

Statische Stereoanalyse

Gliederung:

1. Überblick, Ziel und Ablauf der statischen Stereoanalyse
2. Geometrie eines Stereobildaufnahmesystems
3. Annahmen und Einschränkungen
 - 3.1 Einschränkungen Aufgrund der Epipolarlinien
 - 3.2 Eindeutigkeit, Verträglichkeit und Ähnlichkeit
 - 3.3 Kontinuität von Disparitäten
 - 3.4 Verträglichkeit von Merkmalen
 - 3.5 Disparitätslimit und Disparitätsgradientenlimit
 - 3.6 Reihenfolge der abgebildeten Punkte in Bildern
4. ...mit mehr als 2 Kameras

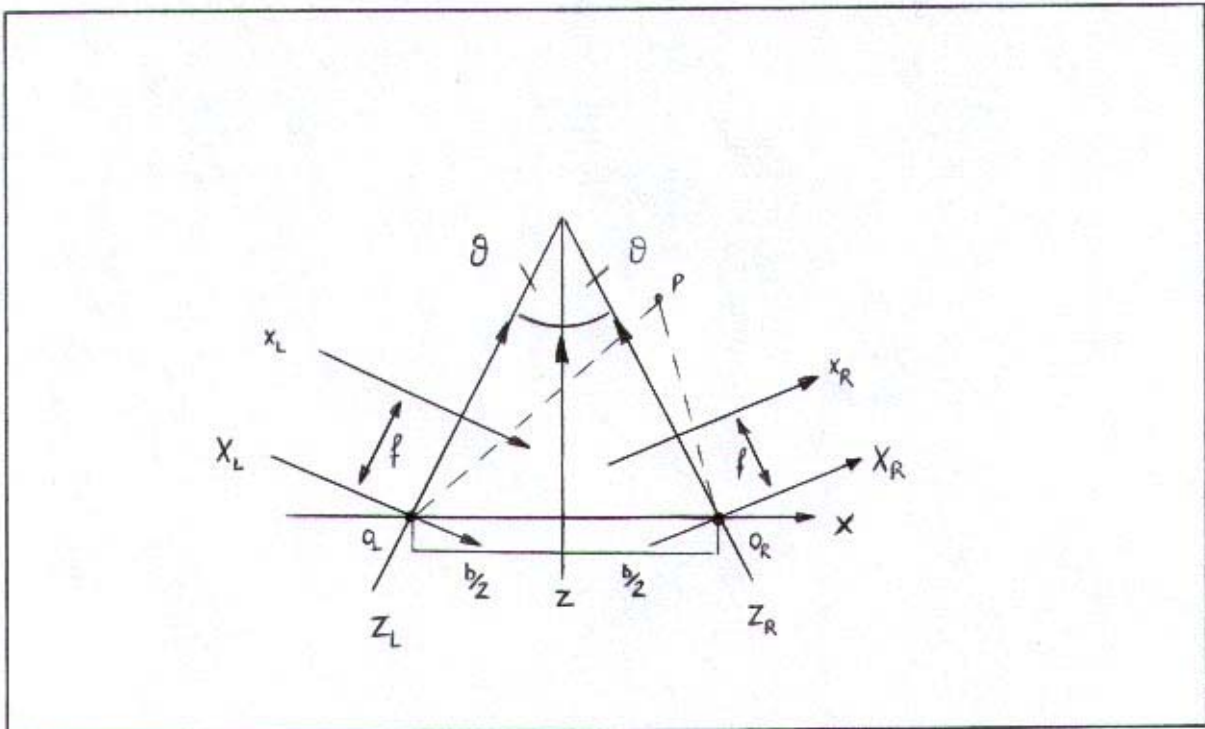
Schwerpunkt liegt bei Korrespondenzanalyse

