

Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Stereo-Sehen für den Menschen (fast) unverzichtbar!

Mensch sieht Stereo-Bildfolgen:

→ Tiefeninformation (Greifen, Kollisions-Vermeidung, ...)

**Vorgezogen in Kapitel 2 bereits: Epipolar-Geometrie und
Entfernungs-Berechnung aus Disparitäten**

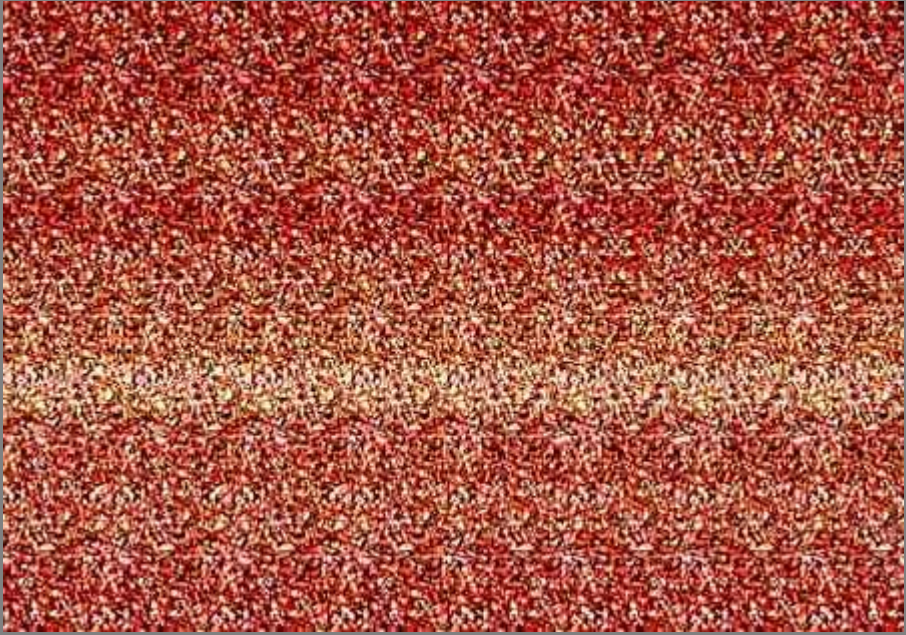
Hier jetzt:

- **Anwendungs-Beispiele**
- **Hindernis-Ermittlung**
- **Geometrische Grundlagen (Triangulation)**
- **Korrespondenz-Problem**



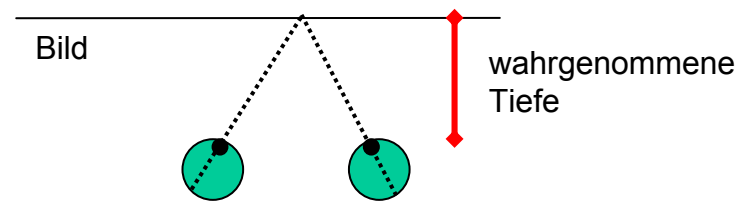
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Anwendungs-Beispiele: Magic Eye

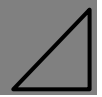
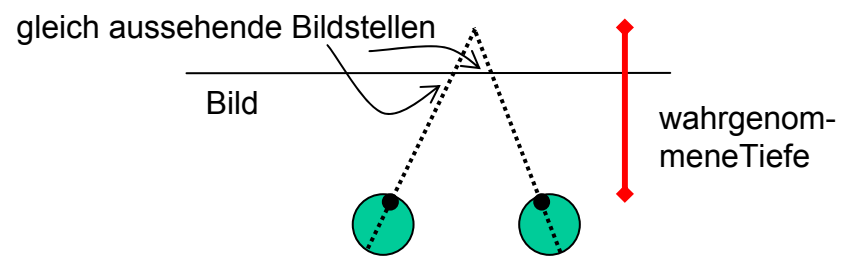


Quelle: <http://bradedwards.files.wordpress.com/2007/11/dino.jpg>

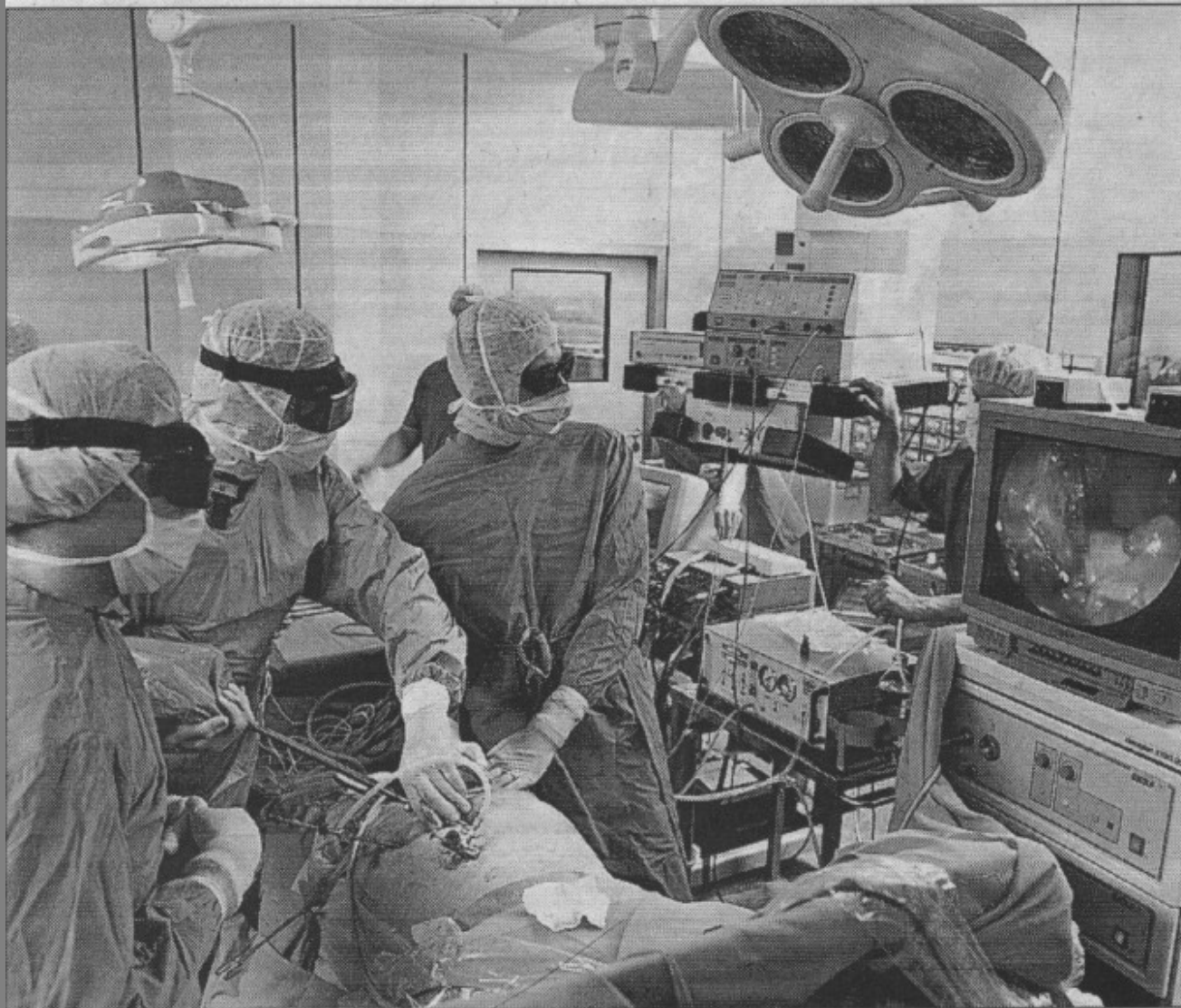
Prinzip-Bild: „normaler“ Blick auf ein Bild (Draufsicht)



Prinzip-Bild: Magic Eye (Draufsicht)



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



Anwendungs-Beispiele:

Knopfloch-Chirurgie mit Hilfe eines Stereo-Endoskops

Quelle: BNN

DREIDIMENSIONALE VIDEOTECHNIK und ein Instrumentenführungssystem erlauben bei endoskopischen Eingriffen ein sicheres und präzises Operieren.

Wolf-Dieter Groch; Hochschule Darmstadt; FBI

3/37



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



Anwendungs-Beispiele:

Robotik

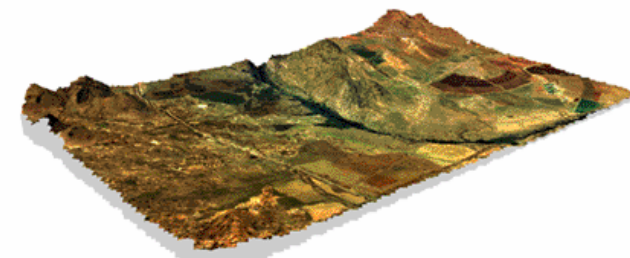
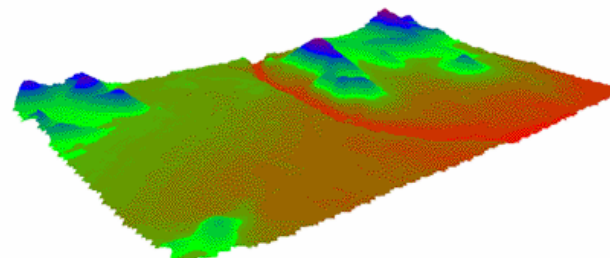
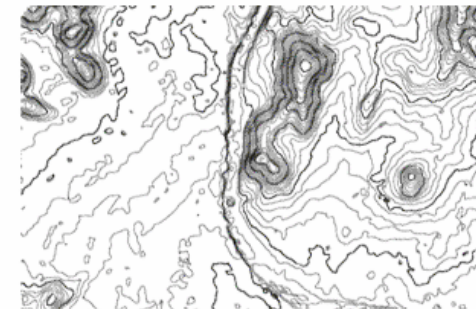
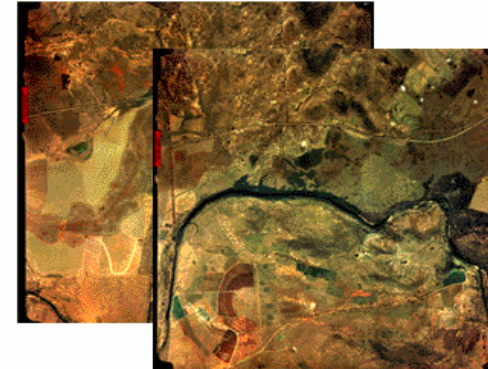
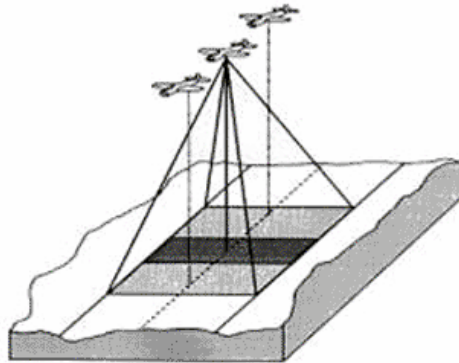
Quelle: <http://www.worth1000.com>



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Anwendungs-Beispiele:

Gewinnung von digitalen
Gelände-Modellen
aus Stereo-Luft- oder
Satelliten-Bildern

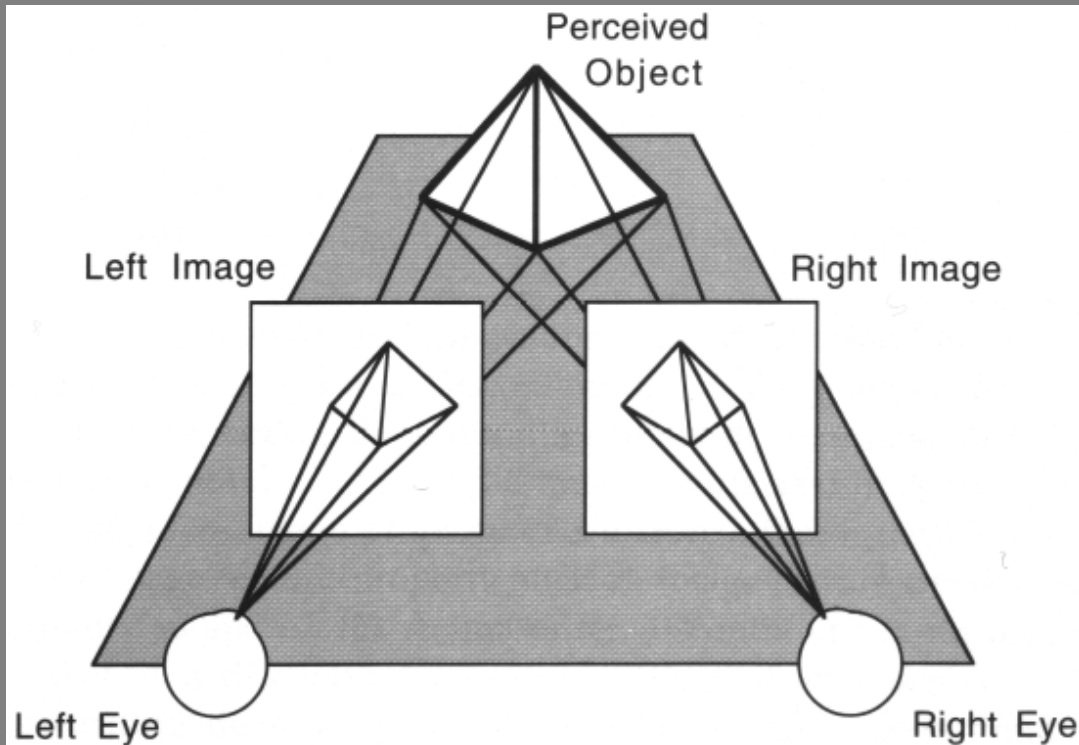


Quelle: http://www.uibk.ac.at/geodaesie/dauer_bilder/photogrammetrie.gif



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Wieso ist eine Entfernungs-Berechnung aus Stereo-Bildern möglich?



