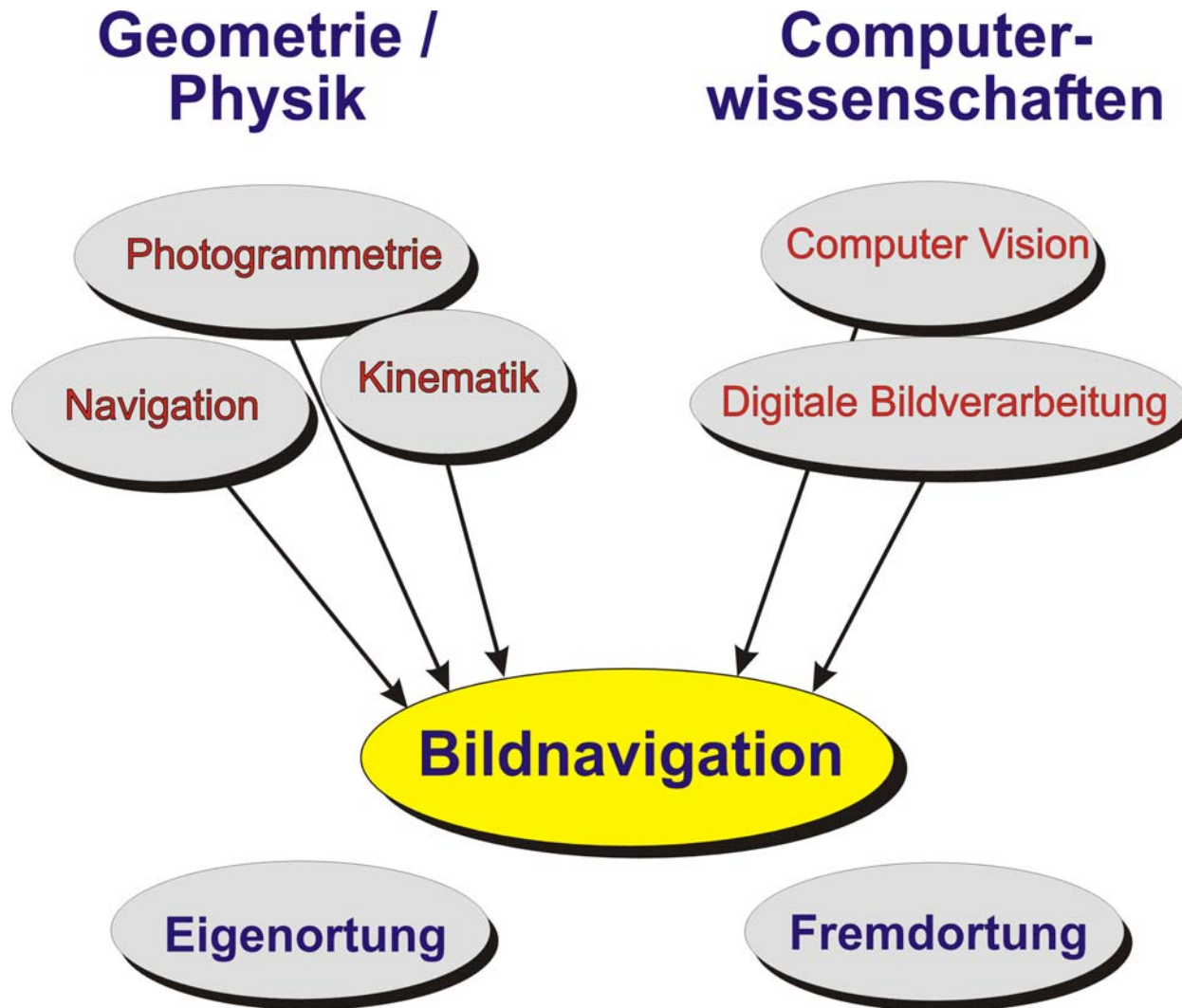


Bildgestützte Navigation

Image-based navigation

1 Einleitung



2 Definitionen

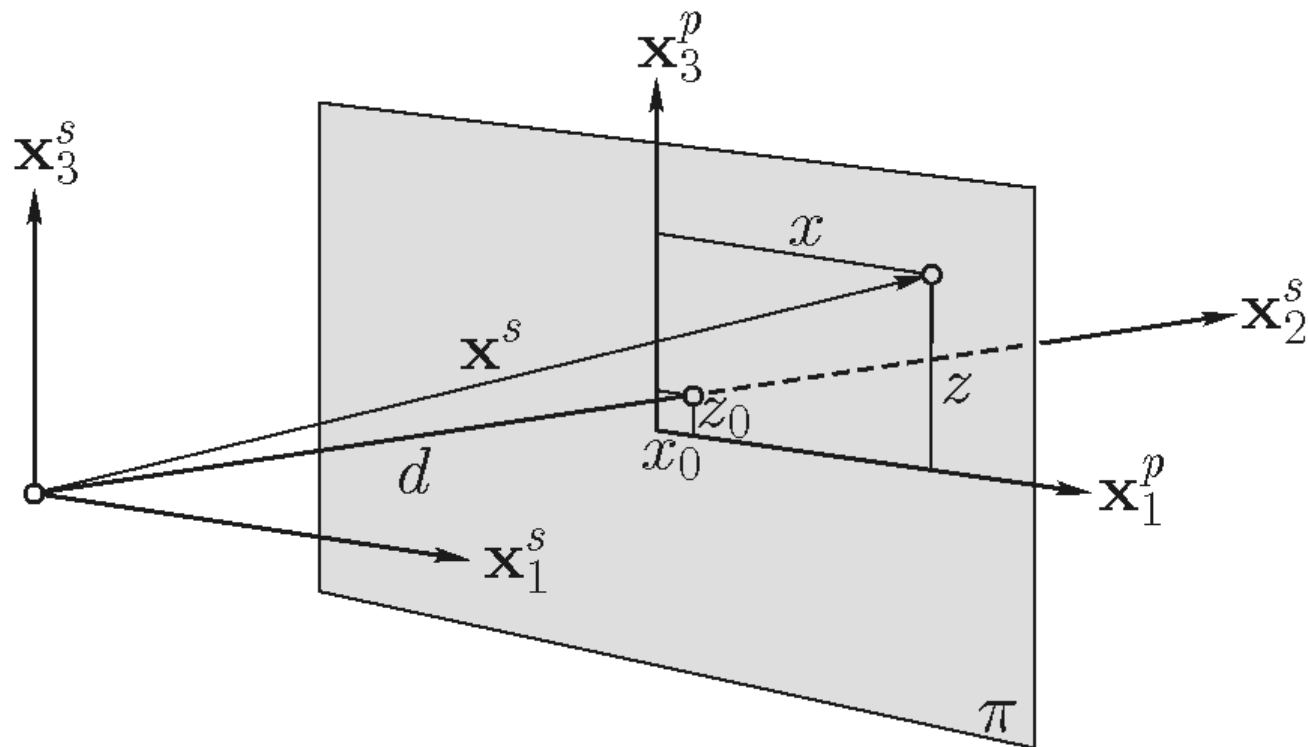
- **Zeitliche Bildfolgen**
 - Zeitlich aufeinander folgende Aufnahmen eines Sensors
- **Räumliche Bildpaare**
 - Gleichzeitige Aufnahmen von räumlich getrennten Sensoren
- **Hybride Bildfolgen**
 - Kombination aus zeitlichen Bildfolgen und räumlichen Bildpaaren

3 Grundlagen – Geometrie (1)

- Koordinatensysteme (1)

- Kamerasystem

- Sensorsystem (sensor frame) ... s
 - Bildkoordinatensystem (planar frame) ... p



3 Grundlagen – Geometrie (2)

- Koordinatensysteme (2)
 - Modellsystem (model frame)
 - Objektsystem (body frame)
 - Szenensystem (superior frame: ECEF, local-level, ...)
- Beispiel: **Objektsystem**

