

Geometrieunterricht in Virtual Reality

Hannes Kaufmann, Thomas Pintaric

Institut für Softwaretechnik und
Interaktive Systeme

Technische Universität Wien



Gaspard Monge



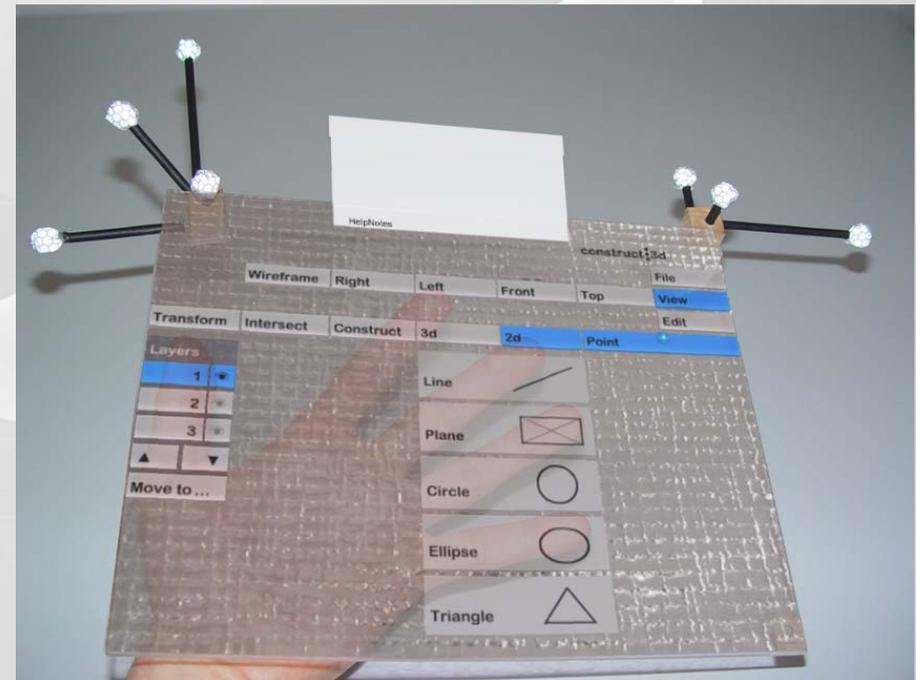
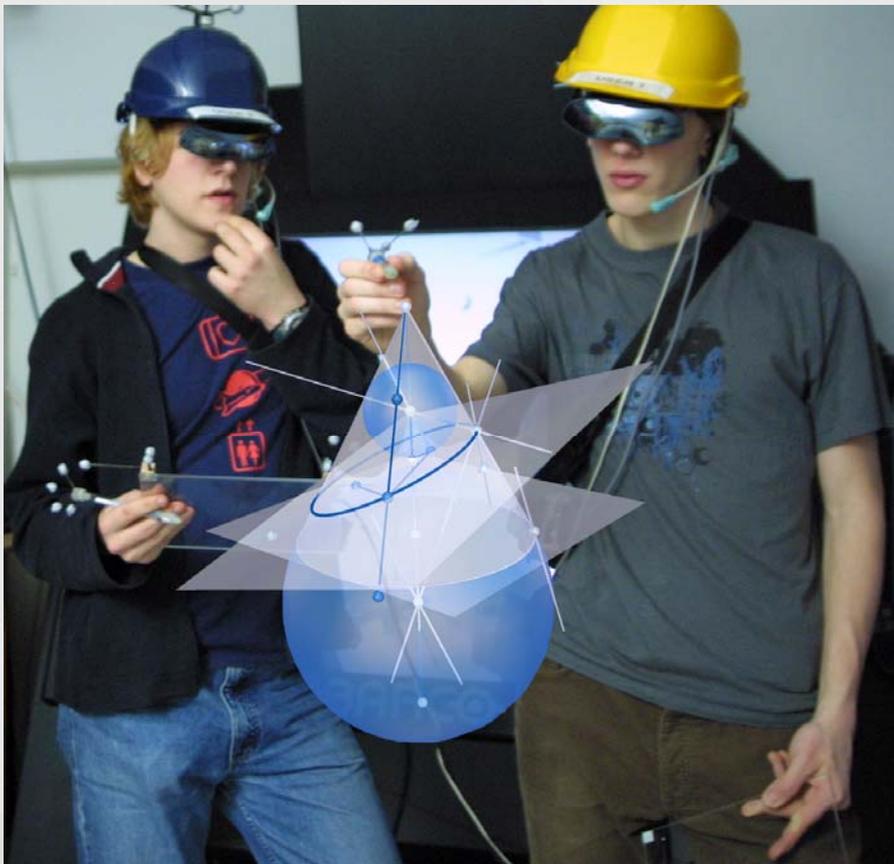
Baguette Monge
www.maison-kayser.com



• **Überblick**

- Geometrieunterricht mit Augmented Reality:
Einführung in Construct3D
- Beschreibung des Technischen Aufbaus
- Einführung Optisches Tracking
- Vorführung – Demonstration