Quelle: „A Guided Tour of Computer Vision“, V. S. Nalwa, Addison Wesley

Stereo: zwei Abbildungen derselben Szene aus unterschiedlichen Kamerastandorten unterscheiden sich.

Also gibt es neben den monokularen auch binokulare Tiefen-Merkmale!

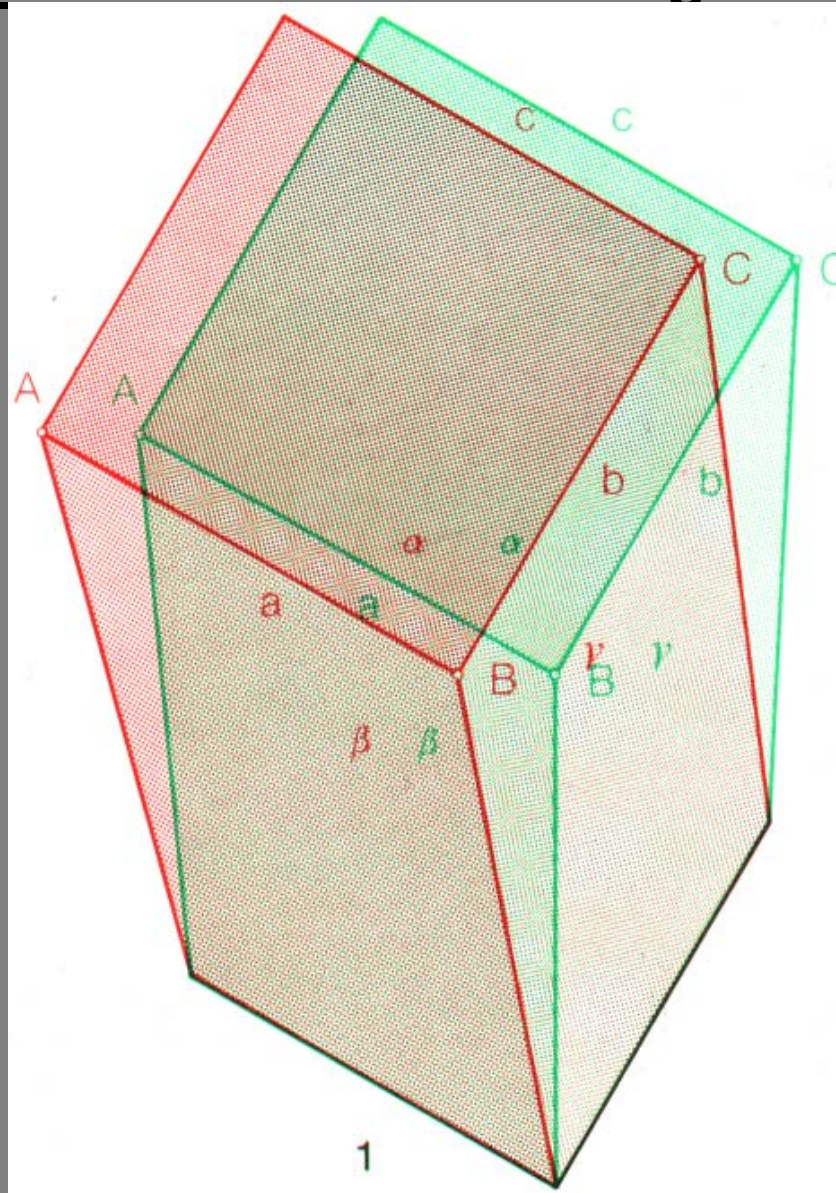


Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Stereobild-Betrachtung:

Historisch:

Stereobild-Darstellung mit Hilfe des Anaglyphen-Verfahrens (hier: rot-grün)



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



Stereobild-Betrachtung:

Quelle: <http://cjoke.com/3D-Bilder/3D-Bilder.asp>

Stereobild-Darstellung mit Hilfe des Anaglyphen-Verfahrens (hier: rot-cyan)



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Stereobild-Betrachtung:



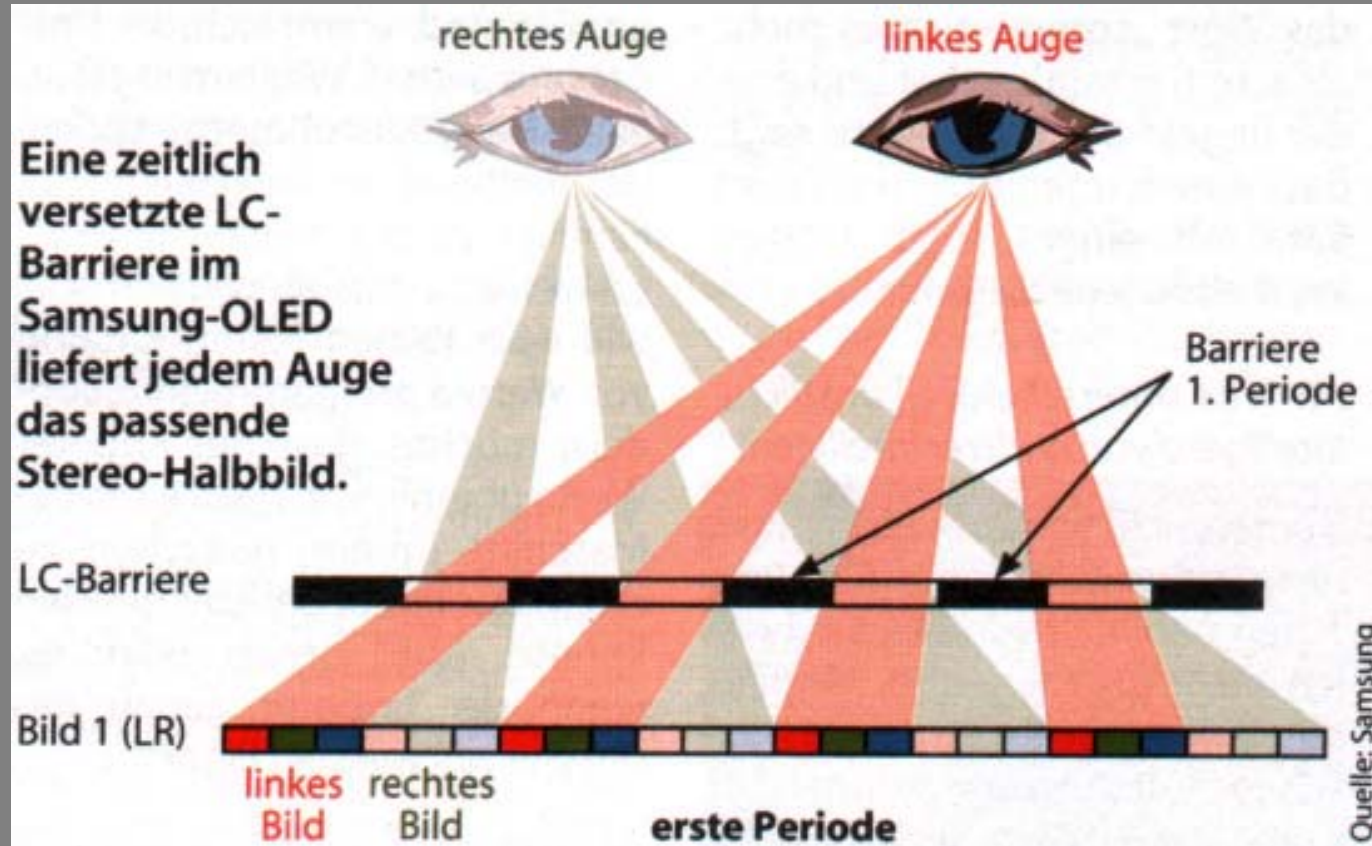
Photomontage zur Demonstration der Wirkung einer Stereo-Darstellung mit Hilfe einer Shutter-Brille

DAS ZIEL VOR AUGEN: Ob Motoren oder Kraftwerke – mit dem Virtual-Reality-Programm von Relax lassen sich neue Produkte schnell entwerfen und am Bildschirm dreidimensional darstellen. Foto: PR

Quelle: BNN



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



LC-TFT-Displays mit Parallax-Barriere zum Stereosehen

Bemerkung: „Volle“ waagrechte Auflösung, da die Parallax-Barriere in schnellem Wechsel zeitlich um ein Pixel versetzt wird; dadurch bei Bildfolgen aber nur noch halbe zeitliche Auflösung.

Quelle: c't, Heft 15, 2006, Seite 64



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



LC-TFT-Displays mit automatisch gesteuerter Parallax-Barriere

Quelle: <http://www.tomshardware.com/reviews/3d-stereo-technology,1023-7.html> und

http://www.slashgear.com/gallery/data_files/7/4/Fraunhofer_Free2C_display.jpg

Wolf-Dieter Groch; Hochschule Darmstadt.



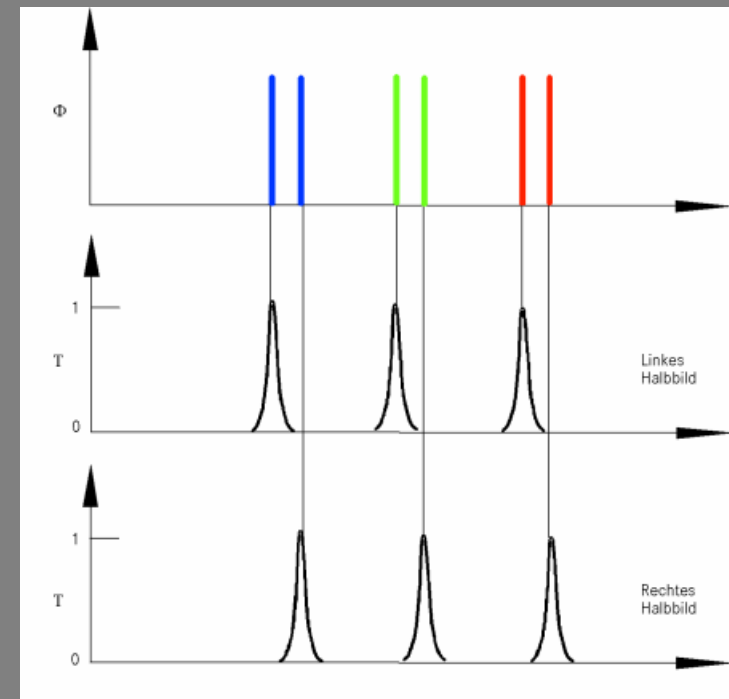
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



**Infitec-Stereo-
Projektion mit Hilfe
spezieller Farbfilter**



Quelle:
[http://www.wow3d.de/
news-e.html](http://www.wow3d.de/news-e.html)



Quelle: [http://www.volkssternwarte-
laupheim.de/images/n48_infitec_gross.jpg](http://www.volkssternwarte-laupheim.de/images/n48_infitec_gross.jpg)

Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



Stereo-Projektion mit Hilfe von Polarisationsfiltern

Quelle: FhG - IGD

VR/AR-Brille

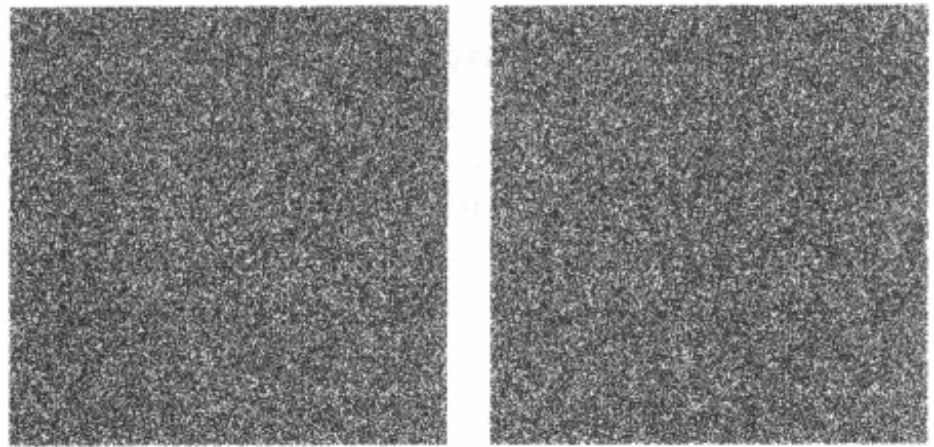
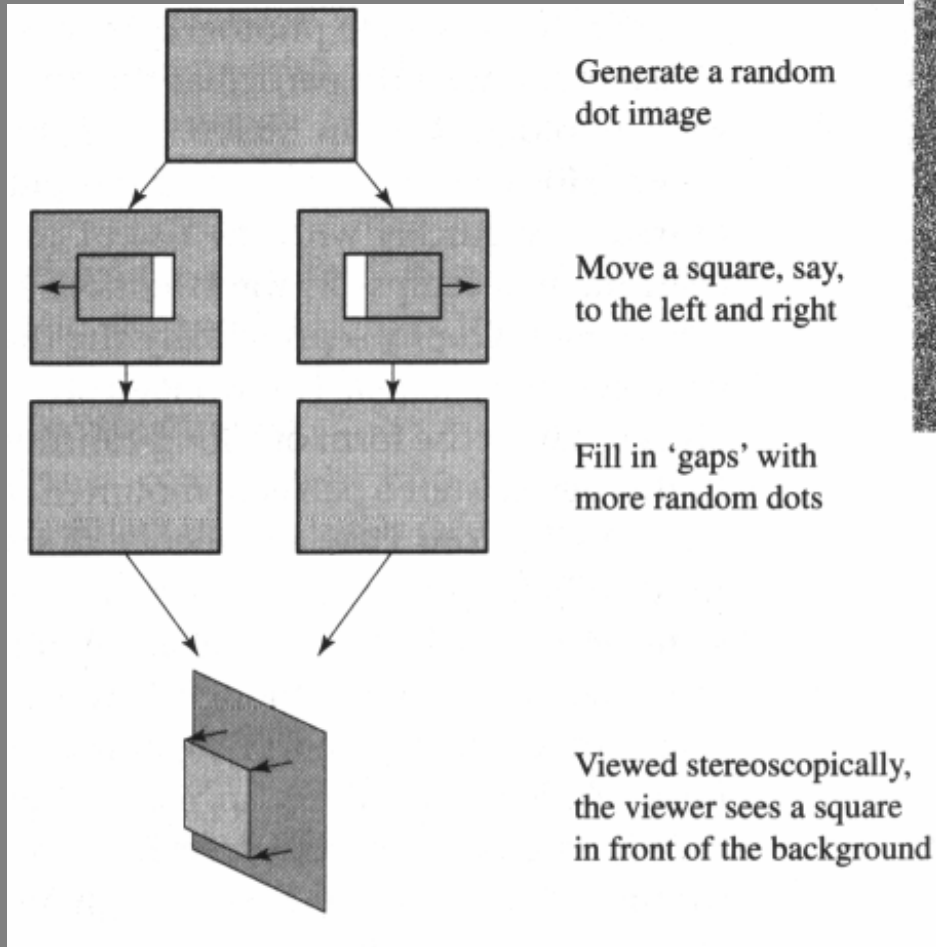


Quelle: <http://www.emagin.com/products/systems/systems.php>



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Zufalls-Stereogramme (Erstellung und Betrachtung)



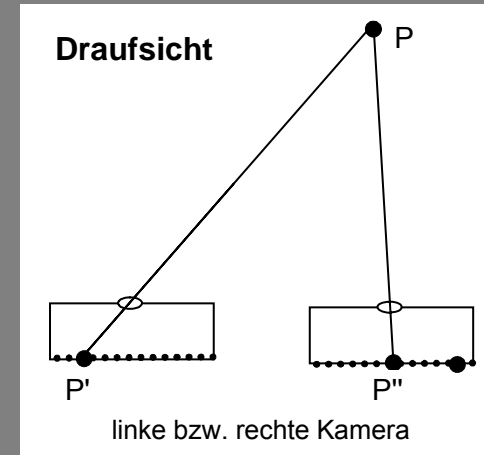
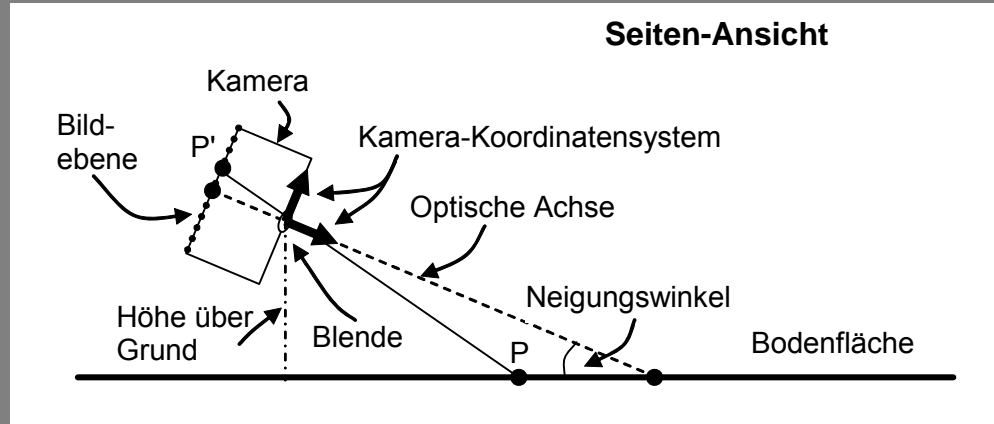
Zufalls-Stereogramm-Paar

Quelle: „The Computer Image“, A. Watt, F. Policarpo, Addison Wesley



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

6.1 Hindernis-Erkennung mit inverser Projektion



- * Anordnung der Kameras sei bekannt
- * Annahme: ebene Bodenfläche vor den Kameras
- * Folgerung: Projektion ist umkehrbar (inverse Projektion)

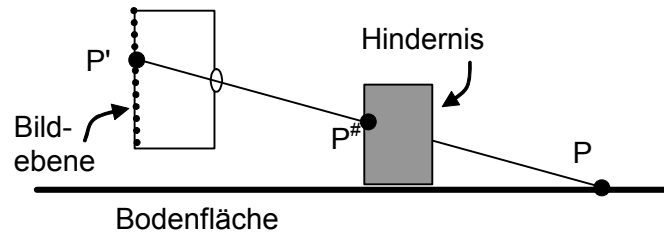
Vorgehen:

- * Erste Kamera nimmt Bild auf.
- * Daraus Berechnung der Einfärbung der Bodenfläche.
Punkt für Punkt: Pixel (i,j) entspricht Raumpunkt (x,y,z) .
- * „Rückgerechnete“ Bodenfläche mit virtueller zweiter Kamera aufnehmen:
Punkt für Punkt: Raumpunkt (x,y,z) entspricht Pixel (i',j') in anderer Kamera.
- * „Echte“ Bodenfläche mit realer zweiter Kamera aufnehmen.
- * Bilder der realen und der virtuellen zweiten Kamera vergleichen:
 - identisch: kein Hindernis vor den Kameras,
 - unterschiedlich: es gibt ein Hindernis vor den beiden Kameras.

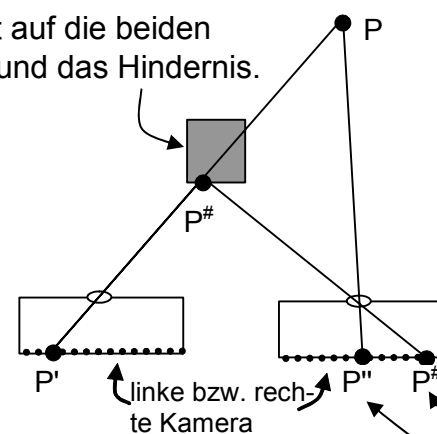
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Jetzt mit Hindernis:

Seitenansicht mit 1. Kamera,
Bodenfläche und Hindernis



Draufsicht auf die beiden
Kameras und das Hindernis.



Projizierter Punkt

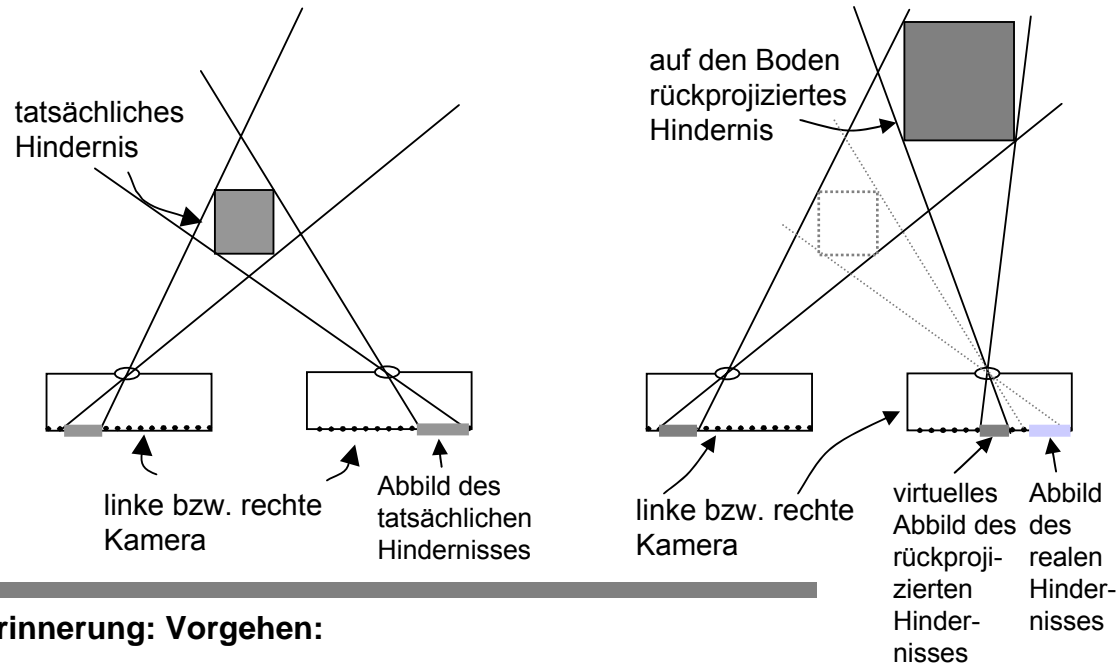
Berechneter Punkt

Zur Erinnerung: Vorgehen:

- * Erste Kamera nimmt Bild auf.
- * Daraus Berechnung der Einfärbung der Bodenfläche.
Punkt für Punkt: Pixel (i,j) entspricht Raumpunkt (x,y,z) .
- * „Rückgerechnete“ Bodenfläche mit virtueller zweiter Kamera aufnehmen:
Punkt für Punkt: Raumpunkt (x,y,z) entspricht Pixel (i',j') in anderer Kamera.
- * „Echte“ Bodenfläche mit realer zweiter Kamera aufnehmen.
- * Bilder der realen und der virtuellen zweiten Kamera vergleichen:
 - identisch: kein Hindernis vor den Kameras,
 - unterschiedlich: es gibt ein Hindernis vor den beiden Kameras.

Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

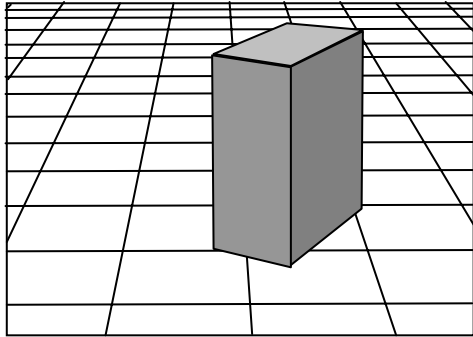
Reales bzw. berechnetes Bild der zweiten Kamera:



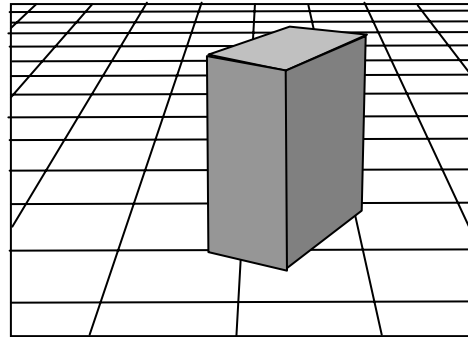
Zur Erinnerung: Vorgehen:

- * Erste Kamera nimmt Bild auf.
- * Daraus Berechnung der Einfärbung der Bodenfläche.
Punkt für Punkt: Pixel (i,j) entspricht Raumpunkt (x,y,z) .
- * „Rückgerechnete“ Bodenfläche mit virtueller zweiter Kamera aufnehmen:
Punkt für Punkt: Raumpunkt (x,y,z) entspricht Pixel (i',j') in anderer Kamera.
- * „Echte“ Bodenfläche mit realer zweiter Kamera aufnehmen.
- * Bilder der realen und der virtuellen zweiten Kamera vergleichen:
 - identisch: kein Hindernis vor den Kameras,
 - unterschiedlich: es gibt ein Hindernis vor den beiden Kameras.