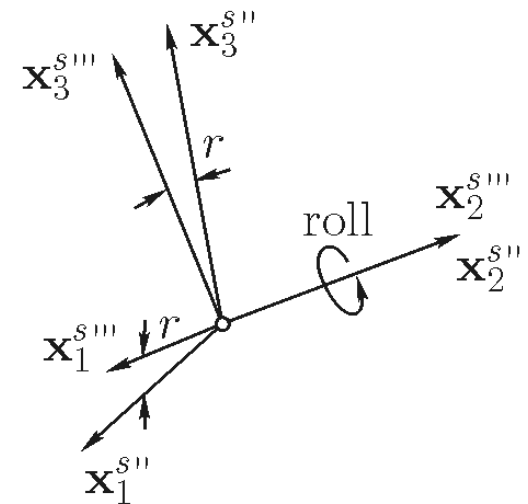
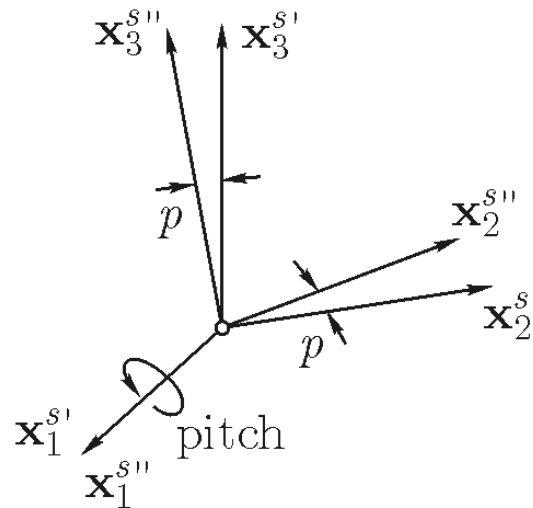
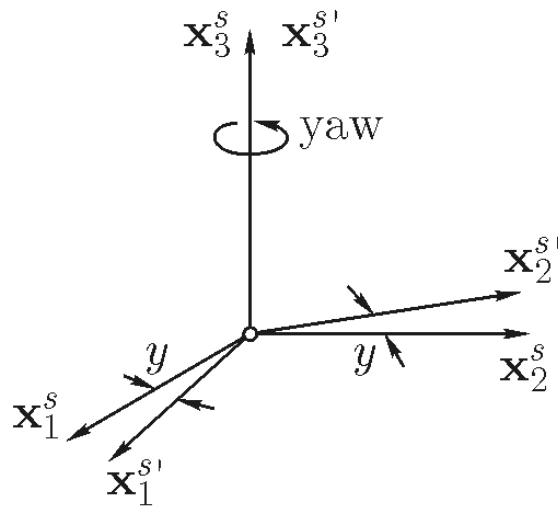


3 Grundlagen – Photogrammetrie (1)

- Monoverfahren
 - Innere Orientierung, Sensorkalibrierung
 - Ermittlung der momentanen Lage des Projektionszentrums der optischen Abbildung bezogen auf die Bildebene des Sensors
 - (Bestimmung der Objektivverzeichnung)
 - Äußere Orientierung
 - Ermittlung von Lage und Verdrehung eines Sensors bezogen auf ein übergeordnetes Modell- oder Szenensystem
 - Parameter: 3 Verschiebungen, 3 Drehwinkel
 - Bestimmung: z.B. durch Linearisierung mit Überbestimmung (Direkte Lineare Transformation, DLT)
 - Punktbestimmung
 - Z.B. durch Bildung von Schnitten mit einem Geländemodell

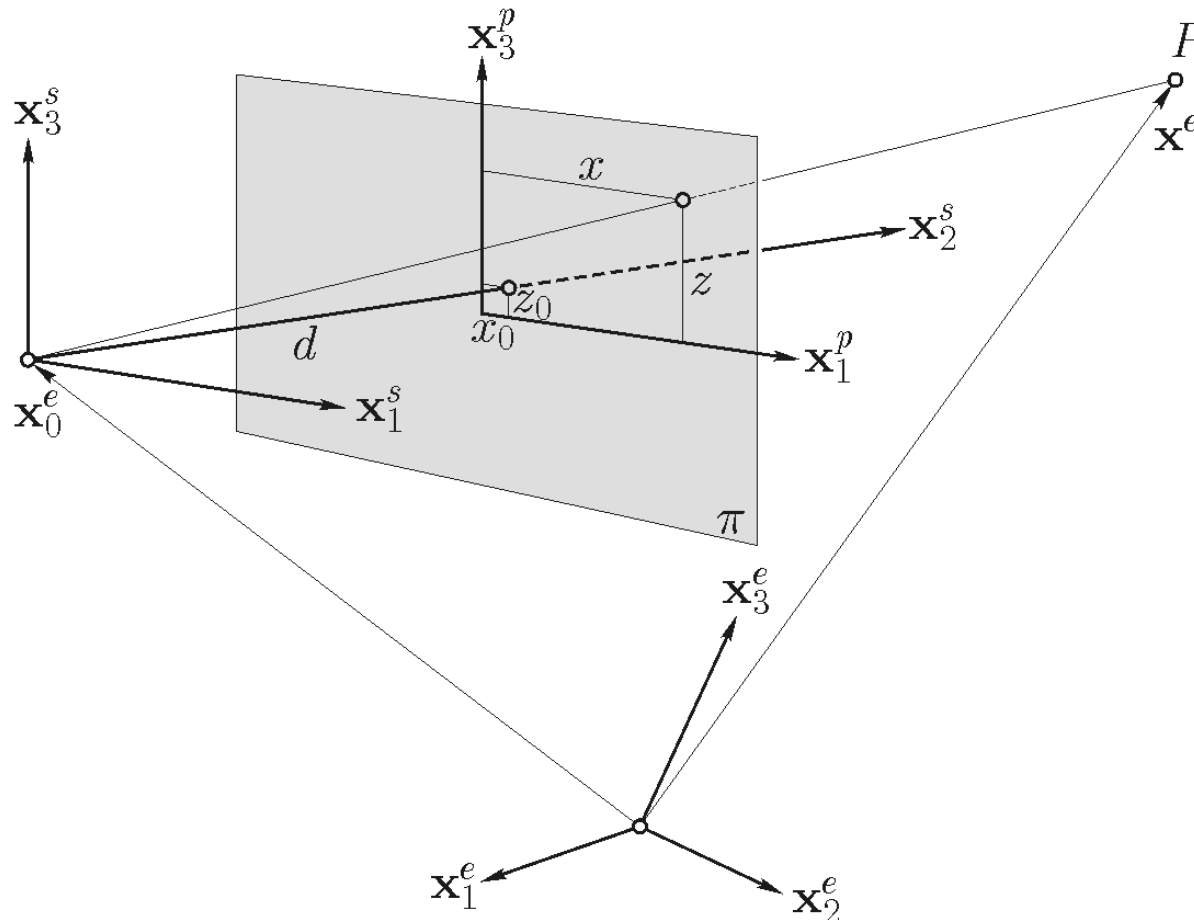
3 Grundlagen – Photogrammetrie (2)

- Äußere Orientierung – **Drehwinkel** (bzgl. Local-level)