1. Überblick, Ziel und Ablauf der statischen Stereoanalyse

- Bestimmung der Position im 3D Raum durch Betrachtung von 2 Standorten
- 2 Kameras nötig
- Stereo Vision: Umformung eines Bildpaares in eine 3D Repräsentationsform der sichtbaren Objektflächen
- In Anlehnung an menschliches Sehen
- Voraussetzungen: keine Bewegung von Objekt und Kamera in Zeitintervall
- **Ziel:** Bestimmung der Tiefeninformationen aus geometrischen Beziehungen
- **Ablauf:**
 - a) Bildaufnahme (Abtastfrequenz, Lichtquelle..)
 - b) Kameramodellierung/ Kalibrierung (Bestimmen der Geometrie der Kamera, Relation mit Weltkoordinaten)
 - c) Merkmalsextraktion (bestimmen der signifikanten Bildmerkmale)
 - d) Korrespondenzanalyse (Bestimmung der korrespondierenden Elemente in beiden Bildern)
 - f) Tiefenwertbestimmung (Berechnung der entsprechenden Tiefenwerte aus den Ergebnissen der Korrespondenzanalyse)
 - g) Interpolation/Approximation der sichtbaren Oberfläche

2. Geometrie eines Stereobildaufnahmesystems

Abbildung:



2 Kameras mit Gleicher Brennweite f

- Linsenzentren O_L und O_R durch Basislinie verbunden b
- Winkel 2Θ zwischen den Achsen
- 2 Koordinatensysteme (links, rechts)

Überführung von (X, Y, Z) in (X_L, Y_L, Z_L) durch Rotation um Θ um die Y -Achse im Uhrzeigersinn, dann Translation um $b/2$
 Nach links :

$$\begin{array}{ccc} \cos\Theta & 0 & \sin\Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Theta & 0 & \cos\Theta \end{array} \begin{array}{l} X-b/2 \\ Y \\ Z \end{array} = \begin{array}{l} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{array}$$

für rechts analog.

Punkte werde in beide Kameras abgebildet, wobei
 $x_l = f \cdot X_L / Z_L$ und $y_l = f \cdot Y_L / Z_L$ (für rechts dann analog)
 (x_l, y_l) sind Punkte in der Kamera)

Wenn korrespondierende Punkte bestimmt sind, 3D Position berechnen:

$$x_l = \frac{\cos\Theta(X-b/2) + \sin\Theta Z * f}{-\sin\Theta(X-b/2) + \cos\Theta Z} \quad x_r = \frac{\cos\Theta(X+b/2) - \sin\Theta Z * f}{\sin\Theta(X+b/2) + \cos\Theta Z}$$

für die Y-Werte dann analog:

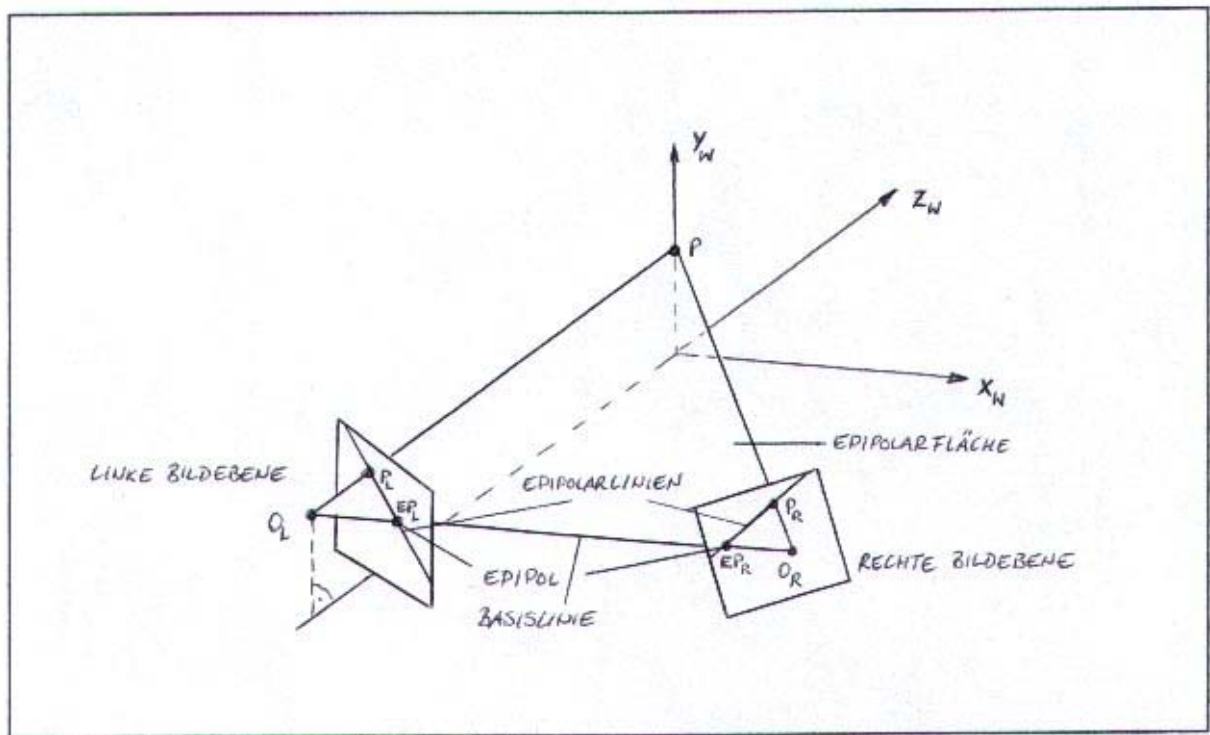
$$y_l = \frac{fY}{-\sin\Theta(X-b/2) + \cos\Theta Z} \quad y_r = \frac{fY}{\sin\Theta(X+b/2) + \cos\Theta Z}$$