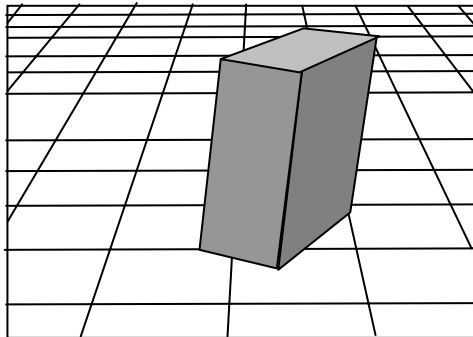
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung



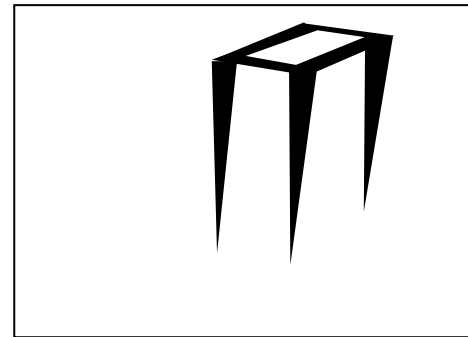
(a)



(b)



(c)



(d)

Beispiel für die inverse Projektion mit einem Hindernis auf der Bodenfläche:

(a) Bild der linken Kamera;

(b) tatsächliches Bild der rechten Kamera;

(c) aus (a) berechnetes Bild der rech. Kamera; (d) Differenzbild.

Bemerkungen: * Abstand zu jedem Bodenpunkt ist bekannt ... also auch zum Fußpunkt des Hindernisses;

* die Breite der schwarzen Keile steht für den Abstand zur Bodenfläche (Disparität).



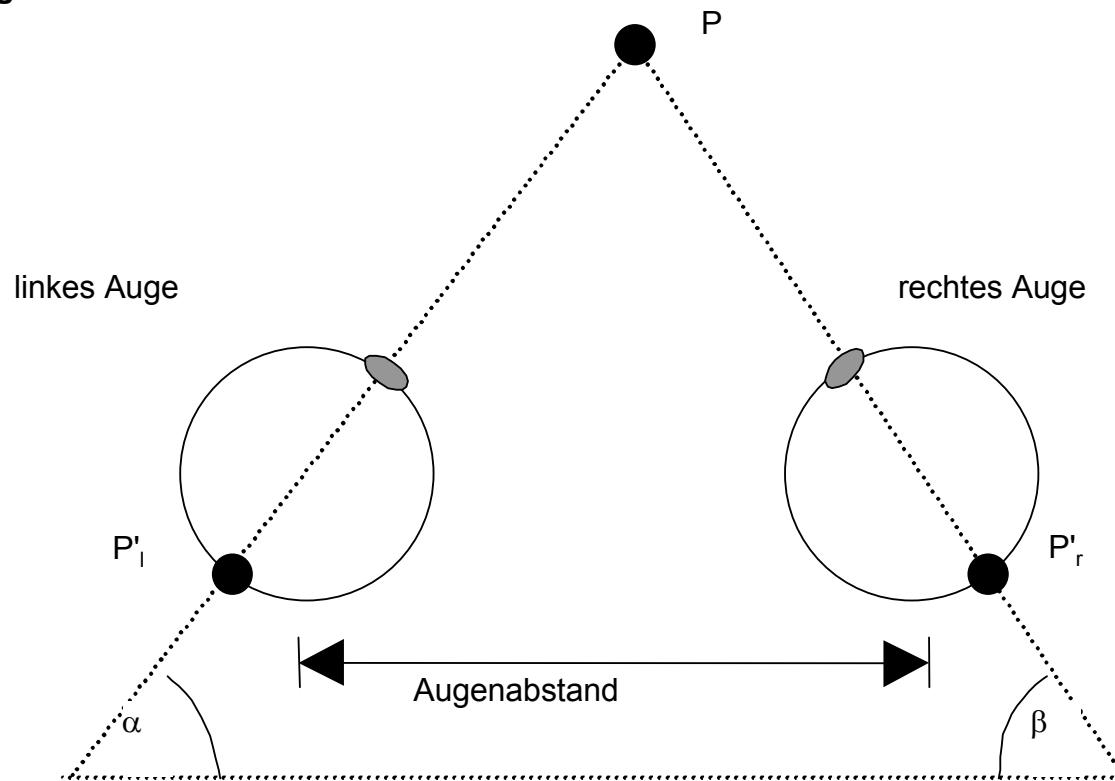
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

6.2 Geometrische Grundlagen bzgl. Vergenz und Disparität

Binokulare Tiefen-Merkmale:

- * Vergenz
- * Disparität

Vergenz



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Tiefe aus Vergenz:

* gegeben: Winkel α und β , sowie doppelter Augenabstand $2d$,

* gesucht: Entfernung z ,

(* unbekannt: a und b).

Bei linker Kamera:

$$\cot(\alpha) = a/z \quad \text{und daraus} \quad a = z * \cot(\alpha)$$

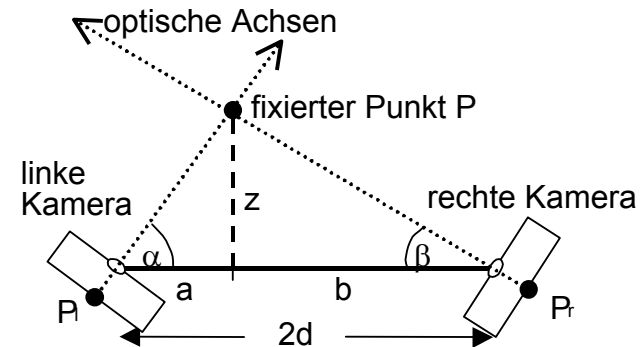
Bei rechter Kamera:

$$\cot(\beta) = b/z \quad \text{und daraus} \quad b = z * \cot(\beta)$$

Beides addieren:

$$a + b = 2d = z * (\cot(\alpha) + \cot(\beta)) \quad \text{und daraus:}$$

$$z = 2d / (\cot(\alpha) + \cot(\beta))$$

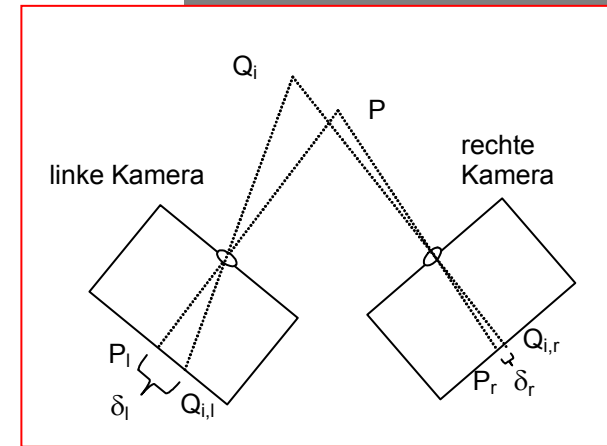
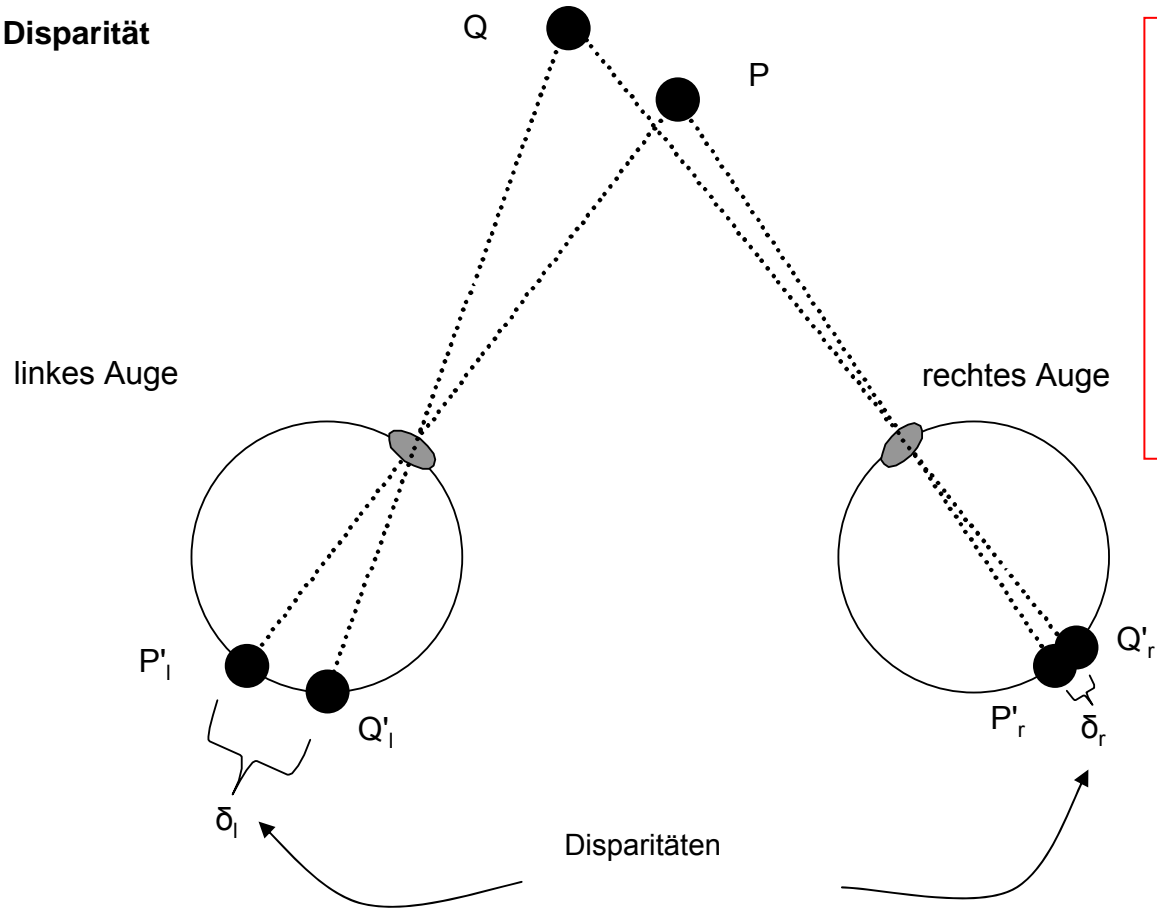


Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Binokulare Tiefen-Merkmale:

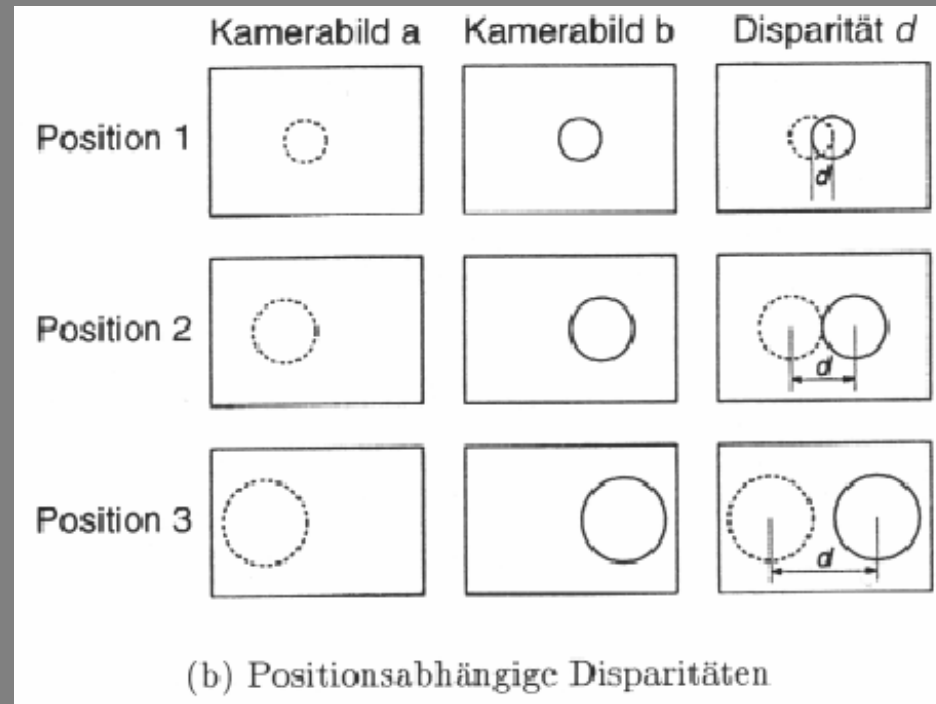
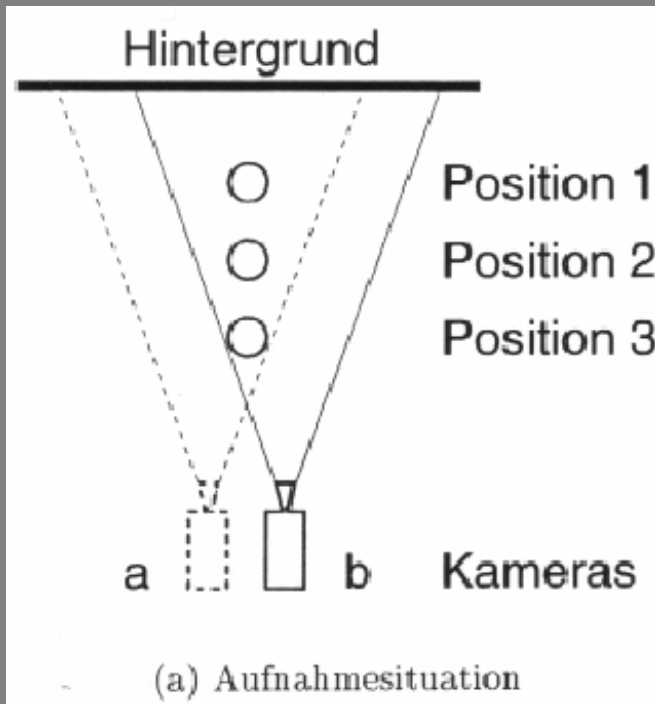
- * Vergenz
- * Disparität