3 Grundlagen – Photogrammetrie (3)

- Äußere Orientierung über **Passpunkte**

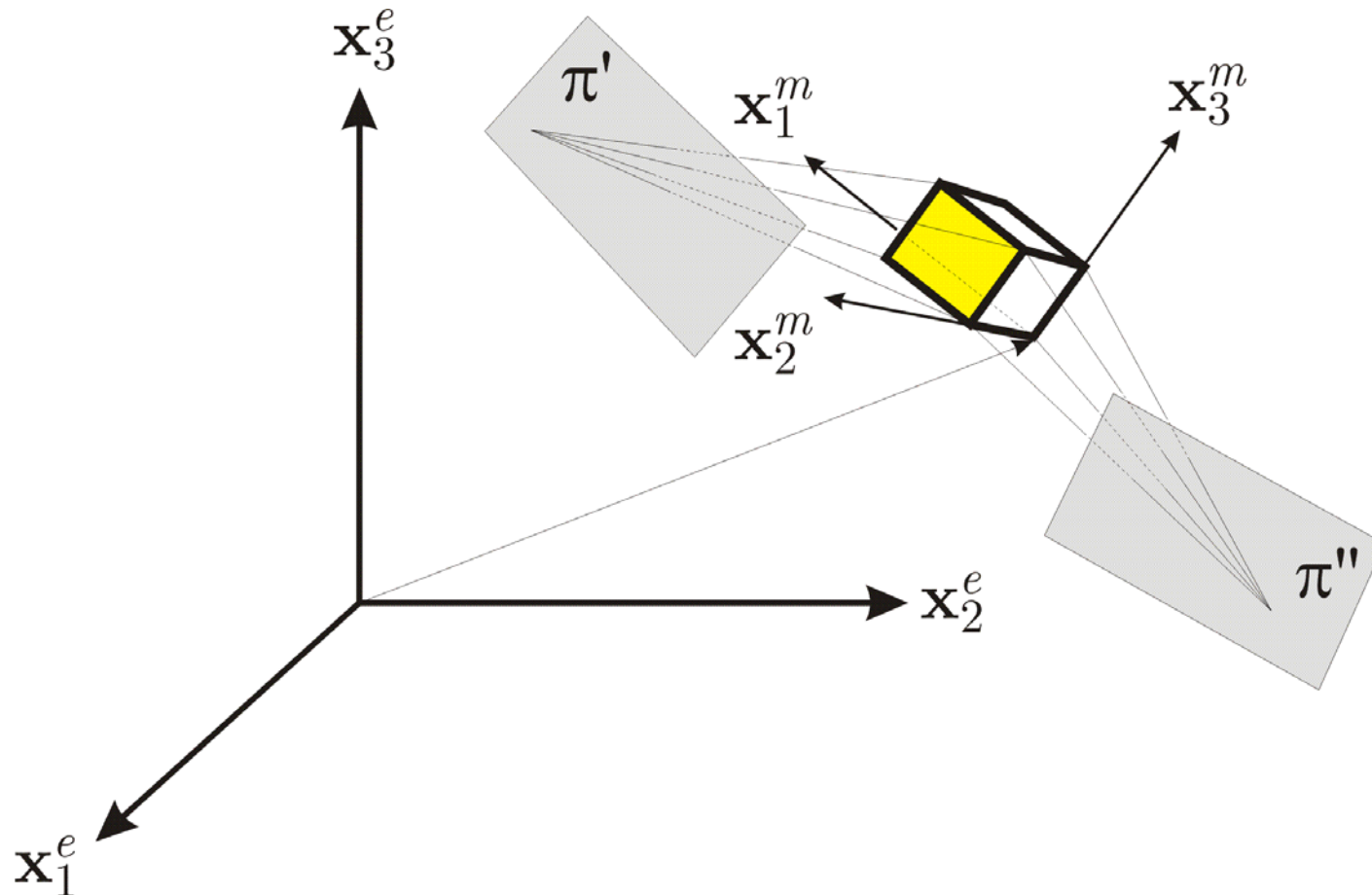


3 Grundlagen – Photogrammetrie (4)

- Stereo-/Multibildverfahren
 - Relative Orientierung
 - Grundbeziehung: Komplanaritätsbedingung
 - Parameter: 5 (5 homologe Punkte erforderlich)
 - Methoden: Folgebildanschluss, (unabhängige Bilddrehungen)
 - Resultat: 3D-Modell der Szene
 - Absolute Orientierung
 - Räumliche Drehstreckung des relativ orientierten 3D-Modells zur Einpassung in ein übergeordnetes Koordinatensystem
 - Parameter: 7 (3 Verschiebungen, 3 Drehungen, Maßstab)

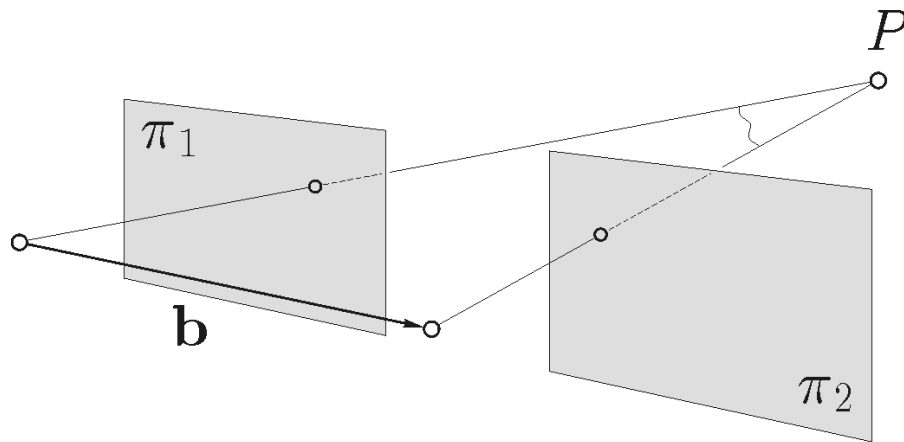
3 Grundlagen – Photogrammetrie (5)

- Absolute Modellorientierung:



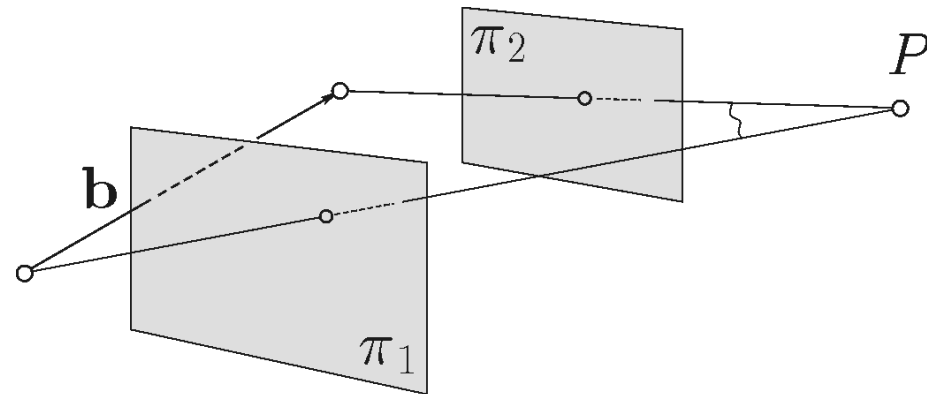
3 Grundlagen – Photogrammetrie (6)

- Mögliche **Anordnung** von Stereobildern:



(a)

Standard



(b)

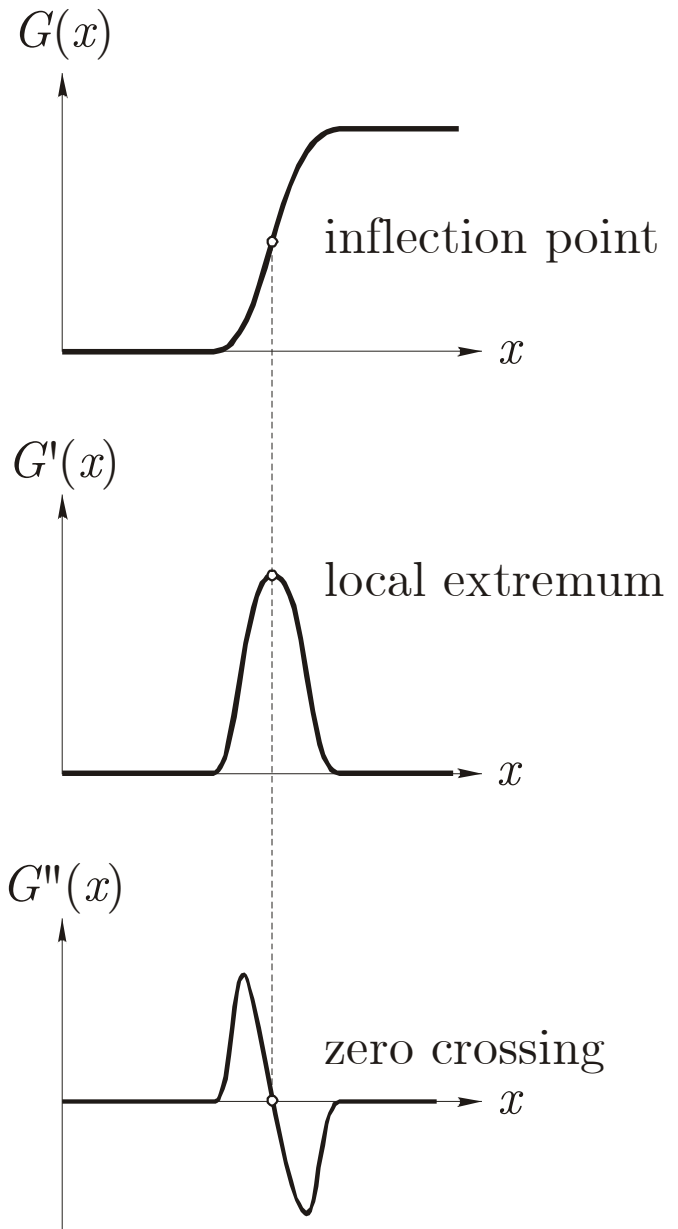
Axial

3 Grundlagen – Digitale Bildverarbeitung (1)

- Erzeugung digitaler Bilder
 - Zeitliche Diskretisierung
 - Zentralprojektion des 3D-Raumes in die 2D-Bildebene
 - Räumliche Diskretisierung der Bildebene (Rasterung)
 - Radiometrische Diskretisierung
- Bearbeitung digitaler Bilder
 - Bildverbesserung
 - Kontrastverbesserung
 - Rauschunterdrückung
 - Filterung
 - Bildglättung (Tiefpass Filter)
 - Extraktion markanter Strukturen (Hochpass Filter)