Siehe Matrix Seite zuvor.

Dann nach X, Y, Z auflösen.

Daraus ergibt sich ein Gleichungssystem, das gelöst werden muss.

Vereinfachung des Sachverhaltes durch epipolare Geometrie:



Begriffe:

Epipolarfläche : Wird durch 2 Geraden aufgespannt

- Sichtstrahl und
- Basislinie

Epipolarlinie: alle Punkte der Epipolarfläche werden auf diese Linie abgebildet. Sie ist die Schnittgerade von Bildebene und Epipolarfläche.

Epipol: Basislinie durchstößt Bildebenen der Kameras

Punkt P der Szene wird P_r und P_l abgebildet

Sonderfall = Kamerawinkel $\Theta = 0$, Z- Werte identisch

$Z = \frac{f \cdot b}{(x_l - x_r)}$, f, b sind fest => Tiefenwert Z umgekehrt proportional zur Disparität $(x_l - x_r)$.

= Standardstereogeometrie

3. Annahmen und Einschränkungen

In Regel Mehrdeutigkeiten – viele Kandidaten für Korrespondenz

Versuch: Eliminieren der Mehrdeutigkeiten durch Verwendung von Zusatzinformationen (Objektparameter z.B.)

4 geometrische Einschränkungen und
6 Einschränkungen durch Objekteigenschaften :

geometrische:

- Lage der Epipolarlinien
- Eindeutigkeit der Zuordnung
- Verträglichkeit von Intensitätswerten
- geometrische Ähnlichkeit der Merkmale

Einschränkungen durch Objekteigenschaften:

- Kontinuität der Disparitäten
- Kontinuität entlang der Kanten
- Verträglichkeit der Merkmale
- Disparitätslimit
- Disparitätsgradientenlimit
- Reihenfolge der abgebildeten Punkte

Sinn : weniger Rechenzeit durch weniger Mehrdeutigkeit!

3.1 Einschränkung aufgrund der Lage der Epipolarlinien

Epipolareinschränkung: Punkte in beiden Bildern können nur korrespondieren, wenn sie auf den dazugehörigen Epipolarlinien liegen.

Problem: ständige neue Berechnung der Epipolarlinien, wenn Kameraposition verändert wird.

Bei Standardstereogeom. stimmen Epipolarlinien mit horizont. Abtastlinien überein. Aber: keine explizite Berechnung nötig.

Problem: Erschütterungen bei Bildaufnahme
Abhilfe: + / - Intervall wird bei der Korrespondenzanalyse verwendet, sonst nur eine Zeile.

Problem: viele horizontale Linien im Objekt= viel Mehrdeutigkeit

Abhilfe: Aufnahme mit beliebiger Kalibrierung,
unter Ausnutzung der Kenntnisse über die Aufnahme-
geometrie eine Entzerrung durchführen.

3.2 Eindeutigkeit, Verträglichkeit und Ähnlichkeit

Eindeutigkeitsannahme: jedes Pixel eines Bildes kann nur mit genau einem Pixel des anderen Bildes korrespondieren.

