

# Geometrieunterricht in Virtual Reality

Hannes Kaufmann, Thomas Pintaric

Institut für Softwaretechnik und  
Interaktive Systeme

Technische Universität Wien



# Gaspard Monge

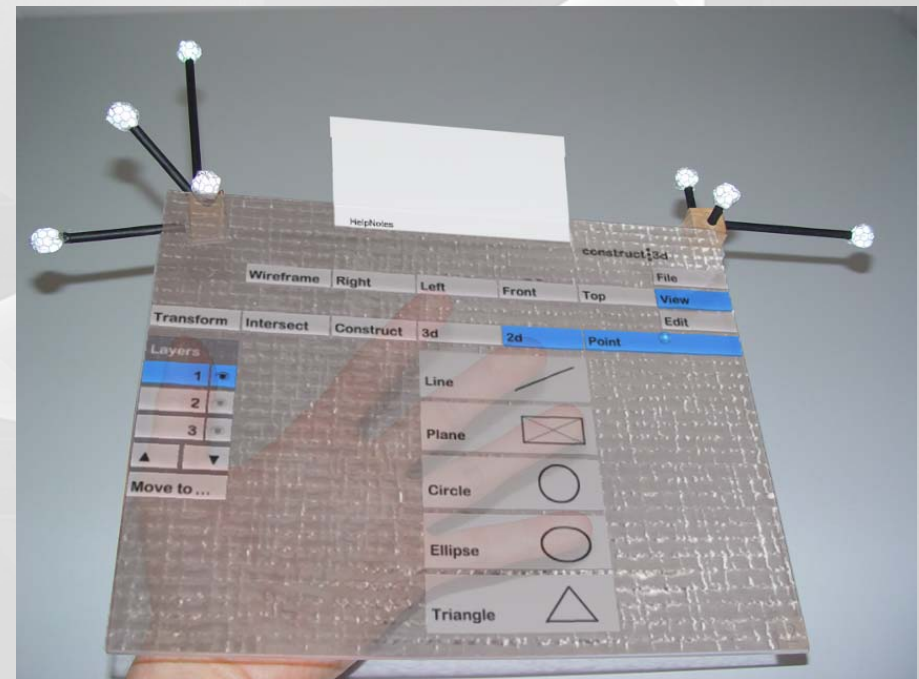
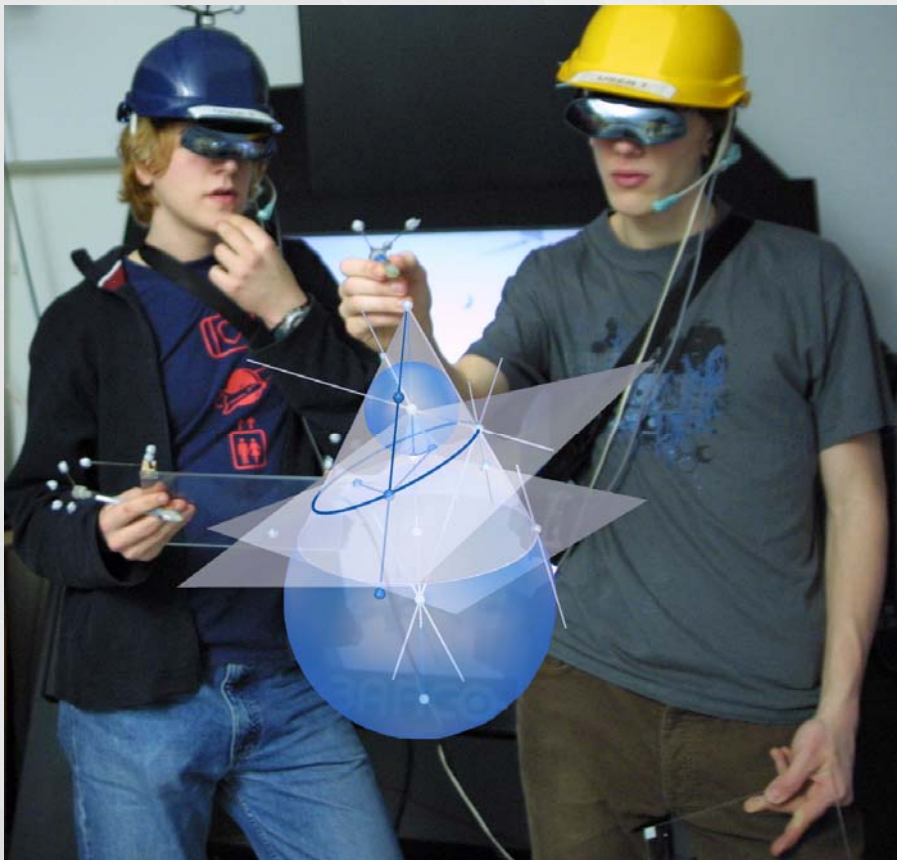
Baguette Monge  
[www.maison-kayser.com](http://www.maison-kayser.com)



