nadenau, M.: Integration of Human Color Vision Models into High Quality Image Compression. Doktorarbeit, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2000.

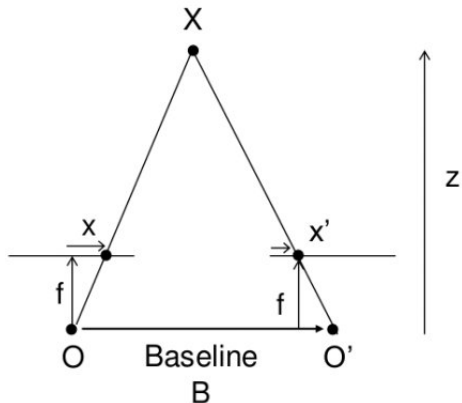
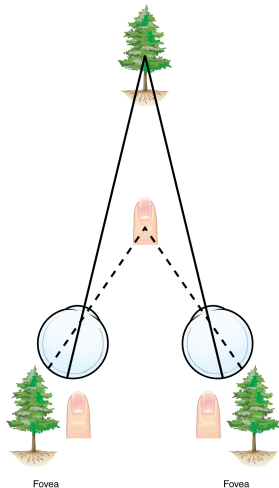
# Räumliches Sehen

- Augen haben einen Abstand von ca. 5-7 cm
  - Beide Augen nehmen unabhängig Bilder auf (Binokularsehen)
- Versatz (Disparität) zwischen Bildern beider Augen
- Gehirn berechnet aus Versatz Entfernung (Details unklar)
- Räumliches (stereoskopisches) Sehen



Quelle: <http://vision.middlebury.edu/stereo/submit/tsukuba/>

# Disparität



Quellen: Openstax College: Anatomy & Physiology

<http://cnx.org/contents/14fb4ad7-39a1-4eee-ab6e-3ef2482e3e22@6.17:93> (10.8.2014), 2014; opencv dev team: Depth Map from Stereo Images (10.8.2014), 2014.

- Gibt Disparität pro Pixel (bei aufgenommenen Bildern) an
- Schwarz (Disparität minimal): Maximale Entfernung
- Weiß (Disparität maximal): Minimale Entfernung
- Umrechnung zwischen Disparität  $x - x'$  und Entfernung  $z$  bei Augen-/Kameraabstand  $B$  und Brennweite  $f$  (vereinfacht über Lochkameramodell, ohne Beweis):

$$z = \frac{Bf}{x - x'}$$

- Umrechnung zwischen Entfernung und Disparität:

$$x - x' = \frac{Bf}{z}$$

# Disparitätsbild (Beispiel)



Quelle: <http://vision.middlebury.edu/stereo/submit/tsukuba/>

# Stereoskopische Bildaufnahme mit zwei Kameras

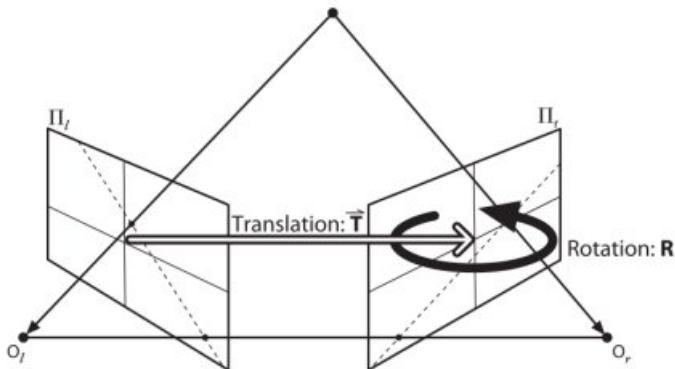
- Montage der Kameras in Augenabstand
- Synchrone Bildaufnahme
- Vereinfachende Annahmen für beide Kameras:
  - Selbe Brennweite
  - Selbe Bildauflösung
  - Selbe intrinsische Kameraparameter
  - In der Praxis: Baugleiche Kameras (alternativ: Stereokamera)



Quellen: Harada, K.: Stereoscopic Photography. <http://www.komeiharada.com/Photography/Stereo/Stereo.html> (10.8.2014), 2009; Bungert, C.: Stereo3D-NEWS-Archive – First Half of 1999. [http://www.stereo3d.com/news\\_1\\_99.htm](http://www.stereo3d.com/news_1_99.htm) (10.8.2014), 1999.