Disparität



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Positionsabhängige Disparitäten

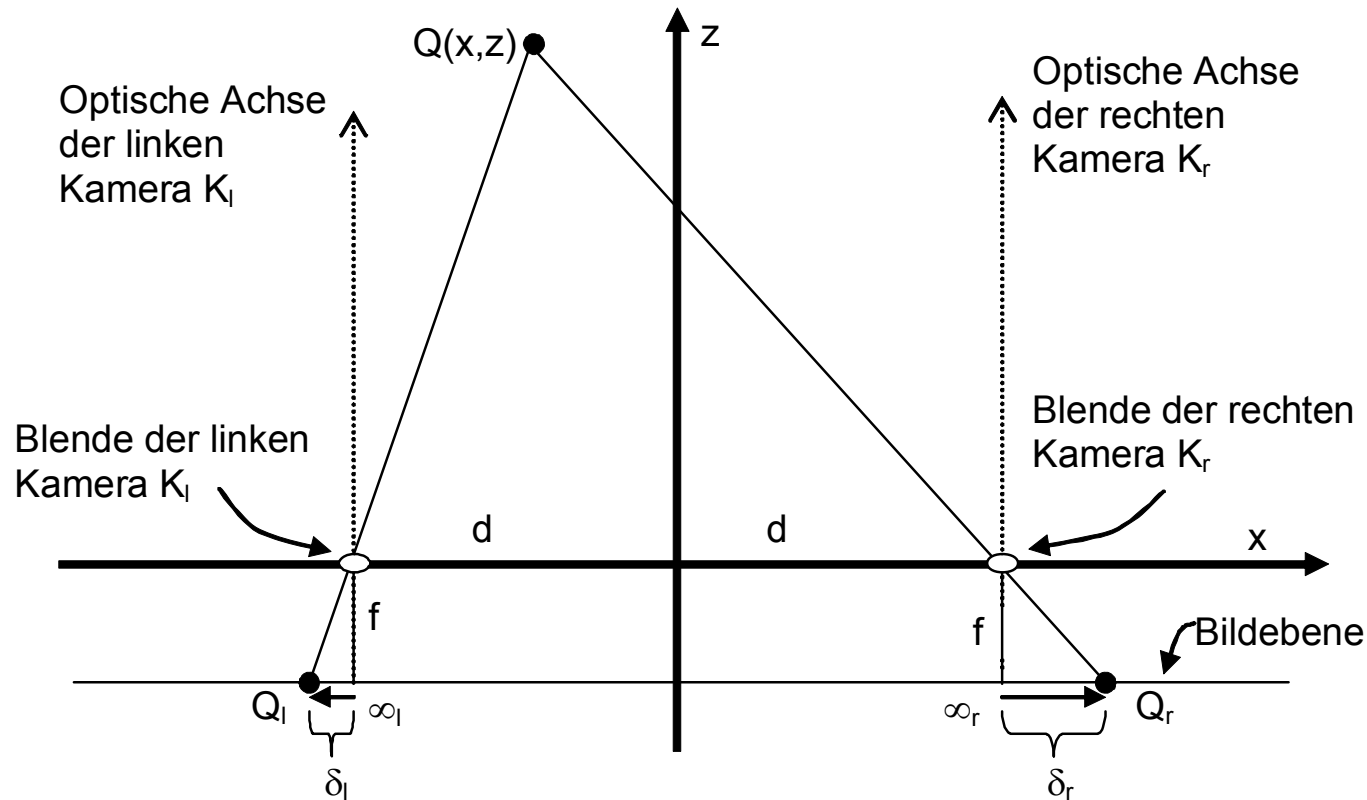


Quelle: „Bildverstehen“; Axel Pinz; Springer



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

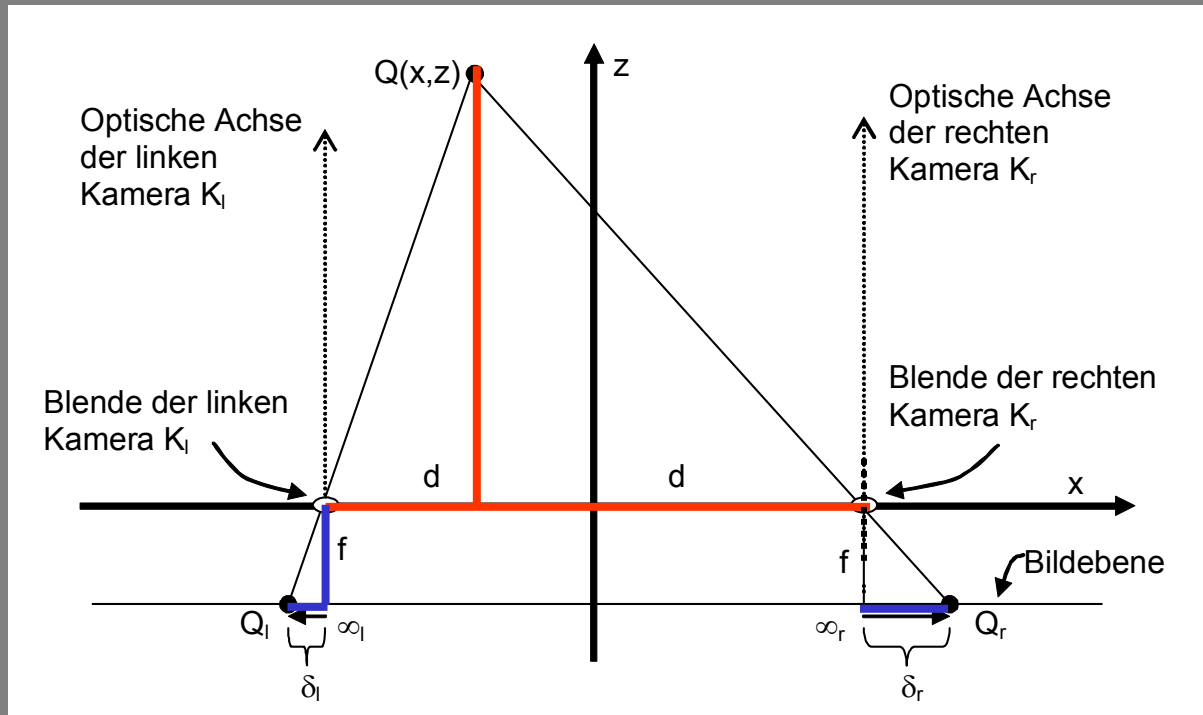
Tiefe aus Disparität: (siehe auch Einschub in Kap. 2)



Gegeben: doppelter Augenabstand d ,
Brennweite f und
Disparitäten δ_l und δ_r

Gesucht: Entfernung z zu Punkt Q

Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

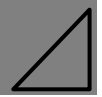


Lösung wieder über ähnliche Dreiecke: $\frac{z}{2d} = \frac{f}{\delta_r - \delta_l}$ und daraus: $z = \frac{z^* d * f}{\delta_r - \delta_l}$

Tipp zur Ermittlung der Brennweite f : aus α Öffnungswinkel (fovy) der Kamera und n Bildbreite in Pixeln.

$$f = \frac{n/2}{\tan(\alpha/2)}$$

Herleitung selbst überlegen!!!



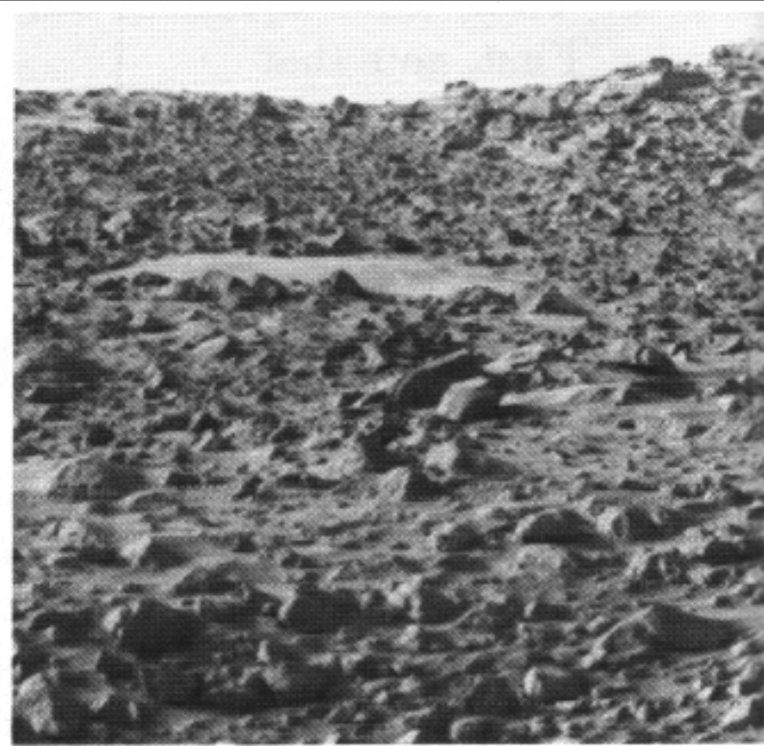
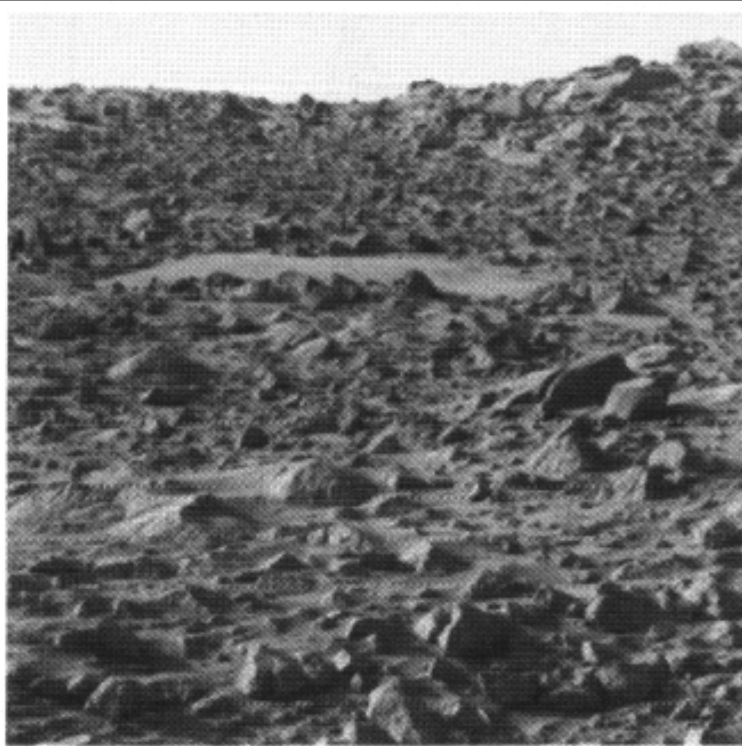
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

6.3 Korrespondenzproblem

Ab jetzt: ideale Stereo-Konfiguration

- * parallele Sehachsen
- * gleiche Brennweite

Wie findet man einander entsprechende Bildstellen im linken und rechten Bild?