Ausnahme: 2 Punkte auf Sichtstrahl von Kamera 1, jedoch in Kamera 2 getrennt sichtbar

Verträglichkeitsannahme für Intensitätswerte:
Punkte in 2 Bildern können nur dann korrespondieren, wenn die Differenz der Intensitätswerte gering ist.

$$| E(x_l, y_l) - E(x_r, y_r) | = \text{gering}$$

Ausnahme: Glanzlichter/ Diskretisierungsfehler.
In Praxis: Einbeziehen von Nachbarschaftsbereichen des Pixels

Geometrische Ähnlichkeit: 2 Annahmen

Winkelkriterium: Liniensegmente S_l, S_r korrespondieren dann, wenn die Differenz der Orientierungen gering ist.

$$| W_l - W_r | = \text{gering}$$

Längenkriterium: Liniensegmente S_l, S_r mit den Längen L_l und L_r korrespondieren dann, wenn

$$| L_l - L_r | = \text{gering}$$

3.3. Kontinuität von Disparitäten

Disparität: Tiefeninformation, zeigt wie weit entfernt ein Objekt vom Betrachterstandpunkt entfernt ist. Wichtig für Erkennung von Verdeckungen.

Annahme: Objektoberfläche ist opak und glatt => Disparitäten variieren stetig.

Kontinuitätsannahme für Disparitäten:

Wenn 2 Punkte, einer im linken, einer im rechten Bild miteinander korrespondieren, so kann ein benachbarter Punkt im linken Bild nur mit einem benachbarten Punkt im rechten Bild korrespondieren, wenn die absolute Differenz der Disparitätswerte gering ist.

Bei der Standardstereogeometrie heißt das:

$$\| |x_{l1} - x_{lr1}| - |x_{l2} - x_{r2}| \|$$

Kontinuitätsannahme von Disparitäten entlang der Kanten:

Wenn 2 Kantenpunkte, einer im linken, einer im rechten gefilterten Bild miteinander korrespondieren, so kann ein benachbarter Kantenpunkt im linken Bild nur mit einem benachbarten Kantenpunkt im rechten Bild korrespondieren, wenn die absolute Differenz der Disparitätswerte gering ist.

$$\| |x_{l1} - x_{lr1}| - |x_{l2} - x_{r2}| \|$$

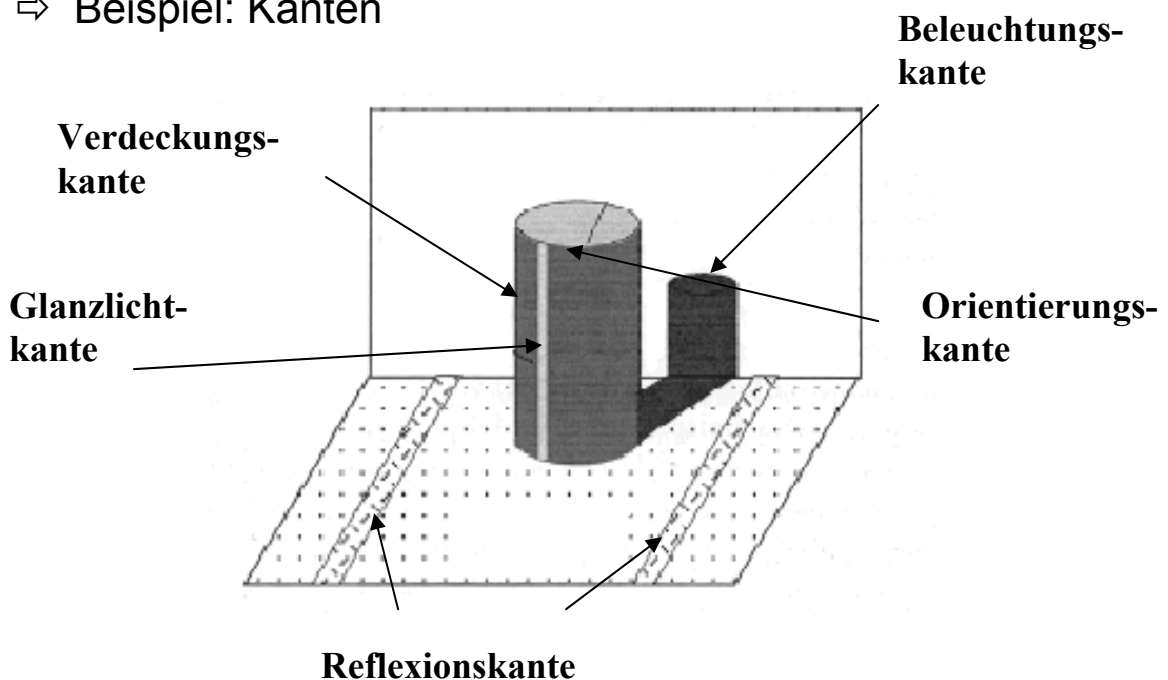
Folgerung: Disparitätswerte entlang der Kanten ändern sich nur geringfügig.