# Grundbegriffe I

- Bildebenen (in Weltkoordinaten!) können durch Translation und Rotation aufeinander abgebildet werden → Essenzielle Matrix (engl. *essential matrix*)  $\underline{E}$  mit  $3 \cdot 3$  Elementen



Quelle: opencv dev team: Epipolar Geometry.

[http://docs.opencv.org/trunk/doc/py\\_tutorials/py\\_calib3d/py\\_epipolar\\_geometry/py\\_epipolar\\_geometry.html](http://docs.opencv.org/trunk/doc/py_tutorials/py_calib3d/py_epipolar_geometry/py_epipolar_geometry.html)  
(10.8.2014), 2014.



- Fundamentalmatrix  $F$  (mit  $3 \cdot 3$  Elementen)
  - Bildet Punkte der ersten Bildebene auf Punkte der zweiten Bildebene (in Kamerakoordinaten inkl. Einheiten, d.h. Pixel) ab
  - Berücksichtigt Kameraparameter über Kameramatrizen  $M_{links} / M_{rechts}$ :

$$F = (M_{rechts}^{-1})^T \cdot \underline{E} \cdot M_{links}^{-1}$$

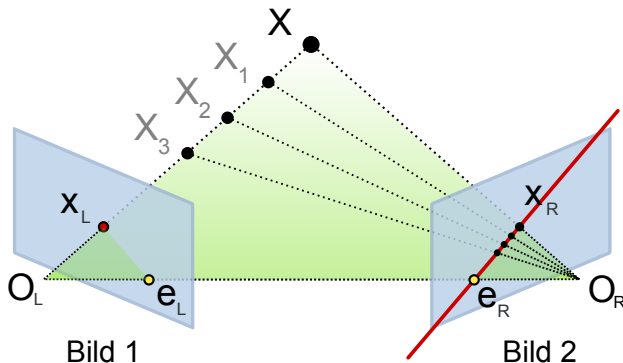
- $M_{links} / M_{rechts}$  werden quadratisch gemacht ( $4 \cdot 4$  Elemente), damit sie (pseudo-)invertierbar werden (Zeilenvektor  $(0 \ 0 \ 0 \ 1)$  ergänzen)
- Kameramatrizen haben einen Freiheitsgrad (Skalierungsfaktor)
- $F$  kann nur auf einen Skalierungsfaktor genau bestimmt werden
- Ein Punkt  $P_{links}$  wird auf eine Gerade (so genannte Epipolarlinie), die  $P_{rechts}$  enthält, abgebildet (ein Freiheitsgrad) → Epipolargleichung:

$$P_{rechts}^T \cdot F \cdot P_{links} = 0$$

- Zum Ermitteln von  $F$  Epipolargleichung für acht Punktpaare lösen

# Epipolargeometrie I

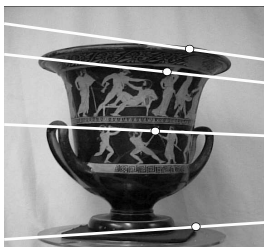
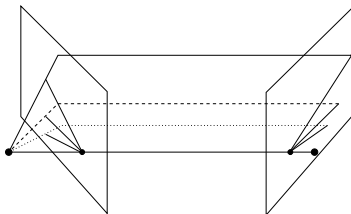
- $X$  wird im ersten Bild auf  $X_L$  abgebildet
- Eine unendliche Menge von Punkten  $\{X_i | i \in \mathbb{N}\}$  (auf einer Gerade liegend) wird auf  $X_L$  abgebildet (u.a.  $X$ )
- Die Abbildung jedes dieser Punkte im zweiten Bild ist eine mögliche Abbildung von  $X$  (Epipolarlinie von  $X_R$ )