Wo liegen korrespondierende Bildstellen? (Stereo-Bildpaar von der Mars-Mission Viking Lander)

Quelle: „Robot Vision“, B. K. P. Horn, MIT Press

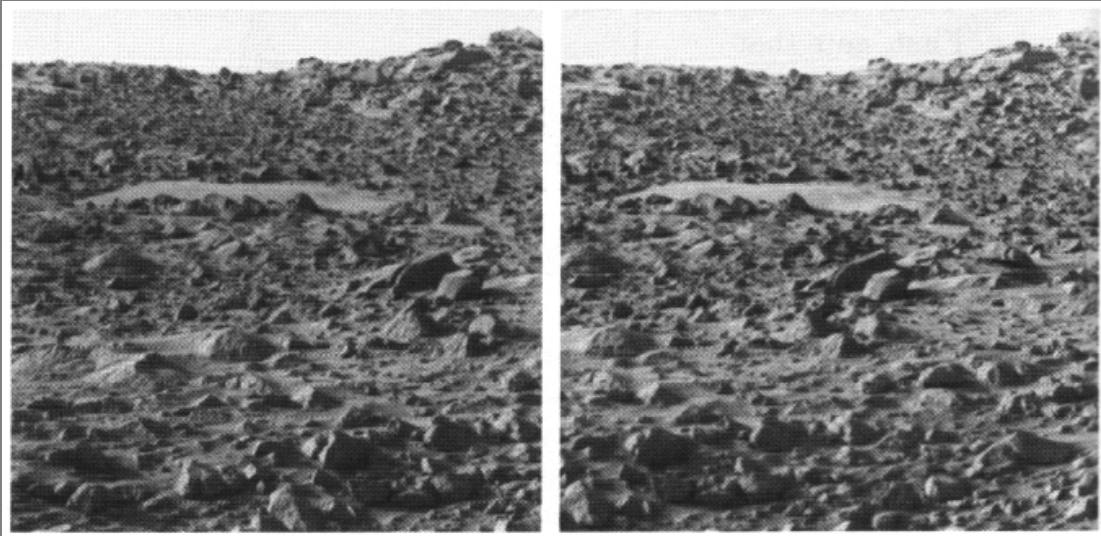
Fragen bei der Suche nach Korrespondenzen:

- 1.) Wo suchen?
- 2.) Wie finden?
- 3.) Was tun bei Mehrdeutigkeit?



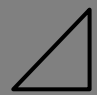
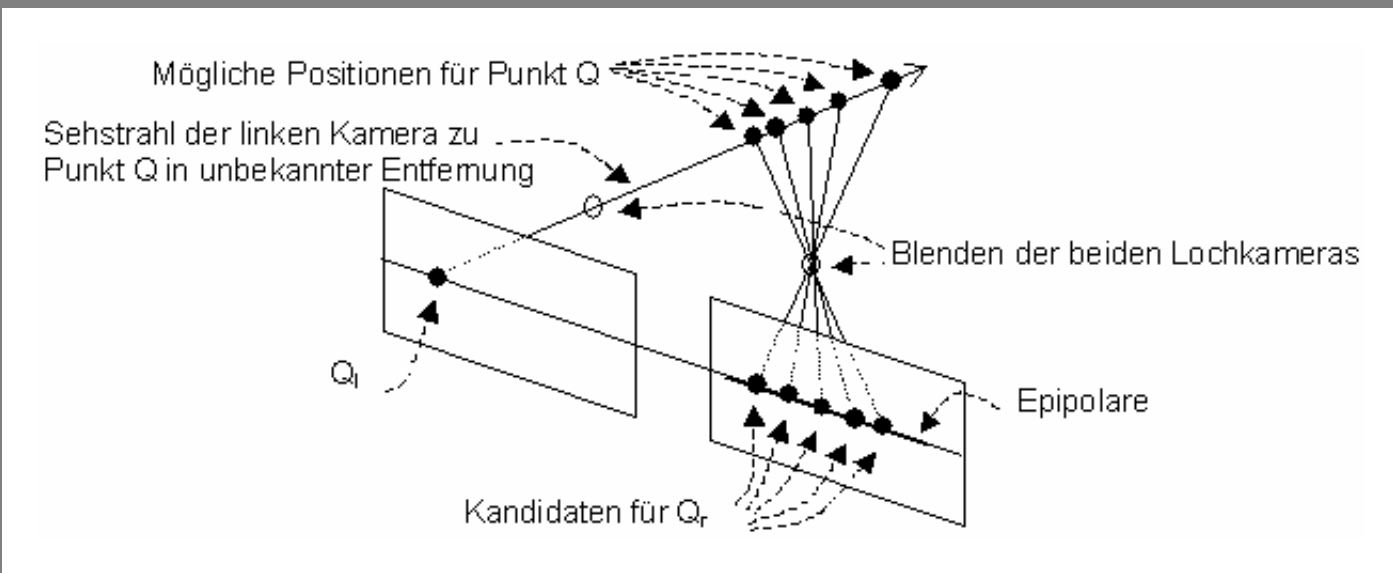
Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Korrespondenzen:
Wo suchen?



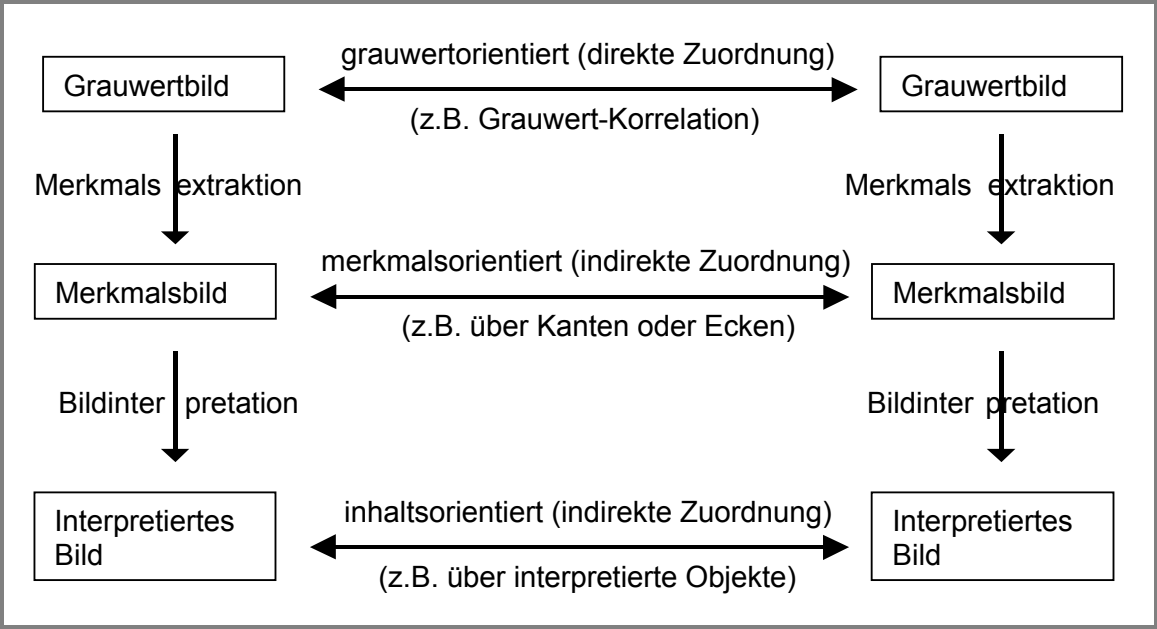
... selbe Bildzeile im anderen Bild!

Epipolar-Geometrie:



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Korrespondenzen: Wie finden?

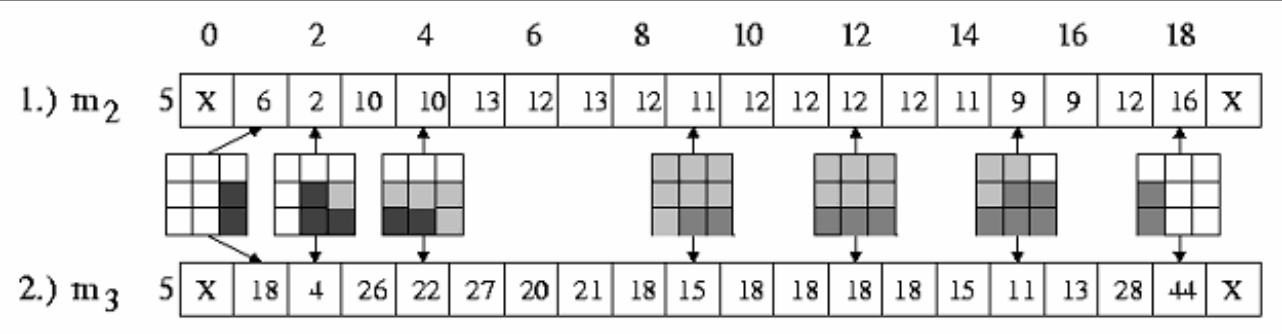
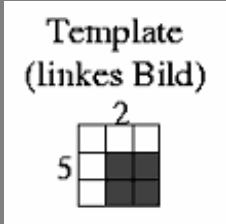
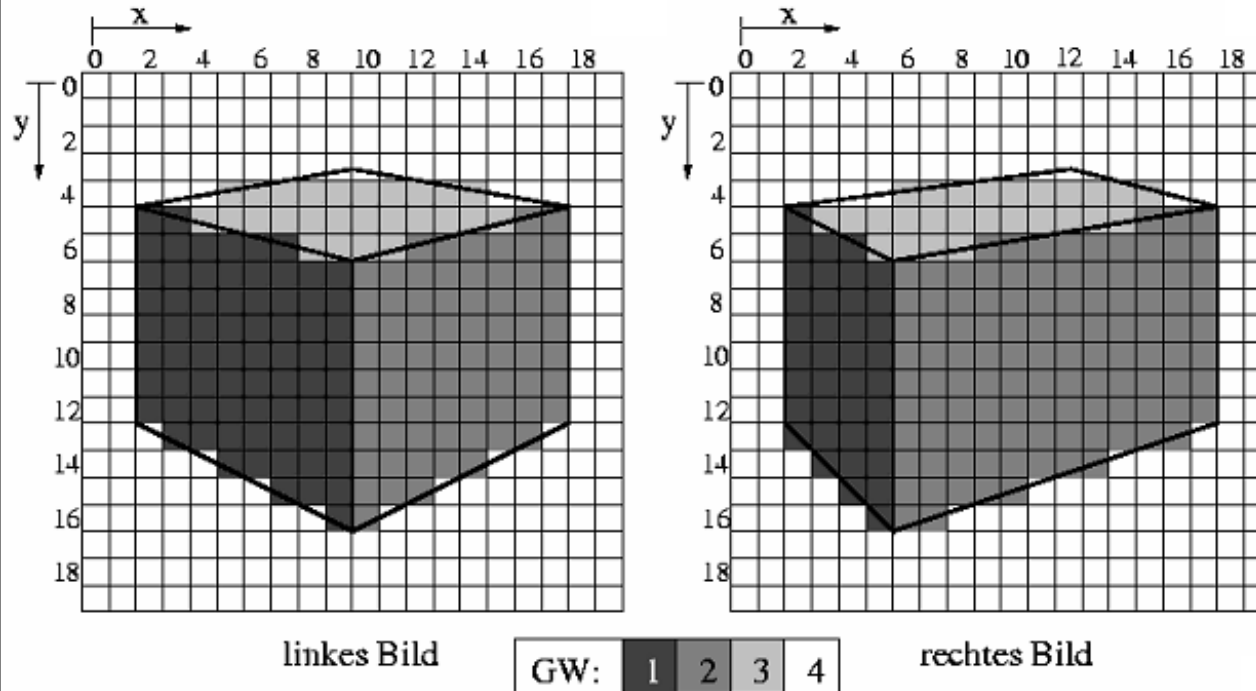


Drei unterschiedliche Ansätze zur Lösung des Korrespondenzproblems

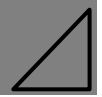


Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Beispiel für das Korrespondenzproblem:



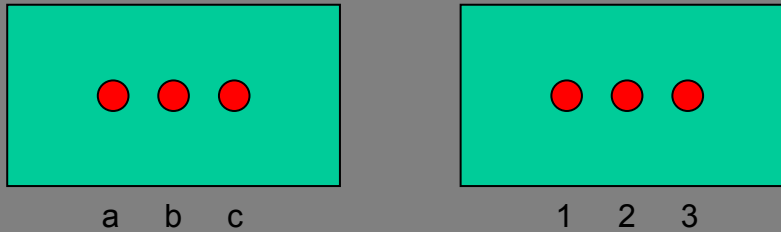
Ähnlichkeitsmaßzahlen für die überprüften Positionen (entlang der Epipolaren) im rechten Bild



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Korrespondenzen: Was tun bei Mehrdeutigkeiten?