# • **Überblick**

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

# Construct3D

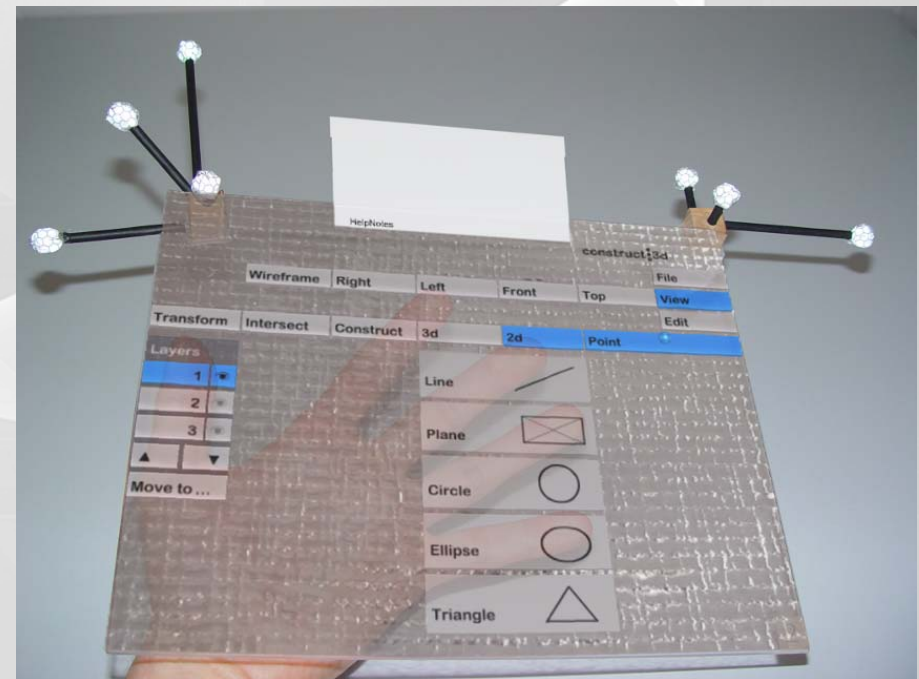
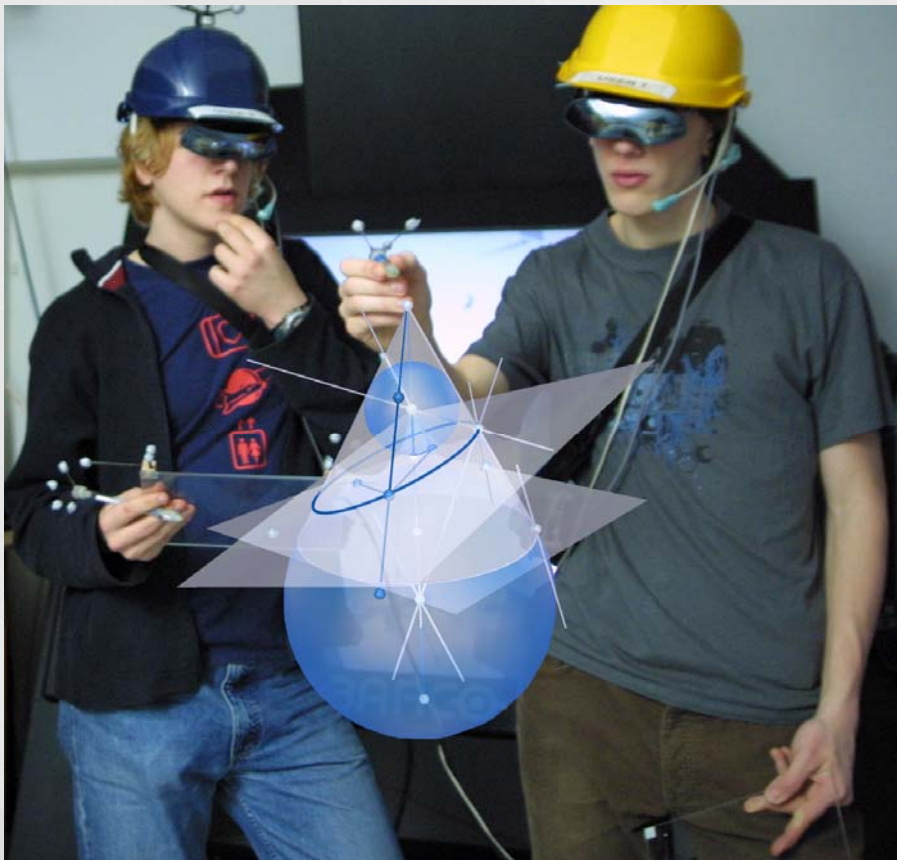