3.4 Verträglichkeiten von Merkmalen

Verträglichkeitsannahme für Merkmale:
Erweiterung der Intensitätsannahme.

Merkmale in verschiedenen Stereobildern können nur dann korrespondieren, wenn sie die gleiche physikalische Ursache in der Szene haben.

- ⇒ Klassifizierung von Merkmalen nach phys. Ursachen.
- ⇒ Beispiel: Kanten



physikalische Ursachen von

Orientierungskanten: entstehen durch Diskontinuitäten der Orientierung von Objektoberflächen

Reflexionskanten: entstehen durch Diskontinuitäten der Reflexionseigenschaften (Oberflächenmaterialänderung z.B.)

Beleuchtungskanten: entstehen durch Diskontinuitäten in der Beleuchtung von Objektoberflächen

Diese Kanten sind für Stereoanalyse wichtig, die anderen nicht!

Diese Kanten sind von der Betrachterposition unabhängig.

„Bootstrap – Problem“:

Zuordnung der Objektkanten zu Bildkanten unmöglich, weil für die Klassifizierung der Kanten eine 3D Rekonstruktion der Kanten nötig ist, die aber auf eben diesen Zuordnungen basiert.

3.5 Disparitätslimit und Disparitätsgradientenlimit

Es existiert ein max.-Wert zwischen Bildern, die in unserem visuellen System fusionieren können.

Disparitätslimit: für alle korrespondierende Punkte im linken und rechten Bild, existiert ein max. Disparitätswert d_{max} , mit

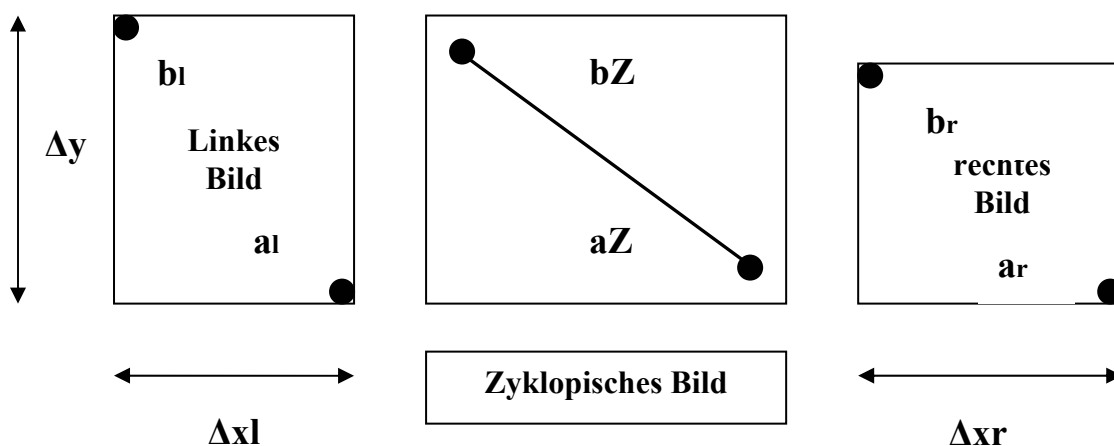
$$\sqrt{(x_l - x_r)^2 + (y_l - y_r)^2} < d_{max}.$$

Vorgabe eines Disparitätslimit. =>

Darüber kann man einen vom Schwellenwert abhängigen Mindestabstand zw. Objekten der Szene und dem Kamerasystem definieren. (auch anders rum)

Disparitätsgradientenlimit:

Bestimmt binokulare Fusion im visuellen System. Ist es zu groß (~1) findet keine Fusion statt.



$$\Gamma_d = \frac{|\Delta x_l - \Delta x_r|}{\sqrt{1/4 (\Delta x_l - \Delta x_r)^2 + \Delta y^2}}$$