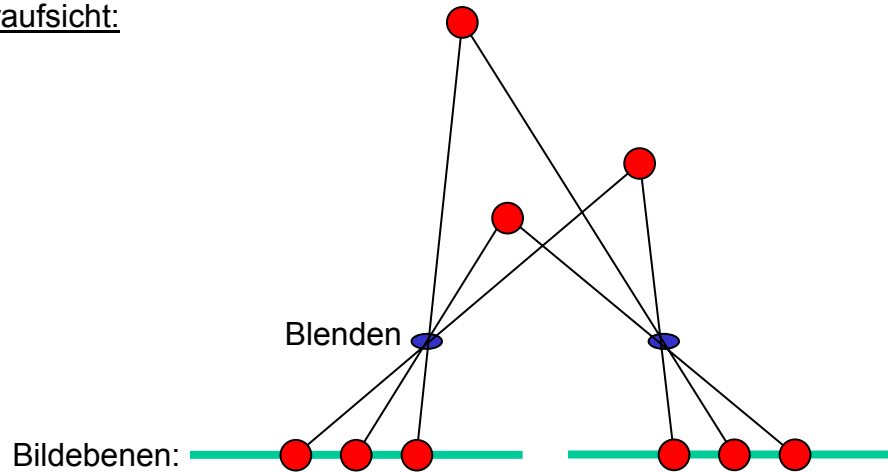
Linkes und rechtes Bild mit gleich aussehenden Kandidaten für Korrespondenzen. Welcher Kandidat links entspricht welchem Kandidaten rechts?



Wahrscheinlich: $a=1$, $b=2$ und $c=3$, aber ...

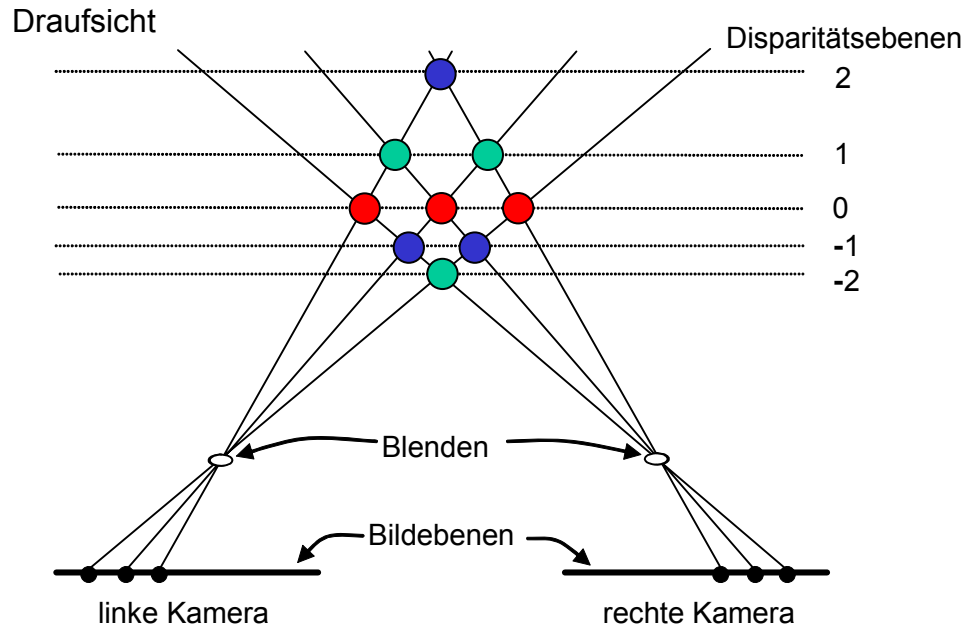
... Reihenfolge kann auch anders sein; z.B.:

Draufsicht:



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Mehrdeutigkeiten beim Korrespondenzproblem :

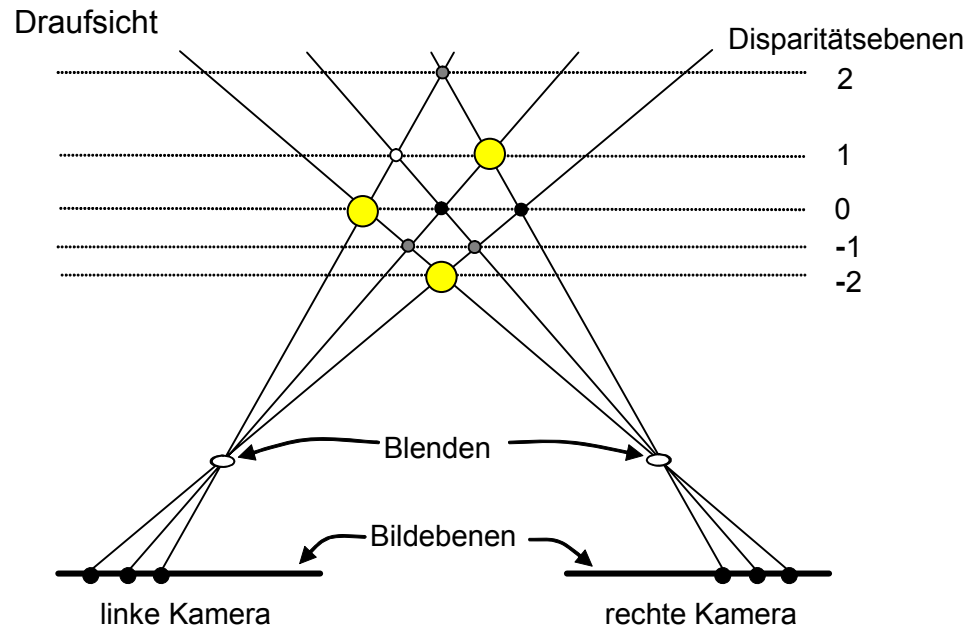


Beispiele für Mehrdeutigkeiten beim Korrespondenzproblem bei denen mindestens zwei Objekte in derselben Entfernung zu den Kameras liegen.



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Ist die folgende Korrespondenz möglich?



1. Constraint: Jeder Raumpunkt kann nur eine Tiefe, d.h. nur einen Disparitätswert haben.

2. Constraint (Beobachtung in der Realität):

Die Disparität benachbarter Bildstellen ändert sich i.d.R. nur wenig, (da Objekte meist glatte Oberflächen haben);
Ausnahmen gelten z.B. an Objektgrenzen.



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

PMF-Algorithmus zur Stereobildauswertung:

(Auflösung von Mehrdeutigkeiten beim Korrespondenzproblem)
nach Pollard, Meyew und Frisby)

- Relaxationsverfahren
- Grundidee : wahrscheinlichste Interpretation bevorzugen!
 - „glatte“ Oberflächen bevorzugen, (siehe 2. Constraint);
 - aus den Kandidaten je Bild alle möglichen Kandidatenpaare, d.h. Positionen im Raum vor den Kameras bilden;
 - dann diejenigen Kandidatenpaare, d.h. Positionen auswählen, zu denen es die meisten anderen Positionen in ungefähr der gleichen Raumtiefe gibt.

Verfügbar: nur die Disparitäten.

Definition des **Disparitäts-Gradienten DG** in der Draufsicht, d.h. ohne Berücksichtigung der y-Werte:

Disparitäts-Gradient DG (\approx Steigung der Geraden durch A und B) berechnen.

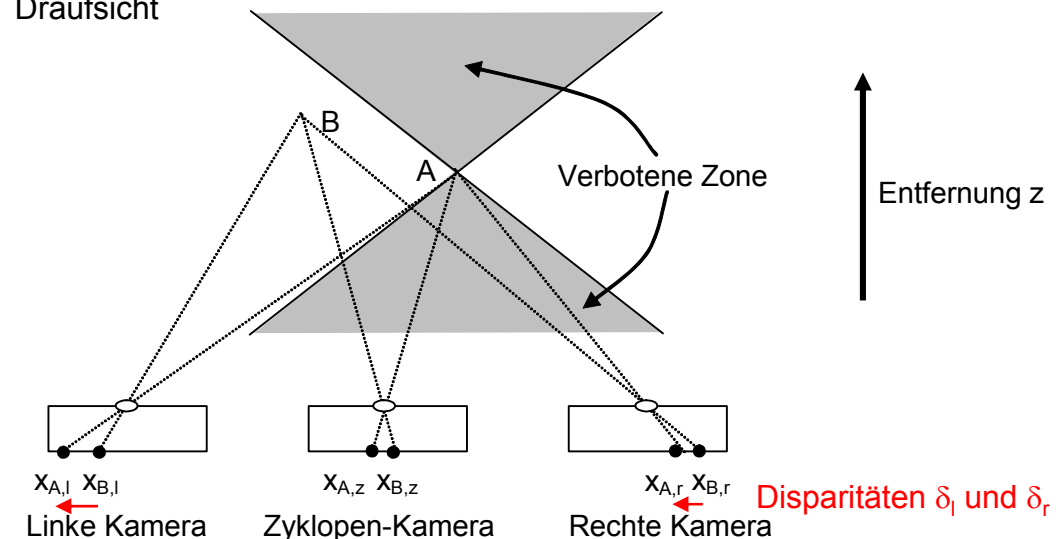
DG „klein“ (d.h. fast gleiche Raumtiefe) ist gut, wegen 2. Constraint!

(Versuche: Tiefenwahrnehmung nimmt mit wachsendem DG ab)

Disparitäts-Gradient

$$DG = \frac{|\text{Disparitäten - Differenz}|}{|\text{Zyklopen - Abstand}|} = \frac{|\delta_r - \delta_l|}{|(\delta_l + \delta_r)/2|}$$

Draufsicht



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

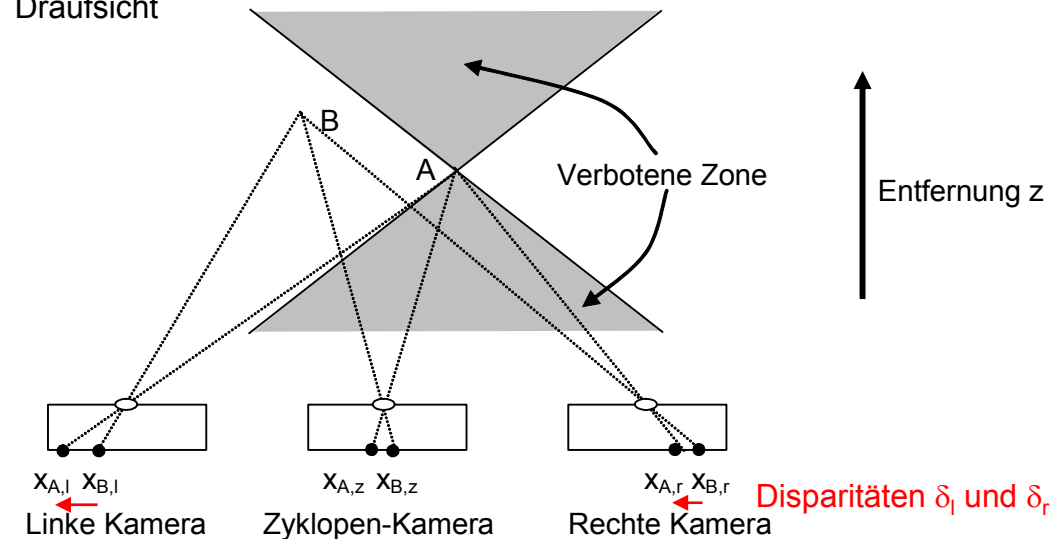
Disparitäts-Gradient

$$DG = \frac{|\text{Disparitäten - Differenz}|}{|\text{Zyklopen - Abstand}|} = \frac{|\delta_r - \delta_l|}{|(\delta_l + \delta_r)/2|}$$

Anschauliche Herleitung in der Draufsicht, d.h. ohne Berücksichtigung der y-Werte):

Steigung der Geraden durch A und B soll (betragsmäßig) klein sein!

Draufsicht



Maß für Δz (Disparitäten-Differenz):

$$\Delta z: = |\delta_r - \delta_l|$$

(denn: wenn die Disparitäten fast gleich sind, sind die z-Werte fast gleich)

Maß für Δx (Zyklopen-Abstand; siehe Zyklopenbild):

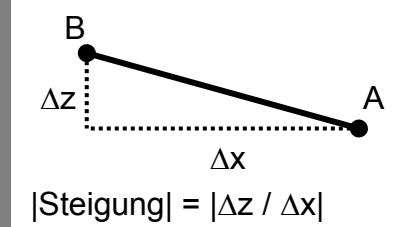
x-Abstand der beiden Punkte im Zyklopenbild (= x-Zyklopen-Abstand)

$$\Delta x: = |x_{AZ} - x_{BZ}| = |(\delta_l + \delta_r)/2|$$

Ein Bruch ist klein, wenn der Zähler klein und der Nenner vergleichsweise groß ist!

DG ist also klein, wenn

- * Δz klein ist (d.h. Disparitäten gleich orientiert und möglichst gleich groß);
- * Δx vergleichsweise groß ist; ist in diesem Falle erfüllt .