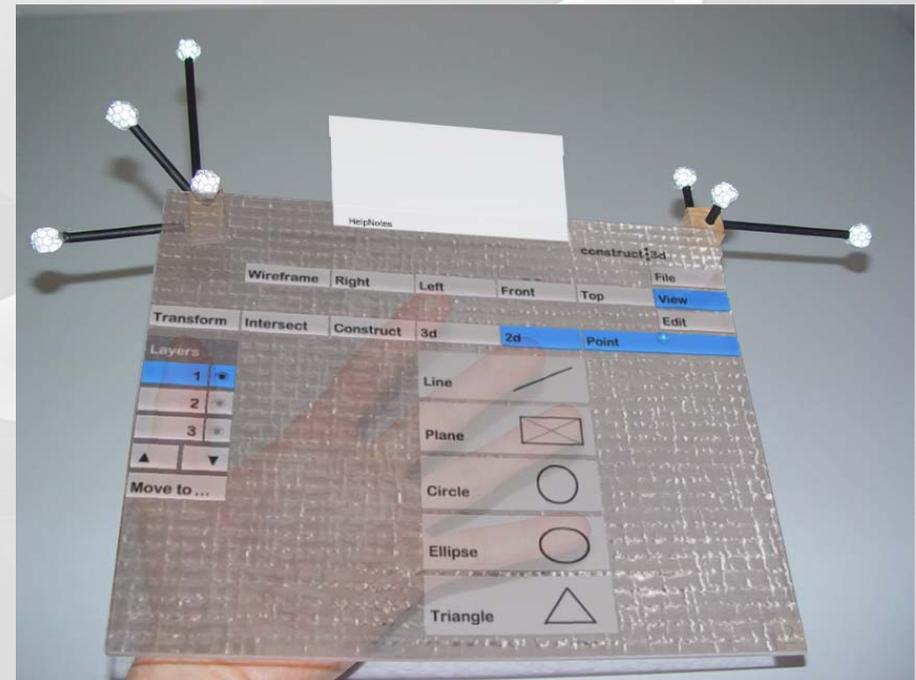
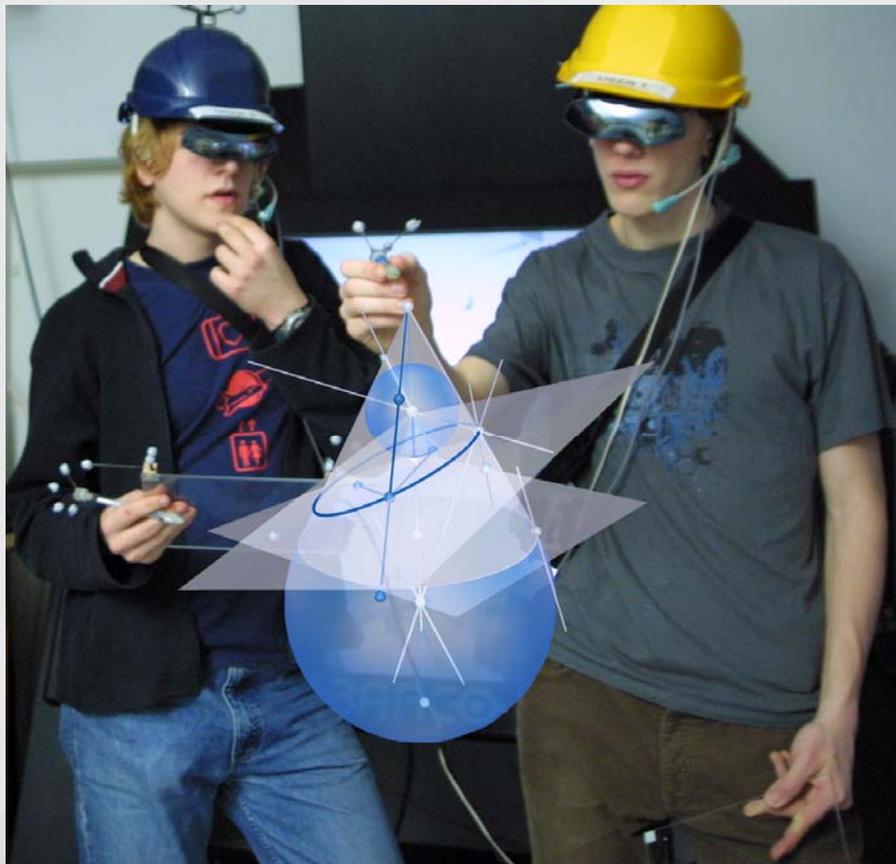
Construct3D



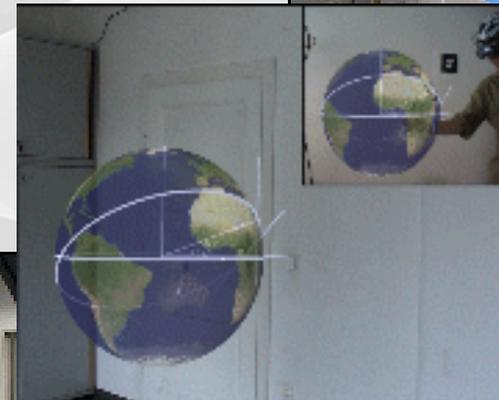
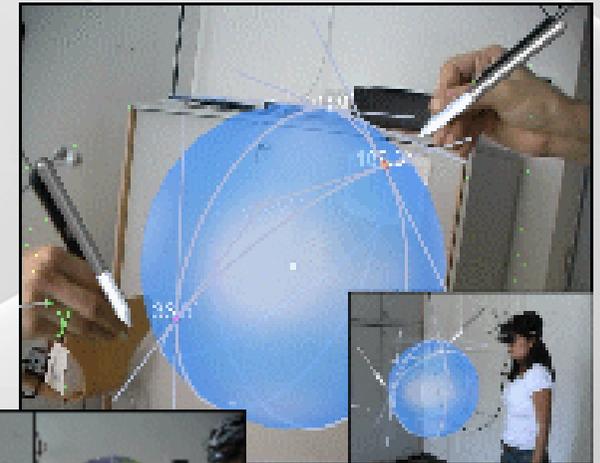
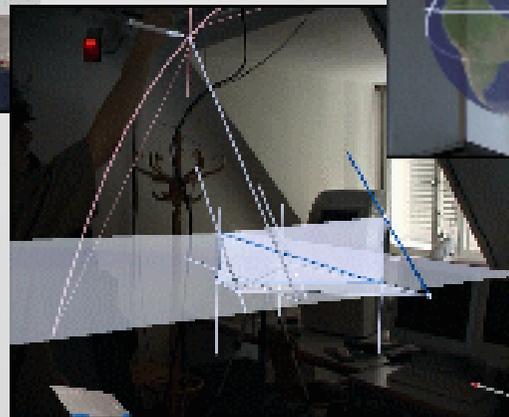
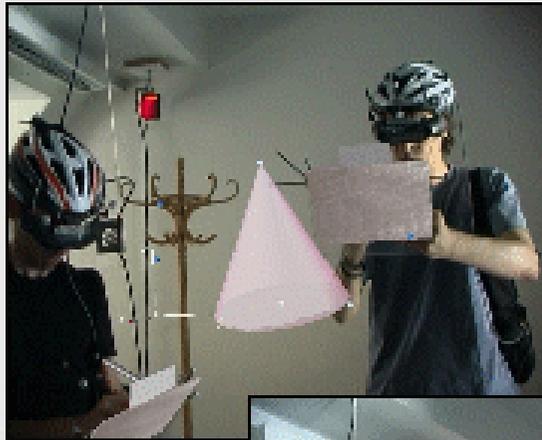
• **Dynamische 3D Geometrie**

- Grundobjekt: Punkt; dynamisch veränderbar
- Zuerst Selektion, dann Menüauswahl
„Selection – Action“
- Funktionen:
 - Grundkörper, Kurven (Kegelschnitte, B-Spline), NURBS, Drehflächen
 - Bool'sche Operationen, Schnitte, 3D Konstruktionen, Tangenten/-ialebenen, einfache Transformationen ...
- In Arbeit: Schraublinien/flächen, Differentialgeometrische Funktionen (Krümmungsmitte, begleit. Dreibein...)