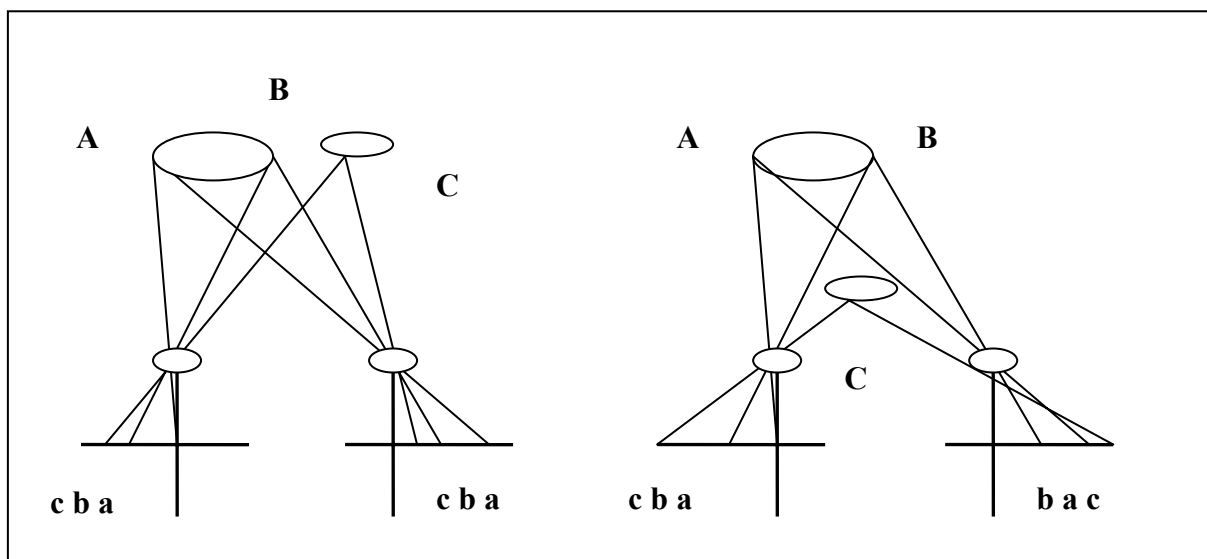
Definition: 2 benachbarte Punktepaare im linken und im rechten Bild korrespondieren nur dann miteinander, wenn der Disparitätsgradient ein Limit nicht überschreitet $\Gamma_d < \Gamma_{max}$.

In der Praxis liegt der Schwellenwert Γ_{max} zwischen 0,5 bis 2.

3.6 Reihenfolge der abgebildeten Punkte in Bildern

Ordnungsannahme:

Punkte, die in einem Stereobild auf einer Epipolarlinie liegen, werden in genau derselben Reihenfolge auf der korrespondierenden Epipolarlinie des anderen Bildes abgebildet.

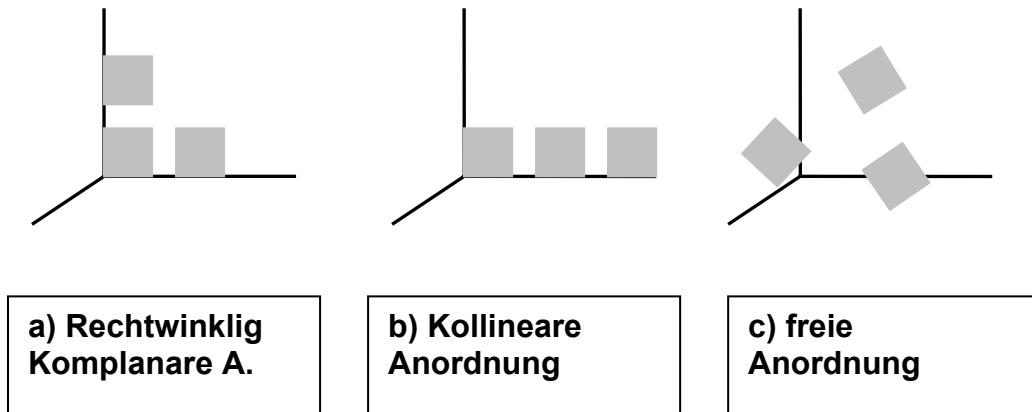


Vorraussetzung: Objekte haben alle denselben Abstand zum Bildaufnahmesystem.

Ist dieser Abstand sehr klein, und die Tiefendifferenz sehr groß, kann diese Annahme nicht getroffen werden.