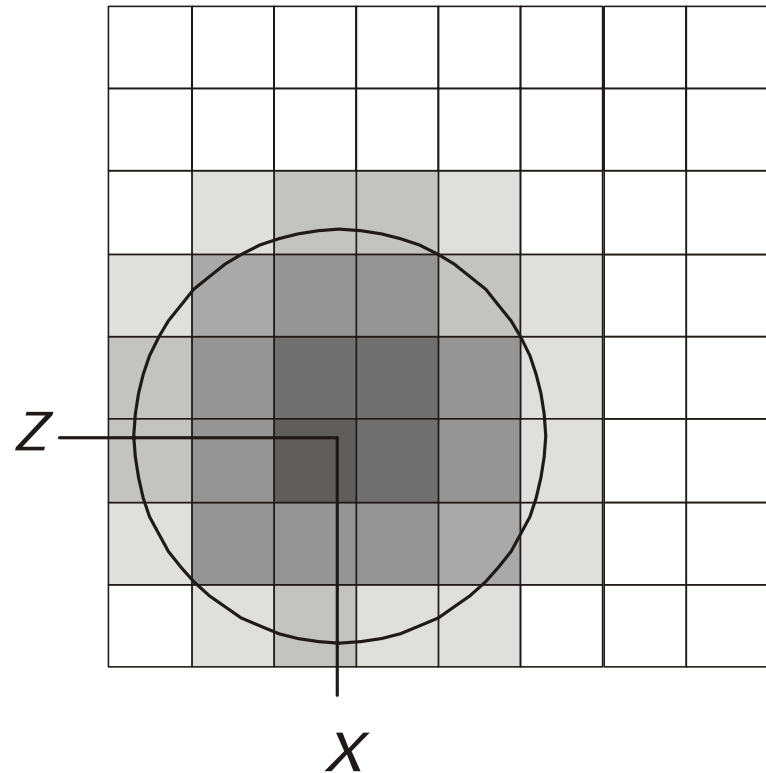
3 Grundlagen – Digitale Bildverarb. (2)

- Kantenfinder
 - Filter der ersten Ableitung
 - Suchen lokale Extrema der Grauwertänderung
 - Filter der zweiten Ableitung
 - Suchen Nulldurchgänge des Krümmungsbildes



3 Grundlagen – Digitale Bildverarbeitung (3)

- Punktefinder
 - Kriterien an Punkte:
 - Deutlichkeit
 - Seltenheit
 - Interpretierbarkeit
 - Invarianz
 - Stabilität
 - Qualität
 - Spezielle Operatoren für Subpixel-Detektion



3 Grundlagen – Artificial Intelligence (1)

- Motivation:
 - **Traditionelle Navigation:** geometrische Aufgabenstellung
 - **Bildnavigation:** kann Sensoren erlauben, sich in ihrer Umgebung „selbstständig“ zurecht zu finden
 - Grund: Anlehnung der Bildnavigation an den **Sehsinn** des Menschen (primärer Sinn zur Orientierung in der Umgebung)
 - Sehsinn: nicht nur optische Wahrnehmung sondern **Interpretation** des Wahrgenommenen durch das Gehirn
 - Autonom agierende Systeme können aus Bilddaten Schlüsse ziehen → **Wissensbasis** erforderlich

3 Grundlagen – Artificial Intelligence (2)

- Forschungsgebiete:

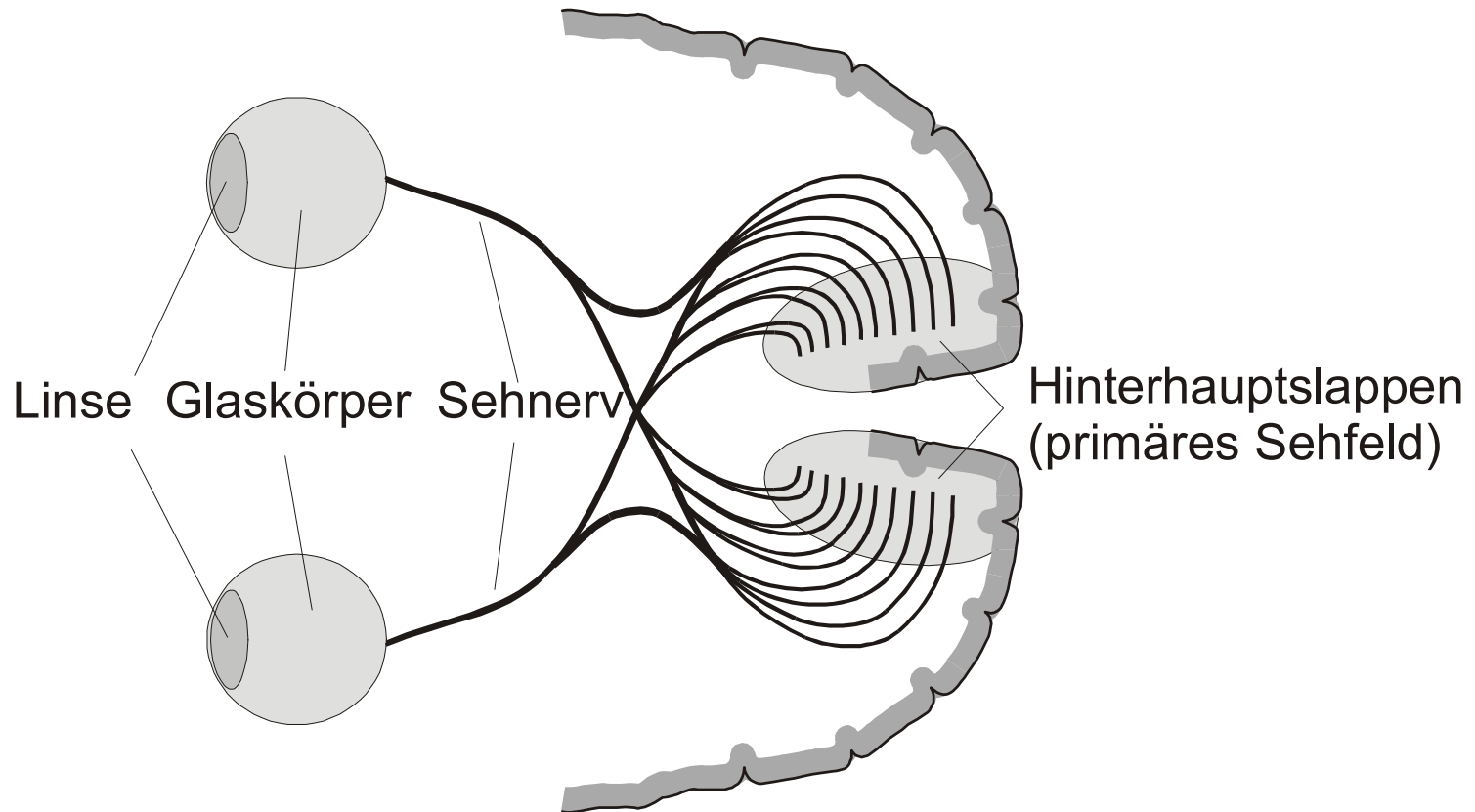
- Expertensysteme
- Natürlichsprachliche Schnittstellen
- Spracherkennung und Spracherzeugung
- Computer Vision
- Robotik