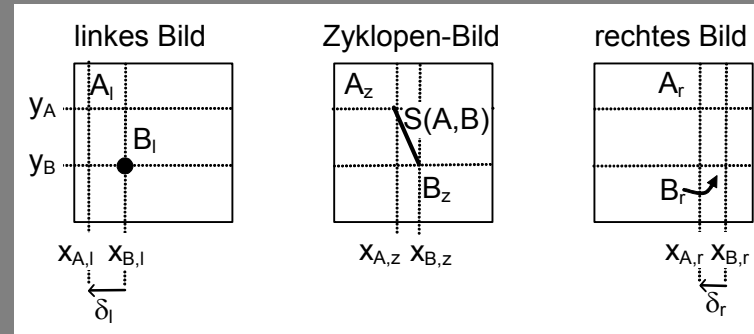


Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Definition des **Disparitäts-Gradienten DG** mit Berücksichtigung der y-Werte etwas aufwendiger; siehe Zyklopenbild:

Disparitäts-Gradient

$$\mathbf{DG} = \frac{|\text{Disparitäten - Differenz}|}{|\text{Zyklopen - Abstand}|} = \frac{|D(A,B)|}{|S(A,B)|}$$



$$D(A,B) = (x_{A,r} - x_{A,l}) - (x_{B,r} - x_{B,l}) = (x_{A,r} - x_{B,r}) - (x_{A,l} - x_{B,l}) = \delta_r - \delta_l$$

$$\begin{aligned} S(A,B) &= \sqrt{(x_{A,z} - x_{B,z})^2 + (y_A - y_B)^2} = \sqrt{\left(\left(\frac{x_{A,l} + x_{A,r}}{2}\right) - \left(\frac{x_{B,l} + x_{B,r}}{2}\right)\right)^2 + (y_A - y_B)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} * ((x_{A,l} - x_{B,l}) + (x_{A,r} - x_{B,r}))\right)^2 + (y_A - y_B)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} * (\delta_l + \delta_r)\right)^2 + (y_A - y_B)^2} \end{aligned}$$



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Konkretes Vorgehen beim PMF-Algorithmus :

(1.) Markante Stellen (Kandidaten) in den Bildern B und B' suchen; (am Beispiel: a, b und c sowie 1,2 und 3).

(2.) Alle möglichen Kandidaten-Paare (d.h. Raum-Positionen vor den Kameras) bilden und jeweils einen Wahrscheinlichkeitszähler $WZ(x,m)=0$ setzen; (am Beispiel: $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, \dots, c_3$ mit $WZ(a,1)=WZ(a,2)=\dots=WZ(c,3)=0$).

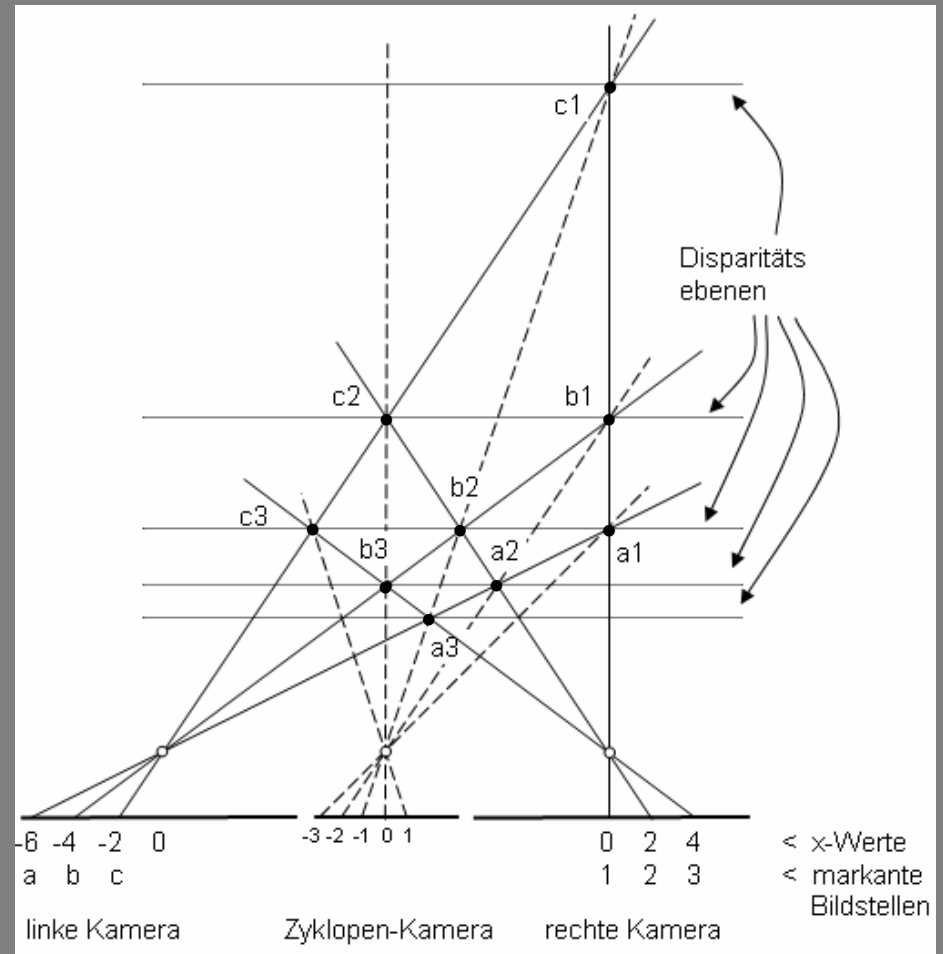
(3.) Zu jeder Zweier-Kombination von Kandidaten-Paaren den Disparitäts-Gradienten DG berechnen; wenn $DG(x_n, y_m) < \text{Schwelle}$, dann $WZ(x,n)++$ und $WZ(y,m)++$; (am Beispiel: $DG(a_1, b_2), DG(a_1, b_3), DG(a_1, c_2), \dots$ und die WZs hochzählen, falls Bedingung erfüllt ist).

(4.) Kandidaten-Paar(e) mit höchstem WZ als „korrekt“ ansehen (da global kleinstes DG) und von den weiteren Berechnungen ausschließen.

(5.) Weiter mit (2.), bis alles zugeordnet ist.

Bemerkung: die DGs müssen nicht mehr neu berechnet werden ... nur die WZs!

(Die ausführlichen Berechnungen zum Beispiel stehen im Skriptum am Ende von Kapitel 6).



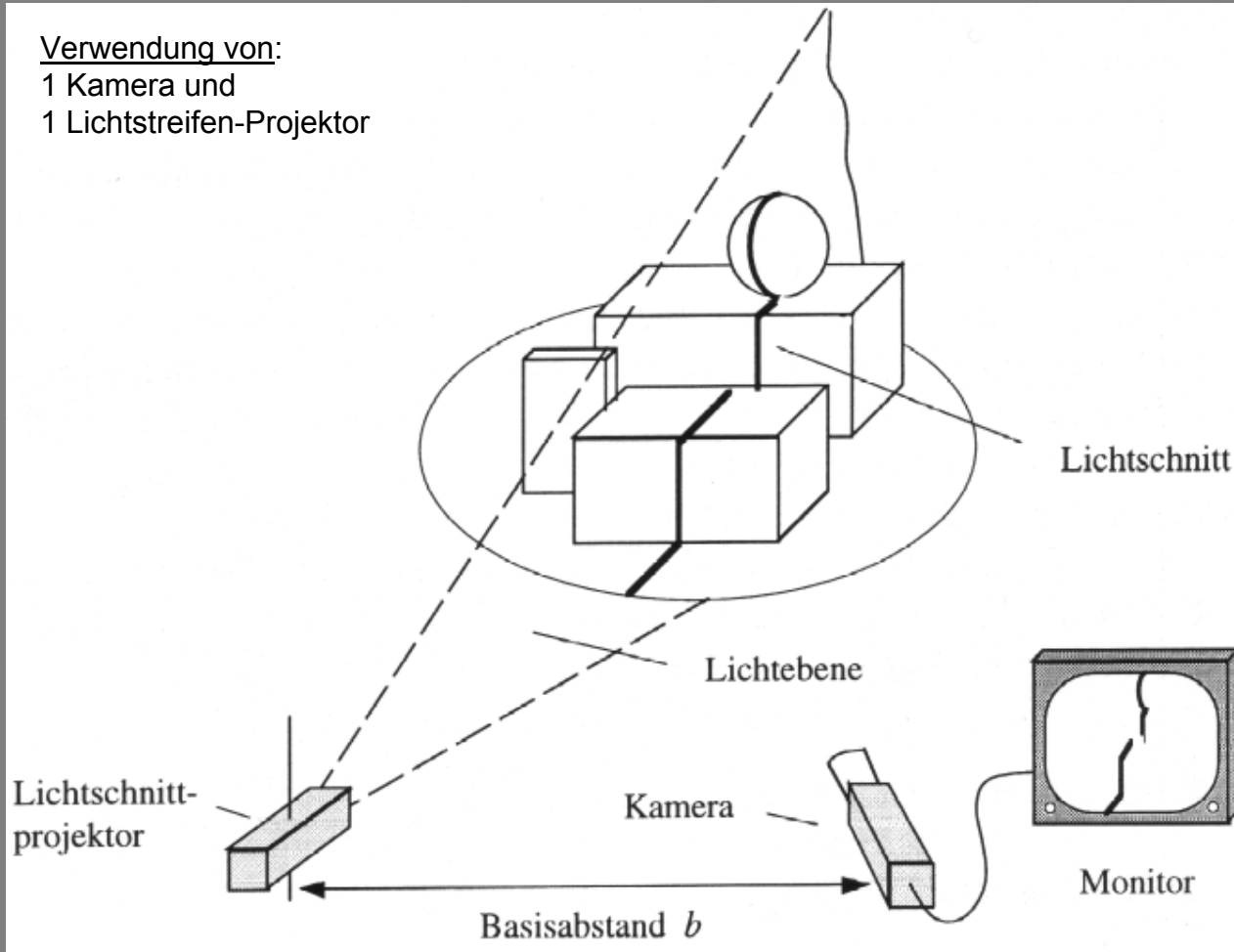
Disparitäts-Gradient (ohne y-Werte)

$$DG = \frac{|\text{Disparitäten} - \text{Differenz}|}{|\text{Zyklopen} - \text{Abstand}|} = \frac{|\delta_r - \delta_l|}{|(\delta_l + \delta_r)/2|}$$

Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Alternative zur Stereo-Bild-Auswertung: Lichtstreifenprojektion

Verwendung von:
1 Kamera und
1 Lichtstreifen-Projektor

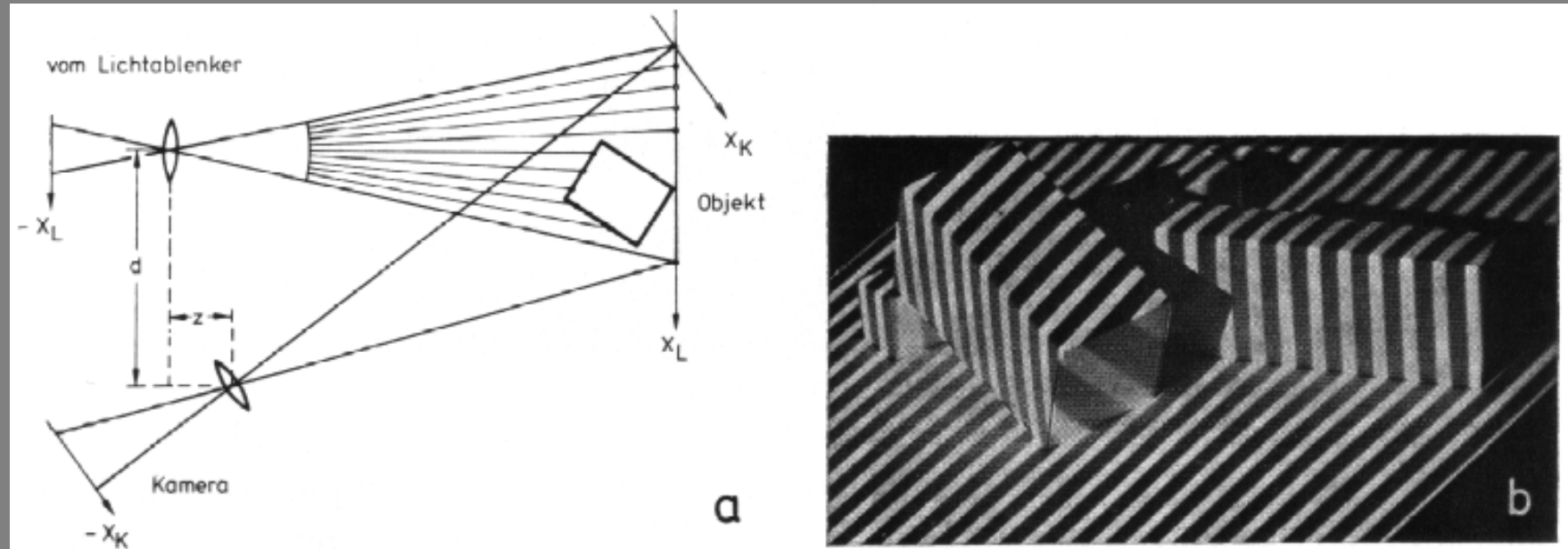


Quelle: „Computer Vision“;
R. Klette et al.; Vieweg



Comp. Vis.; Kap. 6: Stereobildauswertung

Lichtstreifenprojektion



Quelle: „Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten“;
H. Kazmierczak; Springer