4. ...mit mehr als 2 Kameras

3 Arten, die Kameras anzuordnen:



zu a) / b) optische Achsen parallel und Bildebenen komplanar

horizontale Abtastlinien = Epipolarlinien (b)

horizontale und vertikale Abtastlinien = Epipolarlinien (a)

Nachteil von b) : Mehrdeutigkeiten durch viele Horizontallinien
In allen Epipolarebenen

Nachteil von a) : hohe Anforderung an Kamerapositionierung,
dafür Nutzung vertikaler wie auch horizontaler
Abtastlinien

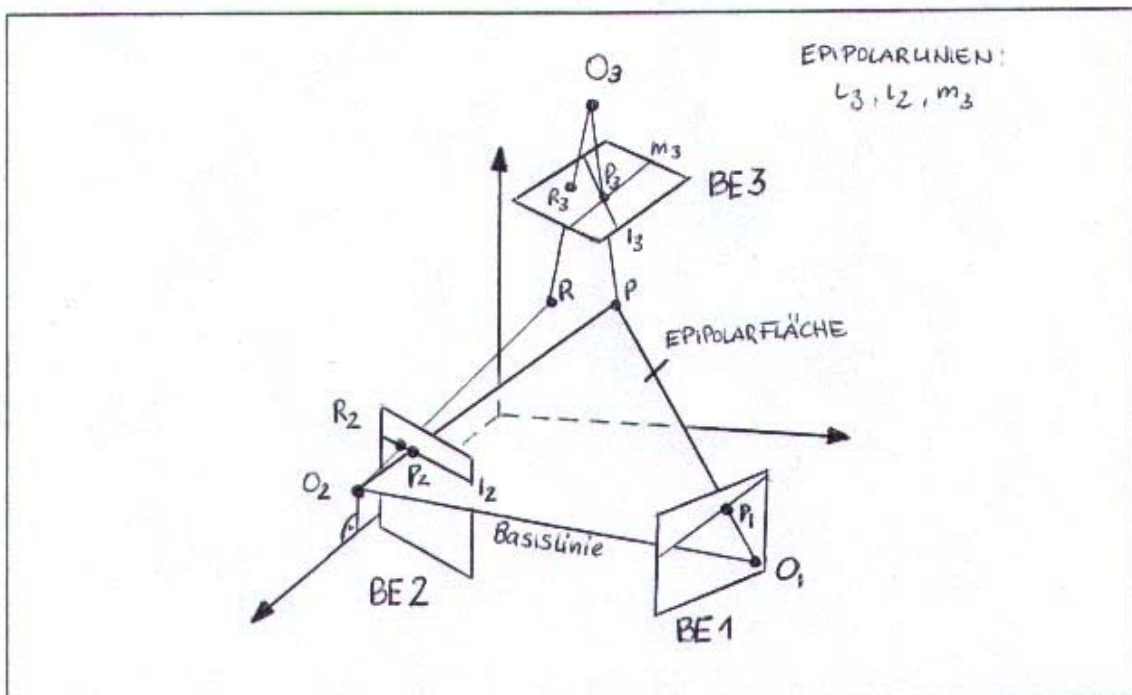
Nachteil von c) : immer neue Berechnung der Epipolarlinien bei
Änderungen der Kameras aber dafür wenige
Einschränkungen

Bis zu 8 Kameras in einer Anordnung sind bekannt

Zuordnungsstrategien:

- 1.) Pixel werden zugeordnet, die in allen (z.B. 3) Bildern Korrespondieren (für die eine Korrespondenz bestimmt wurde)
 - geringe Fehlerrate
 - aber auch wenige Zuordnungen
 - Verdeckungen können so aber zugeordnet werden
 - Erhöhung der Anzahl der 3D Stützstellen
 - Sehr sorgfältige Korrespondenzanalyse nötig
- 2.) Alle Pixel werden zugeordnet, für die in mindestens 2 Bildern eine Korrespondenz bestimmt wurde

Aufgabe: in drei Bildebenen sind Bildpunkte sichtbar, die aufgrund der geometrischen Gesetzmäßigkeiten der freien Kameraanordnung zugeordnet werden sollen.



Problem: mit zwei Bildebenen nicht eindeutig
Abhilfe: die dritte Bildebene mit Ihren Epipolarlinien