➔ Computer Vision

- Nachahmung des menschlichen Sehsinns („Human Vision“)

3 Grundlagen – „Human Vision“ (1)

- **Neurophysiologie:** „Wie funktioniert die Wahrnehmung?“



3 Grundlagen – „Human Vision“ (2)

– Kognitive Psychologie: „Was nimmt man wahr?“



Nähe



Ähnlichkeit



Geschlossenheit



Fortsetzung



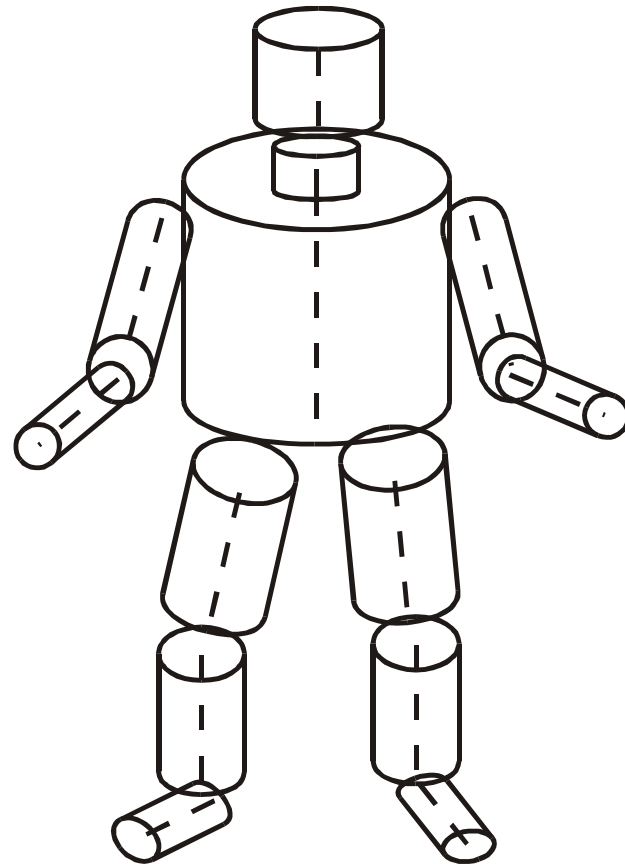
Symmetrische Paare

3 Grundlagen – Computer Vision (1)

- Verwendung in der Bildnavigation:
 - Objekt- und Mustererkennung
- Interne Repräsentation von Objekten/Mustern
 - Aufbau und Struktur der Wissensbasis zur Objekterkennung
 - Varianten – z.B.:
 - Oberflächenmodelle vs. Raummodelle
 - Constructive Solid Geometry vs. Relationale Strukturen
 - Explizite vs. Exemplarische Verspeicherung
 - Geometrische vs. Radiometrische Modelle

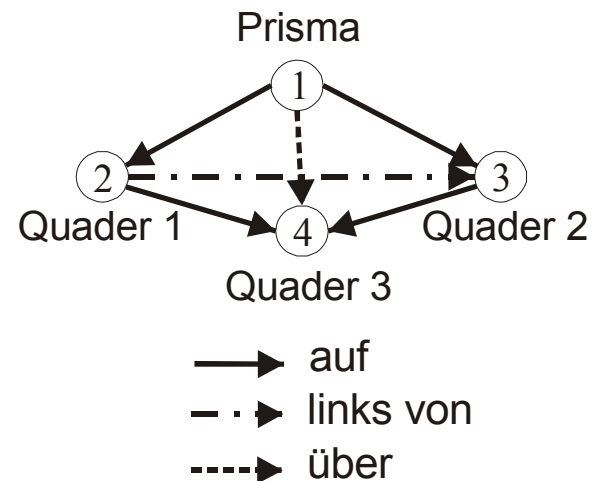
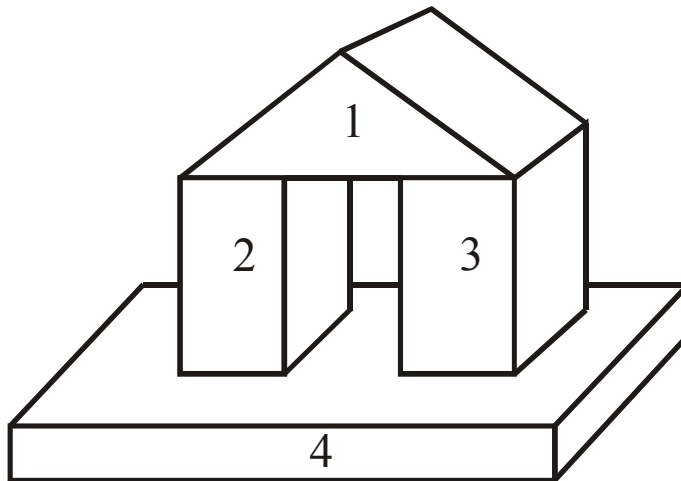
3 Grundlagen – Computer Vision (2)

- Modellbeispiele:
 - (1) Generalized Cones
 - Oberflächenmodell
 - Für deformierbare Körper



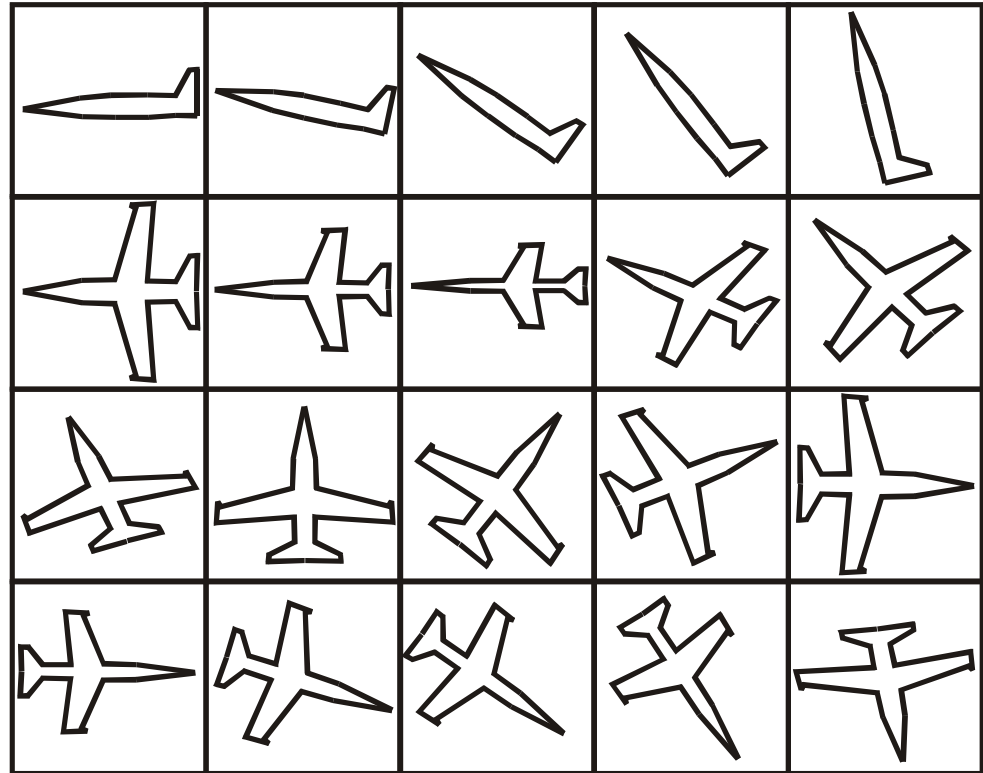
3 Grundlagen – Computer Vision (3)

- Modellbeispiele:
 - (2) Relationaler Graph
 - Topologisches Modell
 - Für Objekte, die aus mehreren „Primitiven“ aufgebaut sind



3 Grundlagen – Computer Vision (4)

- Modellbeispiele:
 - (3) Explizite
Verspeicherung
 - Alle möglichen
Ansichten eines
Objektes werden
gespeichert
 - Für einfache
Objekte