Kollaboration, Verteilung



Beispiele / Funktionsumfang



Beschreibung des Hardware Setups

- 1 PC m
- 1 Daten
(Head
- 1 Draht
- 1 Plexig
- Optisch
– Millir



~~00 EUR~~

~~00 EUR~~

~~00 EUR~~

~~10 EUR~~

~~00 EUR~~

~58510 EUR

Überblick: Infrarot-Optische Tracking Systeme

- Kommerziell erhältliche optische Trackingsysteme nicht wirklich leistbar
 - **Vicon Peak** 6-camera MX3 system **€71,080**
 - **A.R.T.** 4-camera *ARTrack2* package **€50,000**
 - **PhaseSpace** 4-camera system **€25,280**
- Gleichbleibende Preise seit ~10 Jahren
- Kunden:
 - Filmindustrie (Motion Capture)
 - Medizinische Forschung
 - Industrielle AR/VR Anwendungen & Forschung
 - Nicht leistbar im Bildungsbereich



Überblick: Infrarot-Optische Tracking Systeme



Retroreflektierende Marker



Infrarot-optisches Tracking

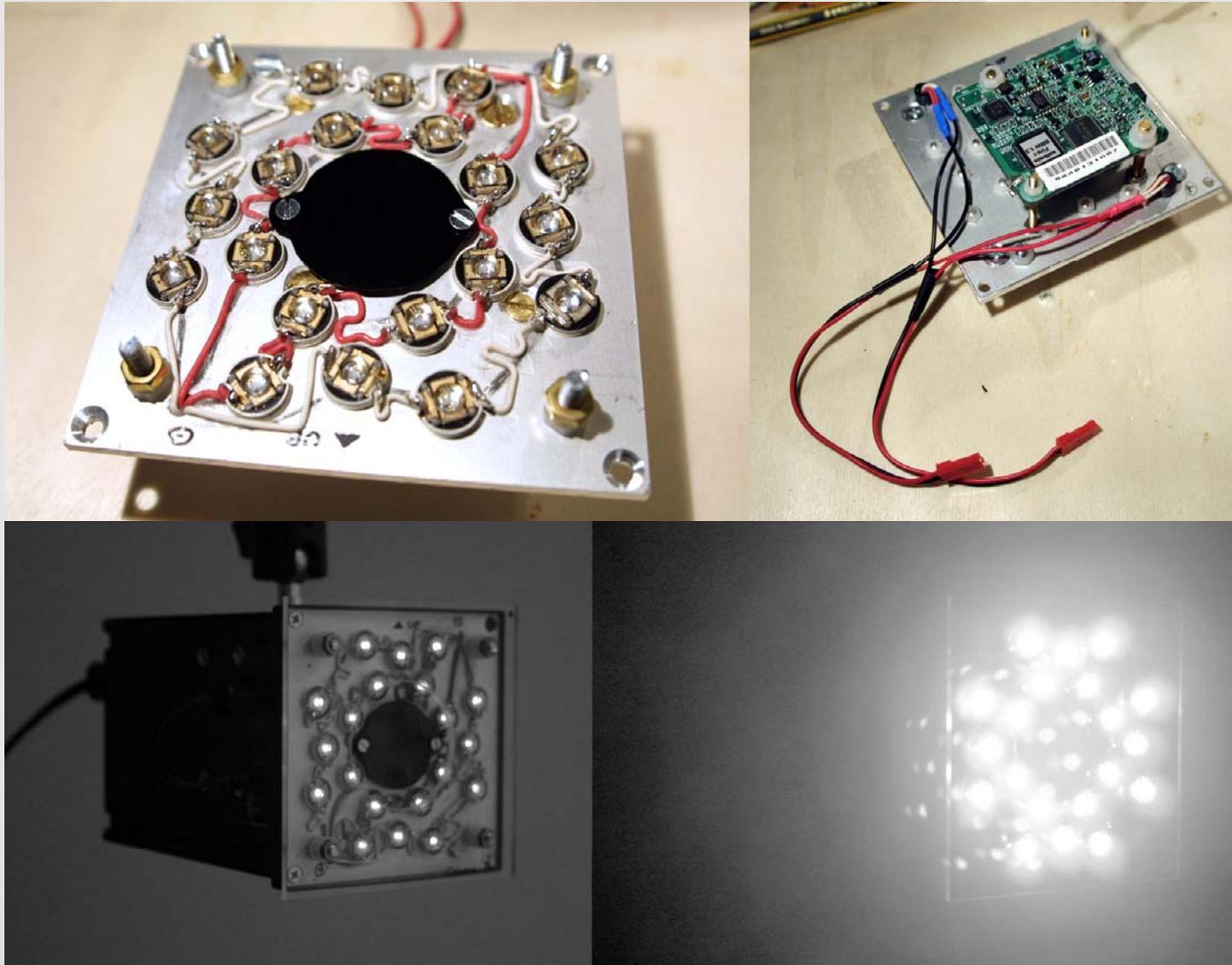


Unser Tracker: Spezifikation



- VGA 640 x 480 pixels (monochrome 8-bit) mit 30 Bildern/Sekunde
- FireWire 1394a Interface
- Keine externe Softwaresynchronisation
- 85° diagonales Blickfeld, 2.5 mm Brennweite, F2.0 Blende
- 850 nm Infrarot LEDs, insges. 1.35W Strahlungsenergie, 120° Abdeckung
- Infraroter Bandpass Filter