Quelle: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Epipolargeometrie.svg>

# Epipolargeometrie II

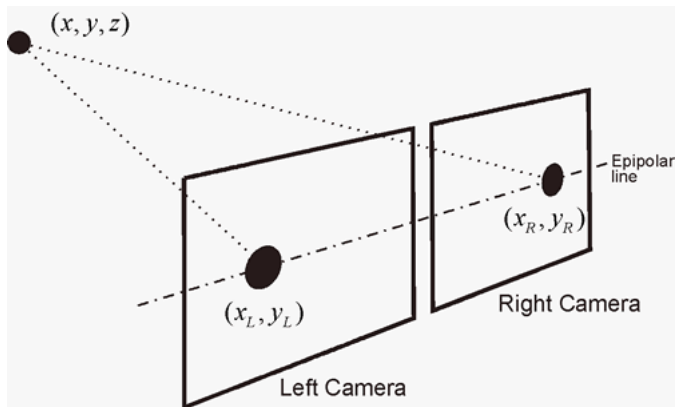
- Beispiel für Epipolarlinien:



Adaptiert von: Hartley, R. und Zisserman, A.: Multiple View Geometry in Computer Vision. 2. Auflage, 2004.  
<http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/hzbook/hzbook2/HZepipolar.pdf> (10.8.2014)

# Epipolargeometrie III

- Vereinfachter Fall: Keine Rotation zwischen Kameras (nur Translation) → Horizontale Epipolarlinien



Quelle: Calin, G. and Roda, V. O.: Real-time disparity map extraction in a dual head stereo vision system. Latin American applied research, vol. 37, no. 1, pp. 21–24, 2007.

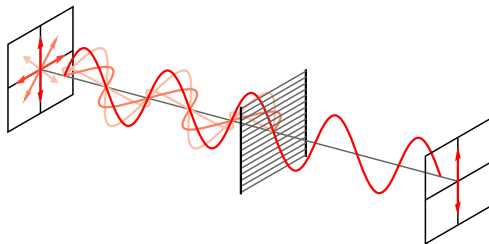
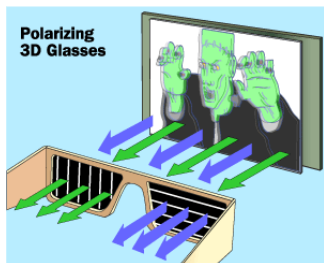
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0327-07932007000100005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-07932007000100005) (10.8.2014)

# Stereoskopische Bildwiedergabe: Überblick

- Ziel: Räumliche Wahrnehmung bei/durch Wiedergabe von aufgenommenen stereoskopischen Bildpaaren hervorrufen
- Voraussetzungen:
  - Linkes Auge sieht (nur) das linke Bild
  - Rechtes Auge sieht (nur) das rechte Bild
  - Kamera- und Augenabstand weichen nur minimal voneinander ab
  - ... (ohne weitere Details)
- Techniken zur Realisierung (Auswahl):
  - Bildpaardarstellung (ohne technische Unterstützung)
  - Animation (z.B. Wackelbilder)
  - **Parallele Darstellung (mit Polarisationsbrillen)**
  - **Wechselweise Darstellung (mit Shutterbrillen)**
  - **Anaglyphenbilder (mit Anaglyphenbrillen)**
  - Autostereoskopie (mit Linsenraster)

# Parallele Darstellung mit Polarisationsbrillen

- Linkes und rechtes Bild werden gleichzeitig dargestellt
- Ausgesandtes Licht ist pro Bildposition verschieden polarisiert
- Brille mit Polarisationsfiltern (zu Aussendung passend)
  - Linkes Auge empfängt nur Licht des linken Bildes
  - Rechtes Auge empfängt nur Licht des rechten Bildes