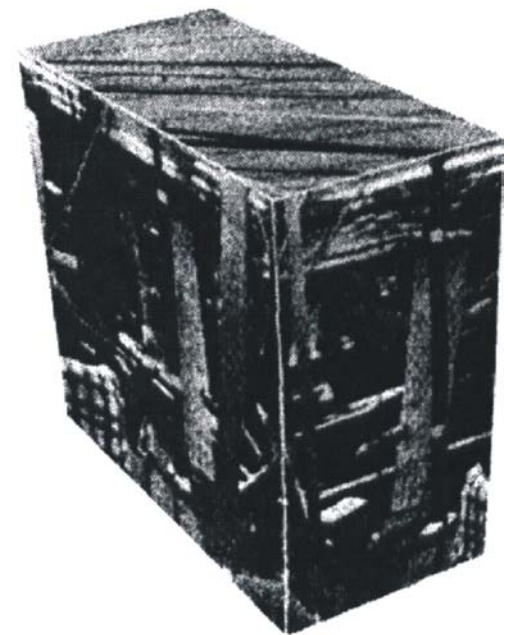
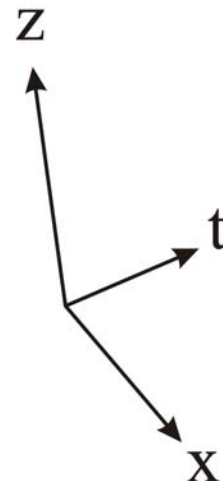
3 Grundlagen – Computer Vision (5)

- Objekterkennung
 - Dreistufiger Prozess:
 - Entdecken
 - Erkennen
 - Identifizieren
 - Probleme
 - Nur gerichtete Ansichten von Objekten
 - Hindernisse im Objektraum, die die Sicht auf die Objekte stören (Okklusionen)

4 Bildnavigation (1)

- Bildfolgenanalyse und Bildnavigation
 - Zentrales Element: von einem Sensor aufgezeichnete **Bildfolge** oder Bildsequenz
 - **Analyse** der Bildfolge → Lösung der Navigationsaufgabe
 - Bildung von **Korrespondenzen** zwischen aufeinanderfolgenden Bildern

→ Deutung von
Intensitätsänderungen
in der Bildebene als
geometrische Bewegungen
im Objektraum



4 Bildnavigation (2)

- Einflüsse auf die Bewegungsdeutung
 - Bewegungen des Sensors
 - Bewegungen im Objektraum
 - Ausmaße und Freiheitsgrade der Bewegungen
 - Starre, gelenkige oder beliebig deformierbare Objekte
→ Wahl des Objektmodells
 - Mono-, Stereo- oder Multibildsequenz
- Vorteil der Bildnavigation
 - Durch den Einsatz **photogrammetrischer Methoden** kann die räumliche Umgebung des Sensors aus den Daten gewonnen werden („Nebenprodukt“ der Navigation)

4 Bildnavigation (3)

- Ablauf eines Eigenortungsverfahrens
 1. Sensorkalibrierung
 2. Startorientierung und Maßstabsbestimmung
 3. Bildung von Bildkorrespondenzen
 4. Rekonstruktion der Sensorbewegung (und der Struktur der Umgebung)
 5. Modellierung der Sensorbahn

4 Bildnavigation (4)

- Sensorkalibrierung (innere Orientierung)
 - Generell:
 - Meist direkt im Einsatzgebiet
 - Passpunktfeld erforderlich
 - Gleichzeitige Bestimmung der Startorientierung ist möglich (photogrammetrisch)
 - Bedingungen:
 - Richtige Wahl und Einstellung von Belichtungszeit und Fokussierung
 - Vermeidung von Bewegungsunschärfe
 - Einstellungen müssen konstant bleiben, sonst geht die Kalibrierung verloren

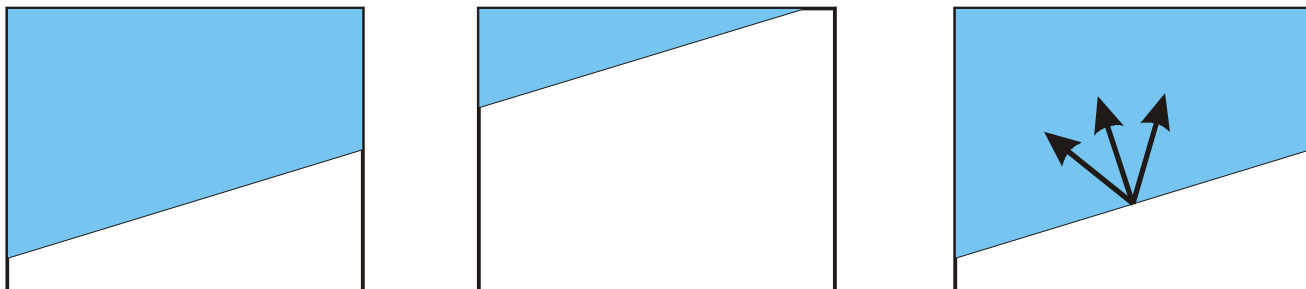
4 Bildnavigation (5)

- Startorientierung und Maßstabsbestimmung
 - Methoden:
 - Photogrammetrisch
 - GPS, GNSS
 - Terrestrische Einmessung
 - (Beliebige Festsetzung)
 - Maßstab:
 - Distanzen im Objektraum müssen bekannt sein (Passpunkte)
 - Maßstab kann aus einem Startbildpaar in die Folge übertragen werden (Genauigkeit nimmt stetig ab)

4 Bildnavigation (6)

- Bildkorrespondenz
 - Grundlegendes:
 - Basiseinheit zur Bildung der Bildkorrespondenz: Bewegungstereobild („**Motion Stereo**“)
 - Geometrische Änderungen im Objektraum erzeugen radiometrische Änderungen in der Bildebene → **Optischer Fluss**
 - Problem: **Uneindeutigkeit** der radiometrischen Änderungen