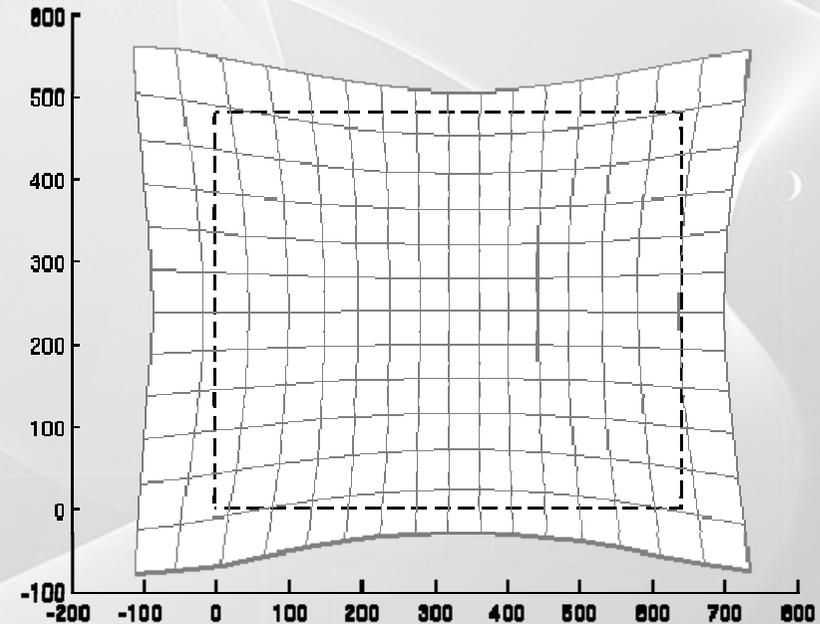
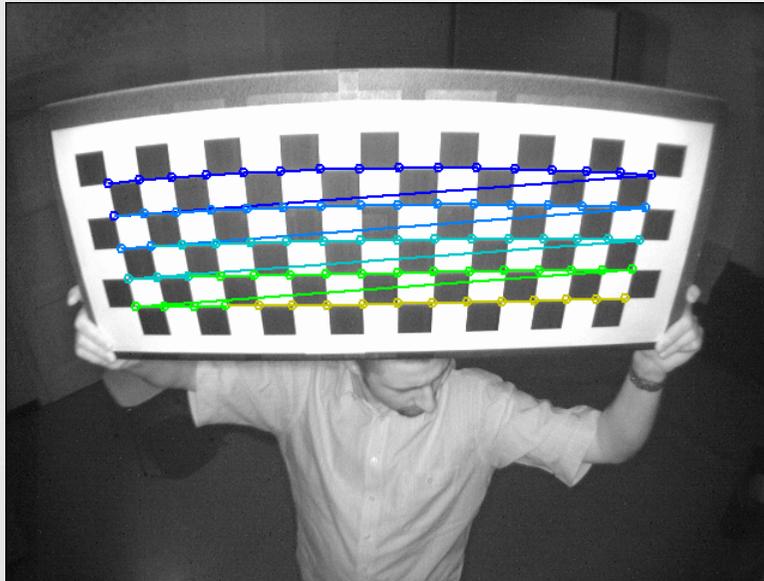
Kamera Hardware



Software Framework

- **Kamera Kalibration** (interne, externe Kameraparameter)
 - Innere und äußere Geometrie der Kamera
- **Segmentierung und Blob Erkennung**
- **Korrespondenzen finden:** Zusammengehörige Blobs in Bildern finden
- **Projektive Rekonstruktion:** Berechnung der 3D Marker Position
- **“Model-Fitting”:** Zuordnen der vorher vermessenen Marker-Konstellationen zur Marker Punktwolke
- **Positionsberechnung:** Berechne 6-DOF Lage (Rotation/Translation) jeder Markerkonstellation

Kamera Kalibrierung (Interne Parameter)



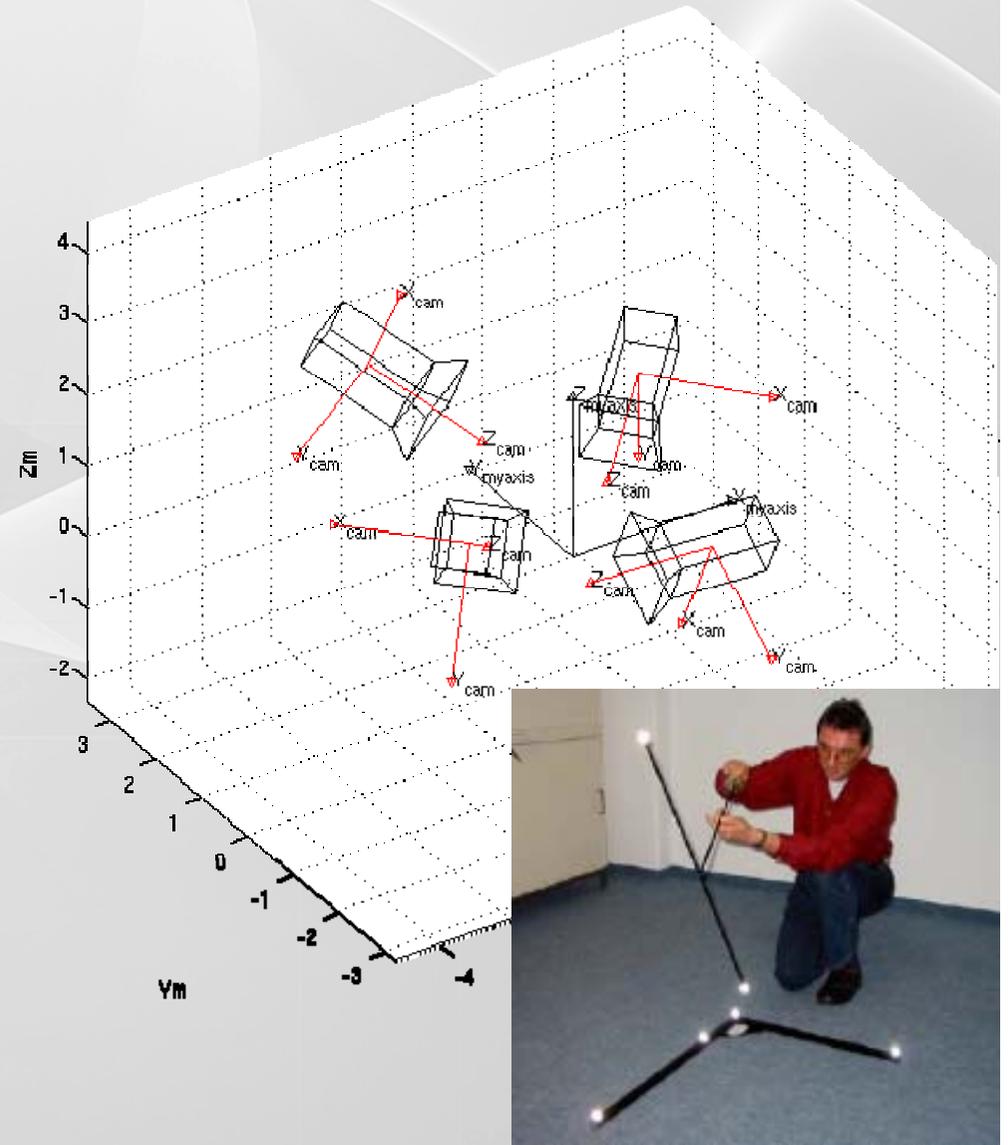
Nicht-lineares Verzerrungsmodell (*Heikkilä 1997*):