Quellen: Brain, M.: How 3-D Glasses Work. <http://science.howstuffworks.com/3-d-glasses2.htm> (10.8.2014), 2014;  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wire-grid-polarizer.svg>

# Wechselweise Darstellung mit Shutterbrillen

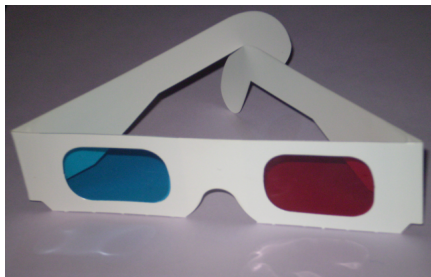
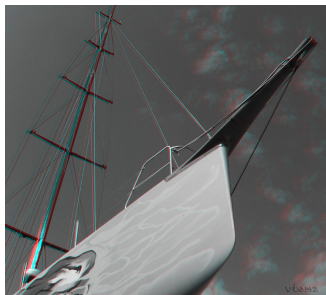
- Linkes und rechtes Bild werden (zeitlich) hintereinander dargestellt
- Doppelte Bildwiederholrate
- Shutterbrille (mit Darstellung synchronisiert)
  - Linkes Auge wird abgedunkelt, wenn rechtes Bild dargestellt wird
  - Rechtes Auge wird abgedunkelt, wenn linkes Bild dargestellt wird



Adaptiert von: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ASUS\\_LCD\\_Shutter\\_glasses.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ASUS_LCD_Shutter_glasses.jpg)

# Anaglyphenbilder I

- Ausgangsbild ist Graustufenbild
- Linkes und rechtes Bild werden rot bzw. blau (meist cyan, d.h. grün plus blau im RGB-Farbraum) eingefärbt und zusammengesetzt
- Anaglyphenbrille (mit roten bzw. blauen Farbfiltern)
  - Linkes Auge empfängt nur roten Farbanteil (linkes Bild)
  - Rechtes Auge empfängt nur blauen Farbanteil (rechtes Bild)



Quellen: [https://farm7.staticflickr.com/6107/6280895078\\_309c551b5b\\_b.jpg](https://farm7.staticflickr.com/6107/6280895078_309c551b5b_b.jpg);  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anaglyph\\_glasses.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anaglyph_glasses.png)



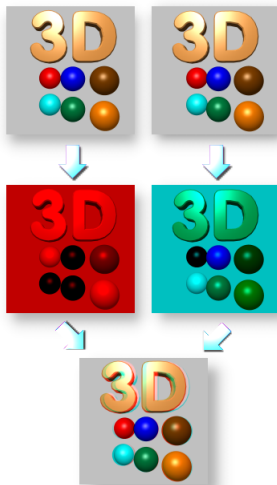
# Anaglyphenbilder II

- Ausgangsbild ist Farbbild
- Linkes und rechtes Bild werden rot bzw. cyan (komplementär) eingefärbt und zusammengesetzt
- Anaglyphenbrille (mit roten bzw. cyan-Filtern)
  - Linke Seite filtert Rotanteil (linkes Bild plus Fehler)
  - Rechte Seite filtert Cyananteil (rechtes Bild plus Fehler)



Quellen: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dusk\\_on\\_Desert.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dusk_on_Desert.jpg);  
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:LGCOLORAnaglyphSceneMR.jpg>

# Anaglyphenbilder III



Quelle: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SchemaAnaglypherzeugung.png>

- Polarisation
  - Vorteil: Günstig
  - Nachteil: Reduzierte effektive Bildauflösung durch gleichzeitige Darstellung
- Shutter
  - Vorteil: Sehr gute Wiedergabequalität
  - Nachteile: Teuer und schwer (mechanische Shutter), Synchronisation aufwändig (sehr sensibel)
- Anaglyphen
  - Vorteil: Günstig
  - Nachteil: Reduzierte Farbtiefe in manchen Farbkanälen
- Nachteil aller angeführten Techniken: Benötigen spezielle Brillen

Fragen?