Aperturproblem

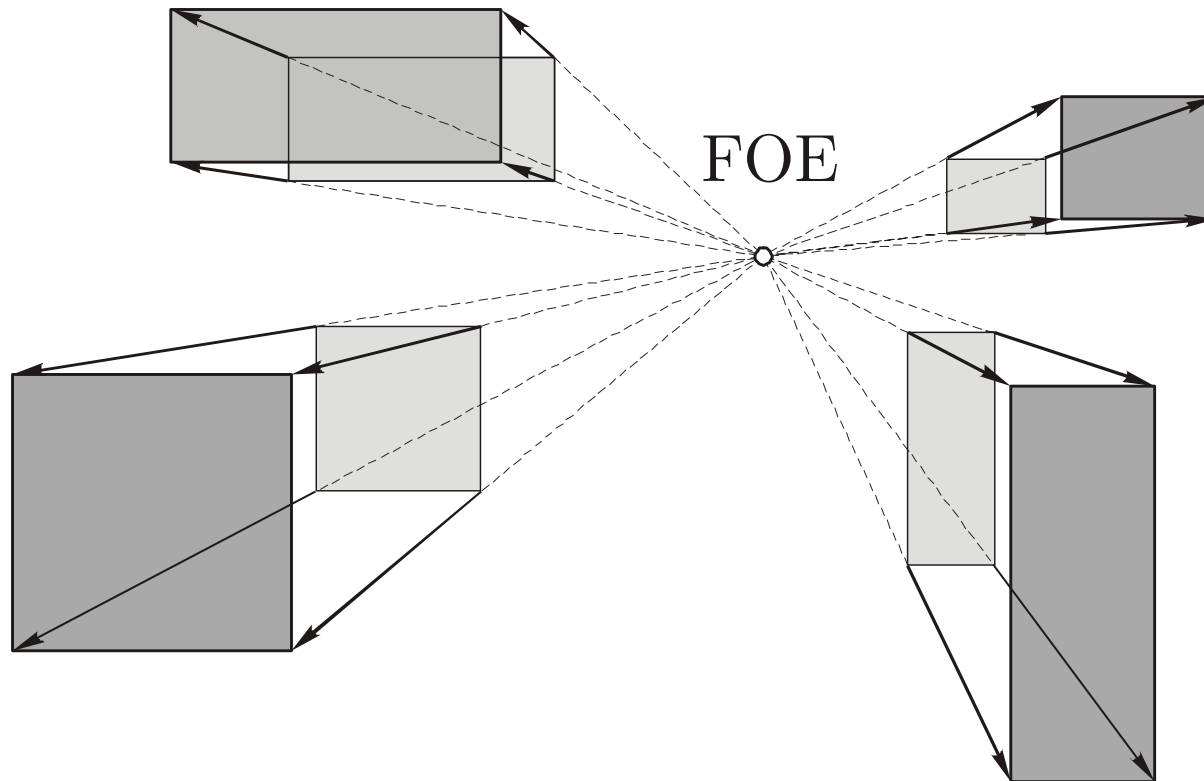


4 Bildnavigation (7)

- Lösung der **Uneindeutigkeit** in drei Stufen:
 1. Modellierung physikalischer Einflüsse
 2. Schätzung der Bildbewegungen (Bildkorrespondenz)
 3. Rekonstruktion der Sensor- und Objektbewegungen
- **Wichtige Begriffe:**
 - Projizierte Bewegung
 - Projektion realer Bewegungen in die Bildebene
 - Optischer Fluss
 - Veränderung der Intensitätsfunktion in der Bildebene
 - Expansionspunkt des optischen Flusses (FOE)
 - Bei Translation: Fluchtpunkt der momentanen Bewegungsrichtung

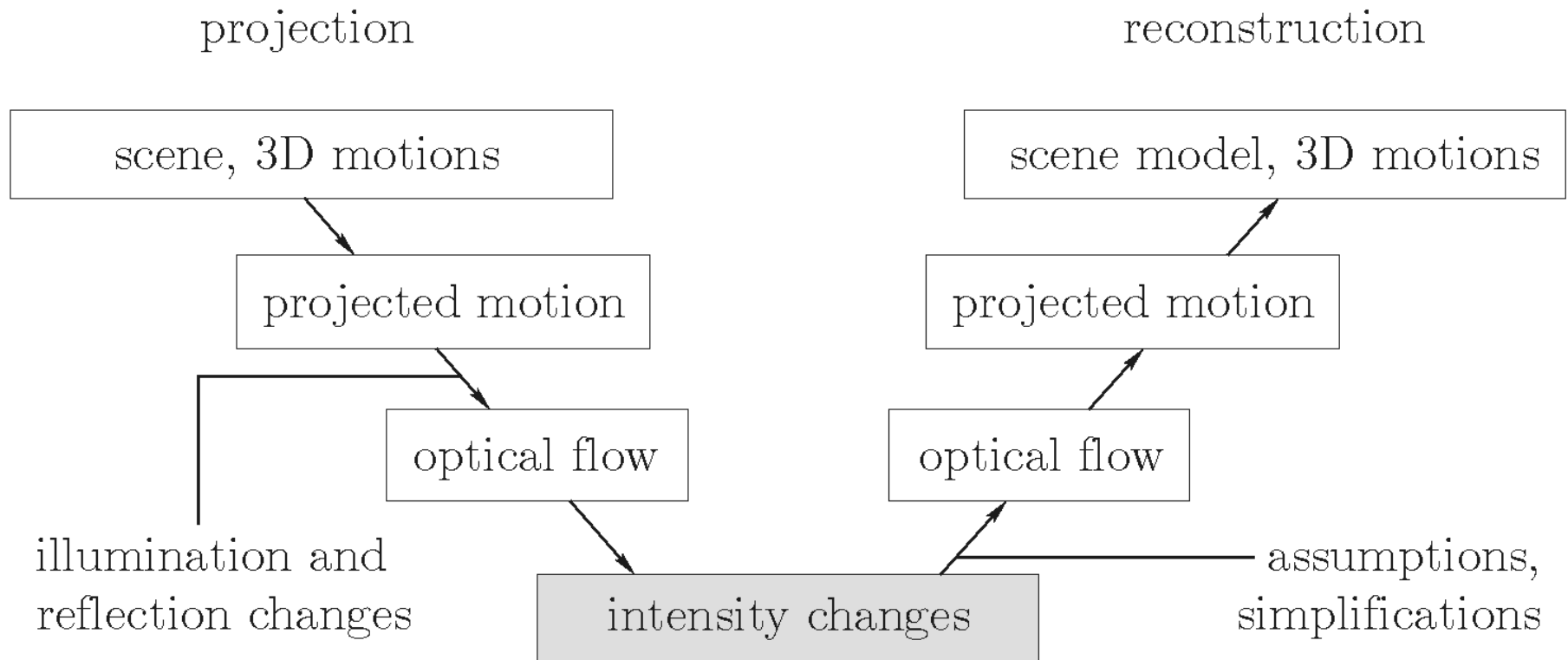
4 Bildnavigation (8)

- Deutung des FOE:



4 Bildnavigation (8b)

- Entstehungsprozess einer Bildfolge



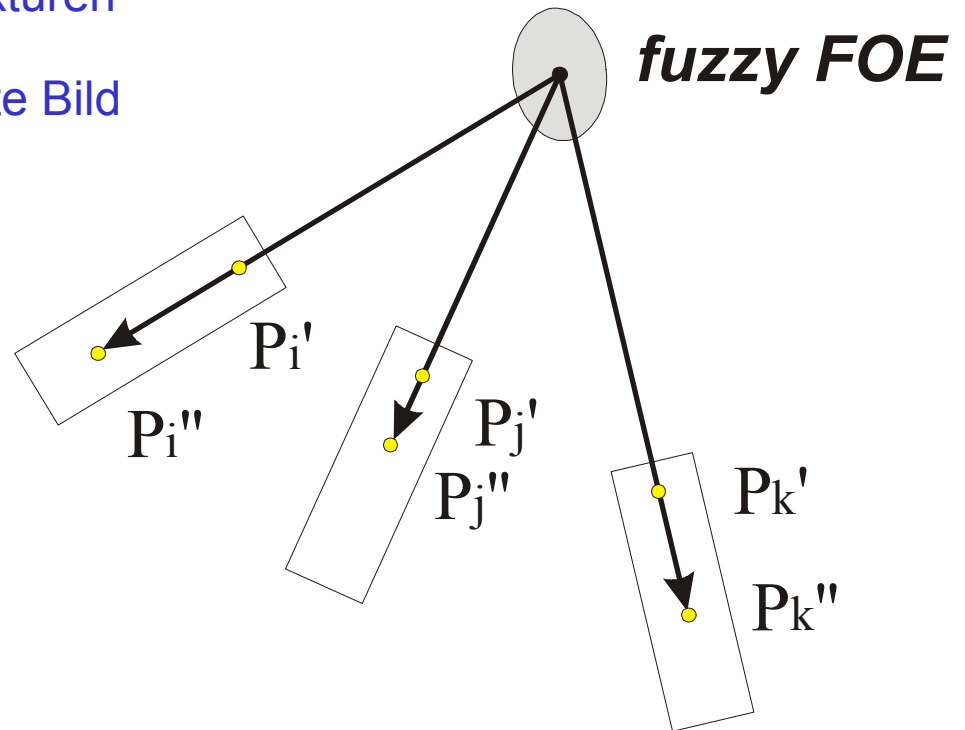
4 Bildnavigation (9)

- Bildzuordnungsverfahren:
 - (1) Intensitätsbasierte Zuordnung
 - Operiert direkt auf radiometrischen Veränderungen der Bildebene (optischer Fluss)
 - Uneindeutigkeit wird durch Annahmen (Heuristiken) über den optischen Fluss reduziert
 - Lösung der Bildkorrespondenz durch Kreuzkorrelation zwischen lokalen Fenstern aufeinander folgender Bilder