- *Brennweite, Bildhauptpunkt, Linsenverzeichnung*
- *Radiale Verzerrung, Tangentiale Verzerrung*

Kamera Kalibration (Externe Parameter)

- Bestimmung der Position und Orientierung der Kameras zueinander bzw. zu Punkten im Raum
- Wir verwenden Kalibrationsalgorithmus von **Svoboda et al. [*]**
 - Verwendet mehrere (>3) Korrespondenzen einzelner Punkte

[*] **Tomas Svoboda, Daniel Martinec, Tomas Pajdla**
A Convenient Multi-Camera Self-Calibration for Virtual Environments
(2005)



Blob Erkennung



Shutter: 1/31s
Maximum Gain

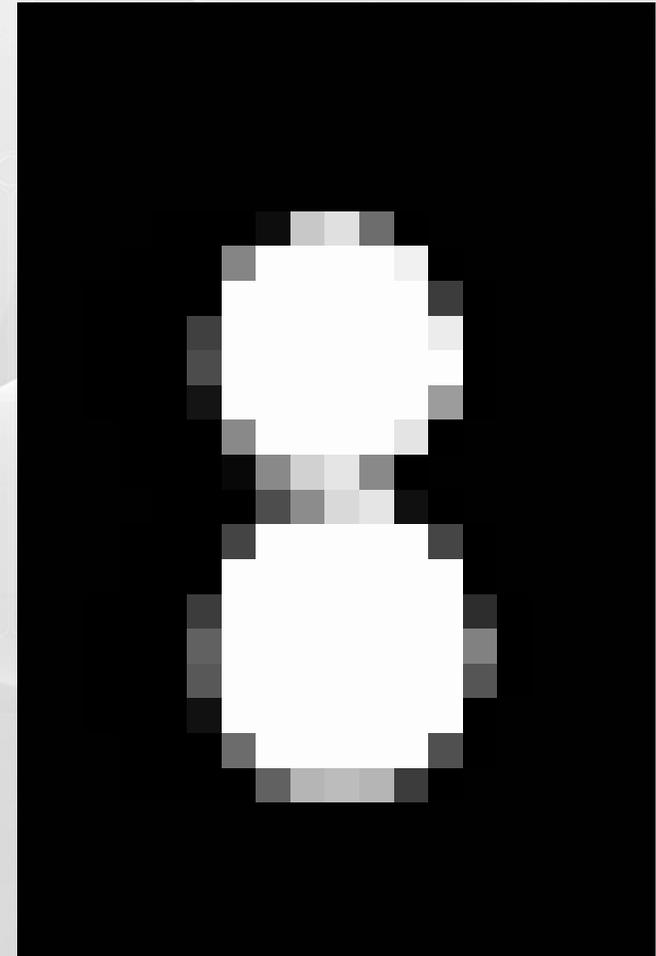


Shutter: 1/200s
Low Gain

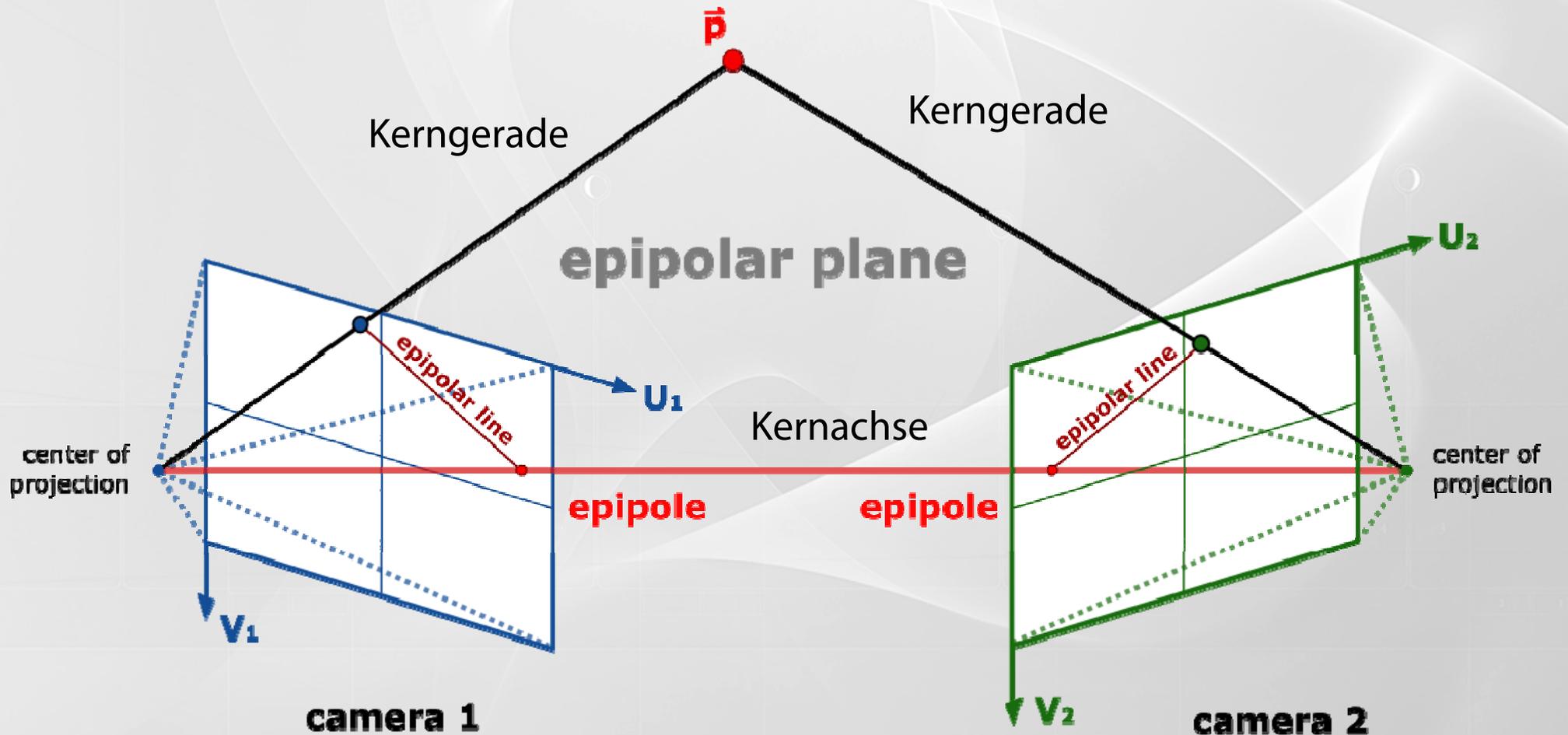
Blob Erkennung

Problem: Überlappende Blobs

- Lösung: Konturbasierte Erkennung (Hough circle finder)
- Training des Hintergrunds zur "Entfernung" der Hintergrundbeleuchtung

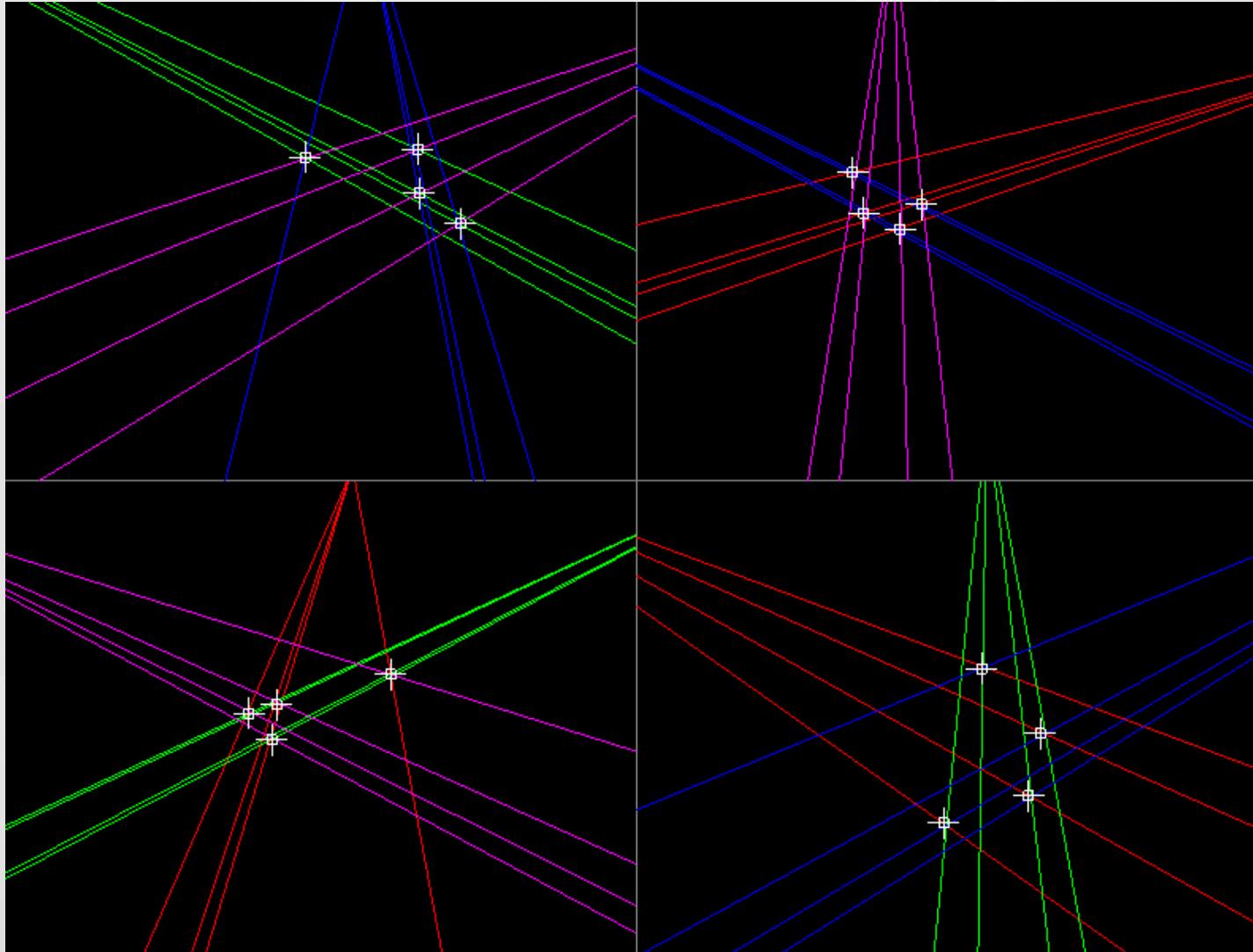


Epipolar Geometry (Zweibildersystem)



Satz (S. FINSTERWALDER, 1899): Hauptsatz der Photogrammetrie
Aus zwei *kalibrierten Bilder* mit gegebener Ordnerprojektivität ist das *dargestellte Objekt bis auf eine Ähnlichkeit eindeutig rekonstruierbar.*