4 Bildnavigation (10)

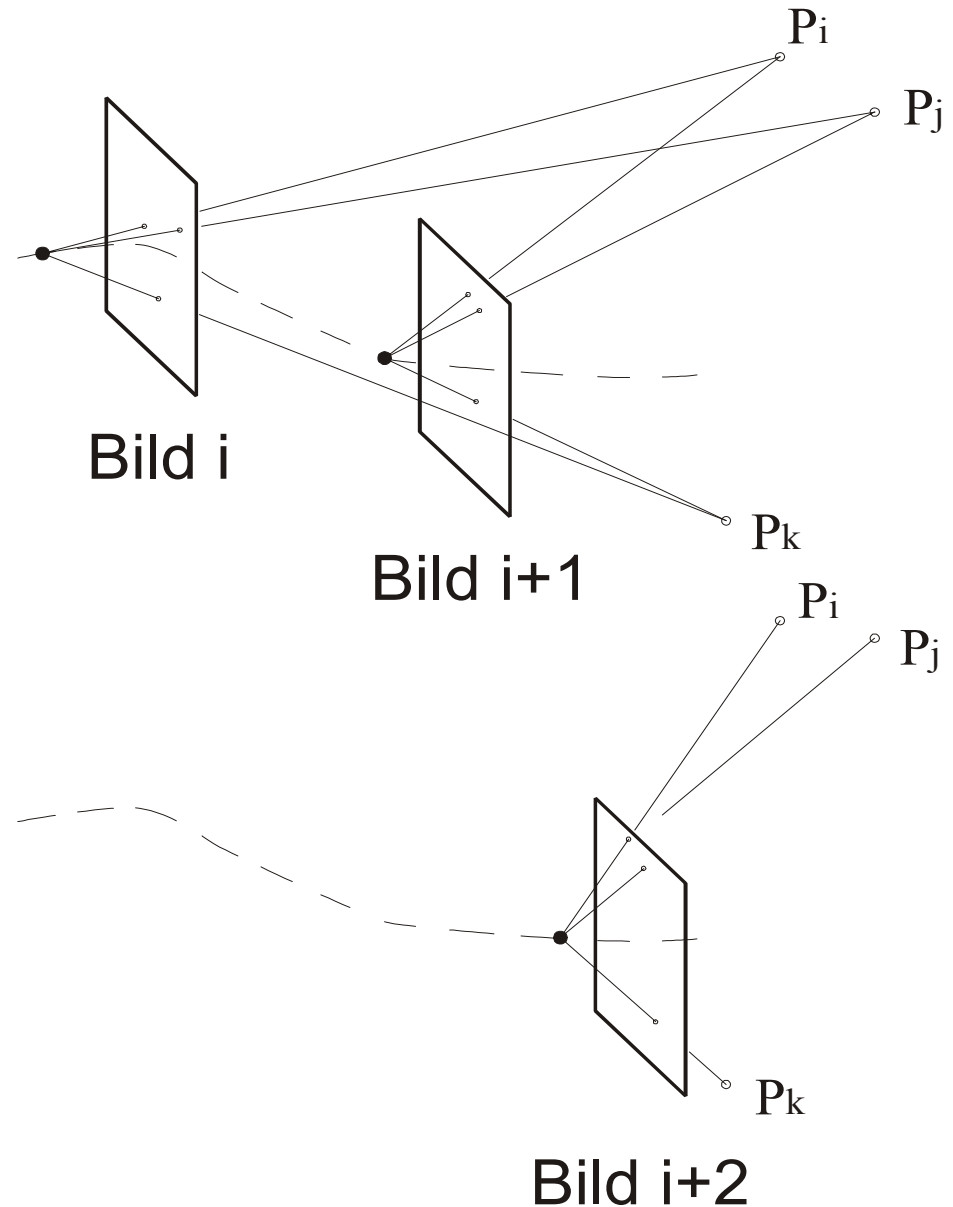
– (2) Merkmalsbasierte Zuordnung [a]

- Extraktion markanter Strukturen
- Übertragung in das nächste Bild
- Korrelation zwischen den extrahierten Strukturen



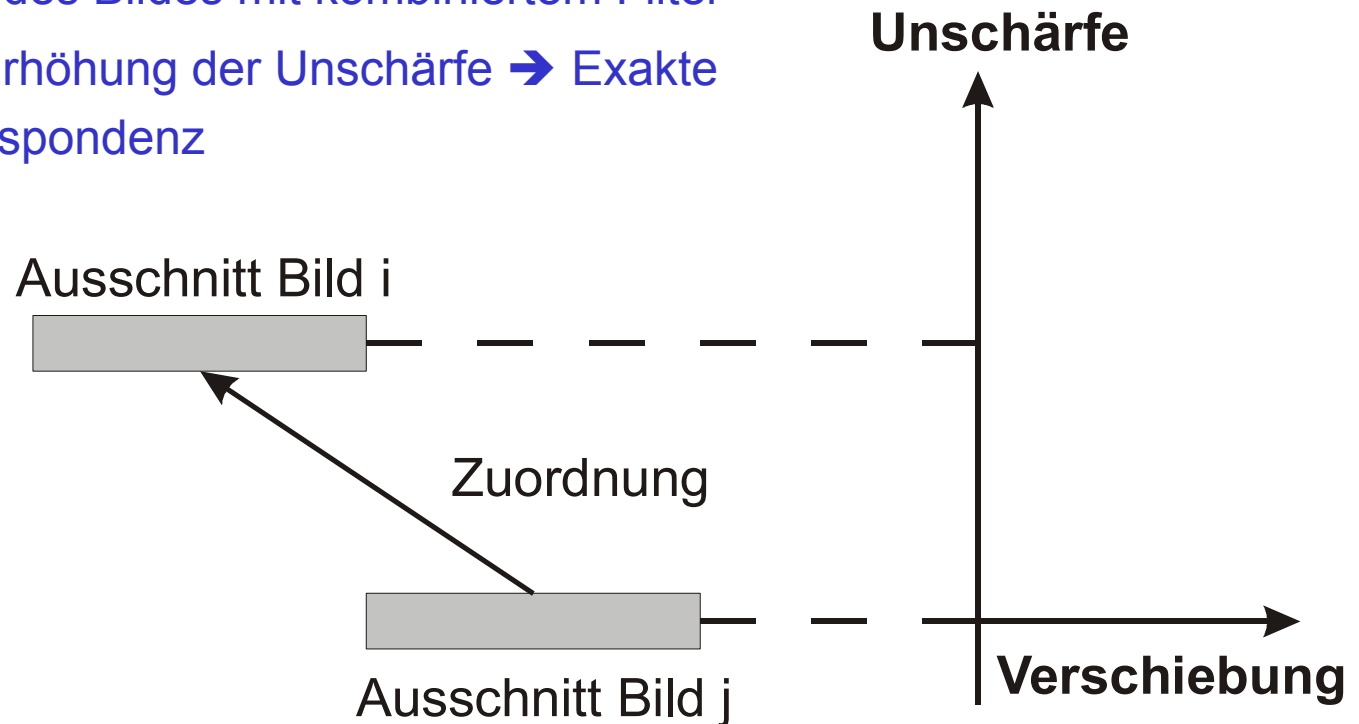
4 Bildnavigation (11)

- (2) Merkmalsbasierte Zuordnung [b]
 - Rekursive Sensororientierung



4 Bildnavigation (12)

- (3) Scale Space Bildzuordnung
 - Theoretische Grundlage: Abtasttheorem
 - Glättung des Bildes mit kombiniertem Filter
 - Stetige Erhöhung der Unschärfe → Exakte Bildkorrespondenz



4 Bildnavigation (13)

- **Rekonstruktion von Bewegung und Struktur**
 - Grundlage: Komplanaritätsbedingung
 - Verfahren:
 - Inversionsansätze: Bestimmung des Objektraumes aus den Bilddaten
 - Projektionsansätze: Vorgabe eines Umgebungsmodells und Präzisierung durch die Bilddaten
- **Modellierung der Sensorbahn**
 - Gewinnung von Näherungswerten für die Orientierung
 - Durchführung anhand eines Kalman Filters

4 Bildnavigation (14)

- **Eigenortung: Kenntnis der Umgebung**
 - Navigation in unbekannter Umgebung
 - Navigation in bekannter Umgebung:

	Traditionelle Navigation	Bildnavigation
Sensor	opt. Instrumente	CCD-Sensor
Grundlage	Grundrisskarte, Sternenkatalog	Digitales 2D-oder 3D-Modell
Ortungsverfahren	Positionierung über LOPs	Szenenrekonstruktion über Passpunkte

4 Bildnavigation (15)

- Fremdortung
 - Anordnung
 - Kalibrierung
 - Auswertung

Weitere Informationen

<http://www-2.cs.cmu.edu/~cil/vision.html>

Computer Vision Homepage