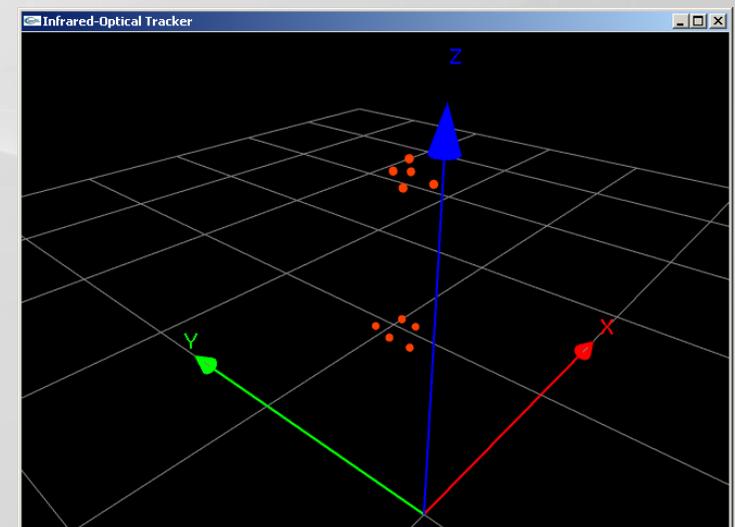
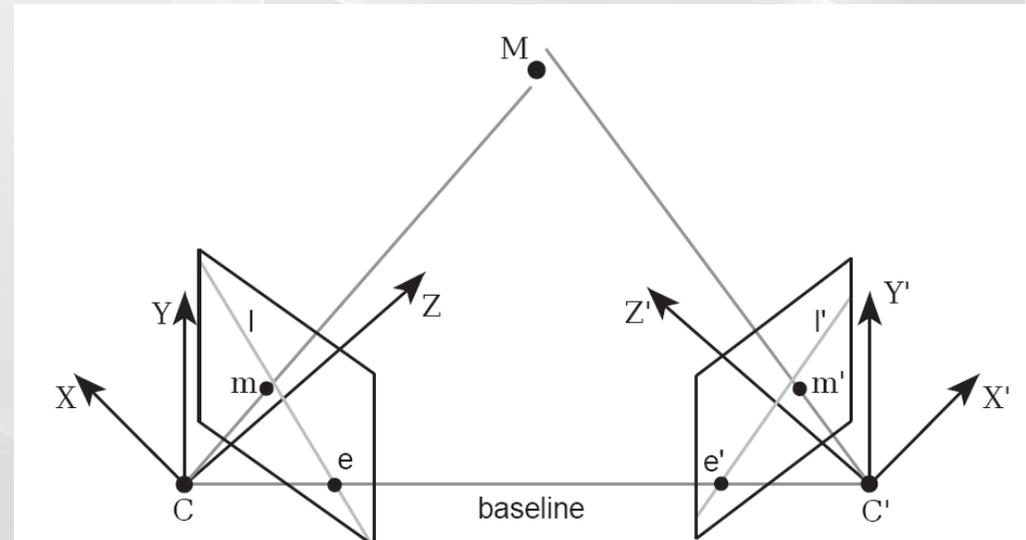
Epipolar Geometry: Korrespondenzen finden



Projektive Marker Rekonstruktion

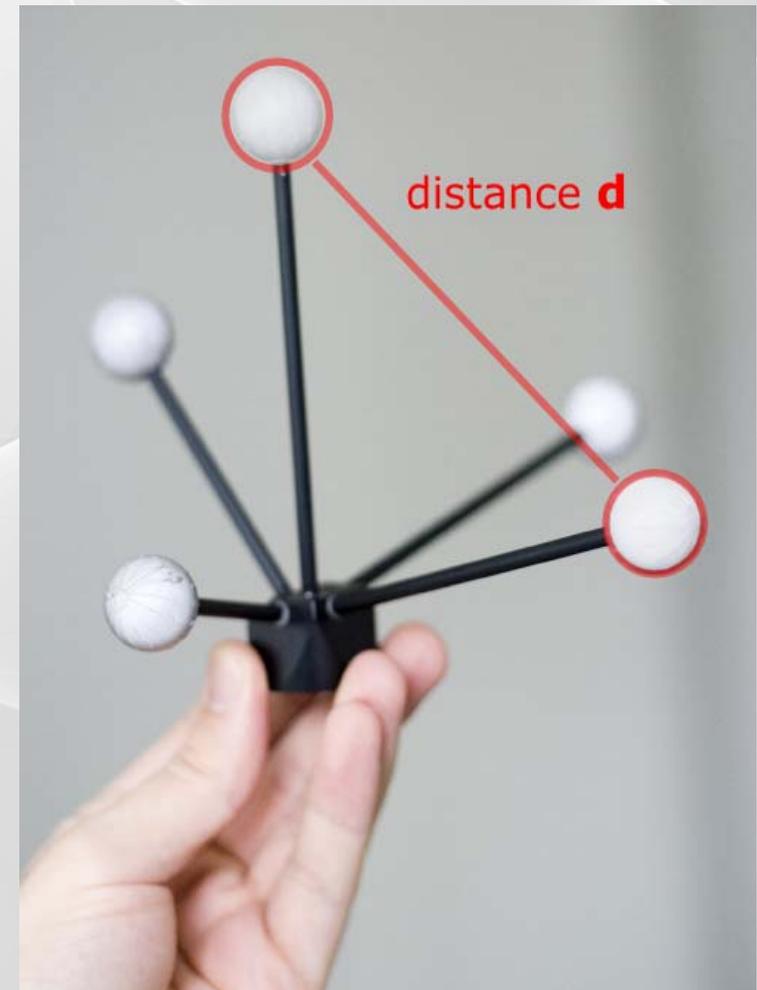
- Sehstrahlen schneiden sich in Praxis nicht
- Verschiedenste Methoden: Verwenden "**Least-square**" um "Gemeinlot" der Sehstrahlen zu finden.
- Für kleine Markeranzahl (<40): Nichtlineares "**sparse bundle adjustment**" (**Levenberg-Marquardt**) um die Ergebnisse zu verfeinern (rekursiv).

→ 3D Punktwolke



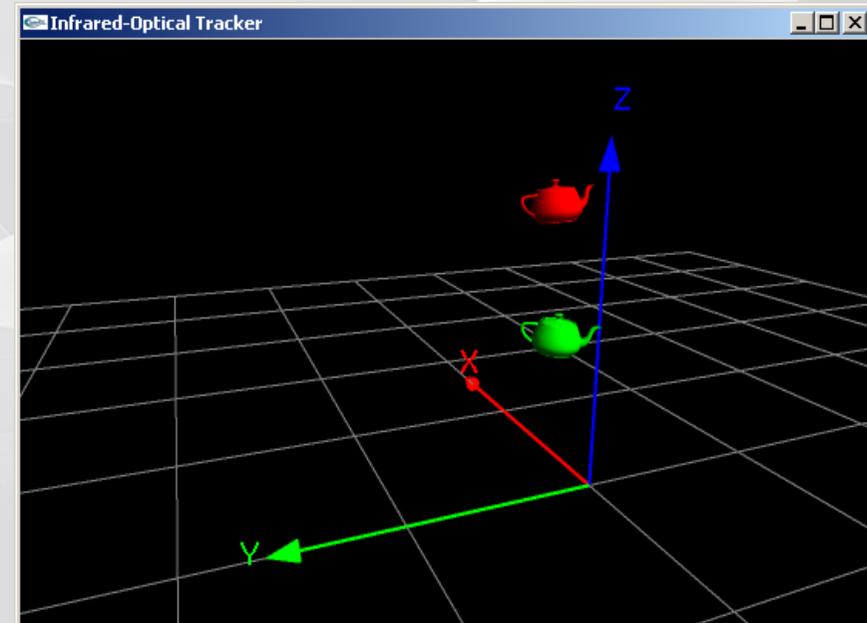
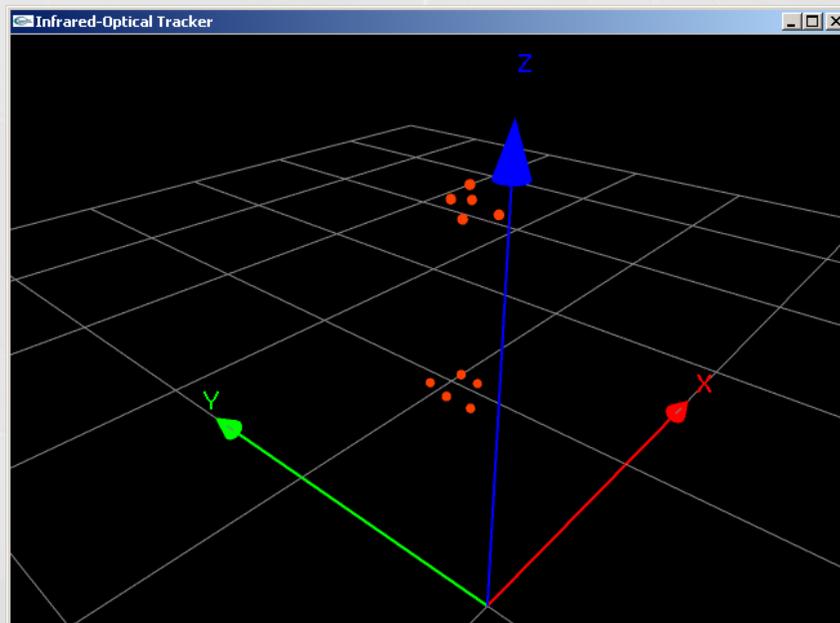
Model-Fitting

- Vorberechnung/Messung der Distanzen aller Marker einer Konstellation ($n! / [2^{*(n-2)}!]$)
- Für jedes Markerpaar der Punktwolke werden die Distanzen berechnet.
(Alle Permutationen: ~4950 Distanzen für 100 Marker)
- Auswahl aus mehreren Hypothesen



6-DOF Position/Orientierung

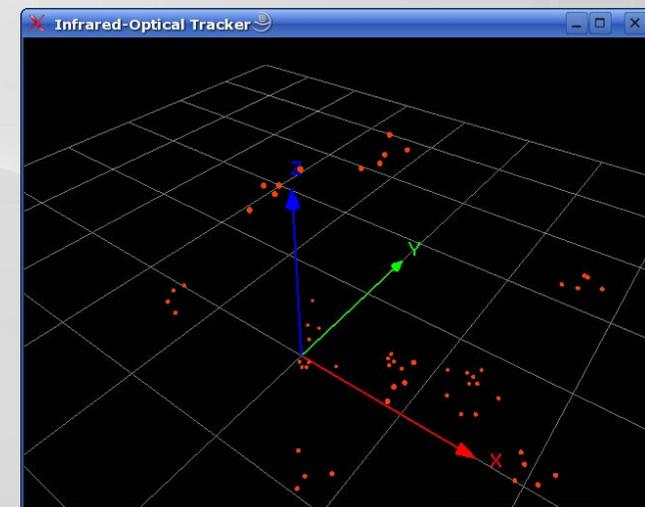
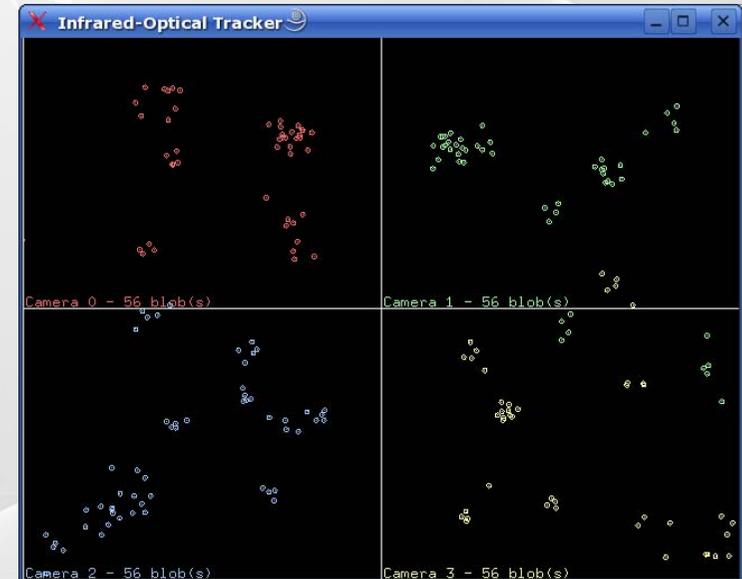
- Ausgehend vom gespeicherten Konstellationsmodell:
Berechnung der Rotation und Translation.



Resultate:

Test mit generierten Daten:

- 4 Kameras
- 224 Blobs (56 pro Kamera), mit simuliertem 2D Jitter (Gauss'sches Rauschen)
- 56 Markers
- 8 Marker Konstellationen (= 36 Marker)
- Alle 8 Konstellationen wurden mit 60Hz mit 70-75% CPU Auslastung getracked. (2.16 GHz Intel T2600 Dual Core)



Beschreibung des Hardware Setups

- 1 PC mit moderner Grafikkarte ~1500 EUR
- 1 Datenbrille
(Head Mounted Display - HMD) ~ 500 EUR
- 1 Drahtloser Stift ~ 100 EUR
- 1 Plexiglas Tablett ~ 10 EUR
- Optisches Trackingsystem ~5000 EUR
 - Millimetergenaues Tracking

~7110 EUR

Demonstration !!!



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