# • **Dynamische 3D Geometrie**

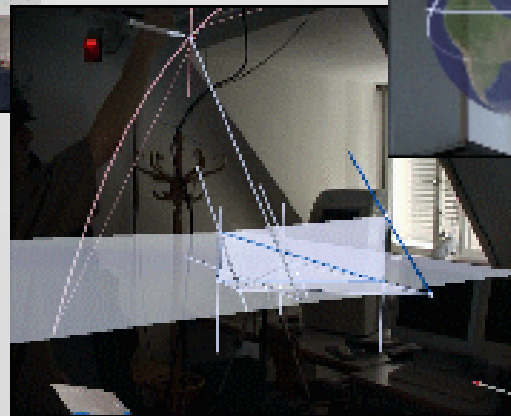
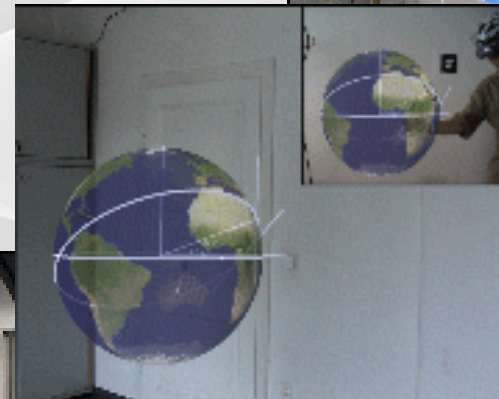
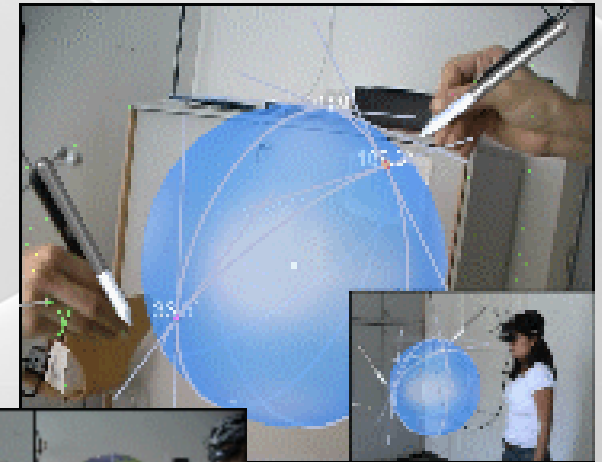
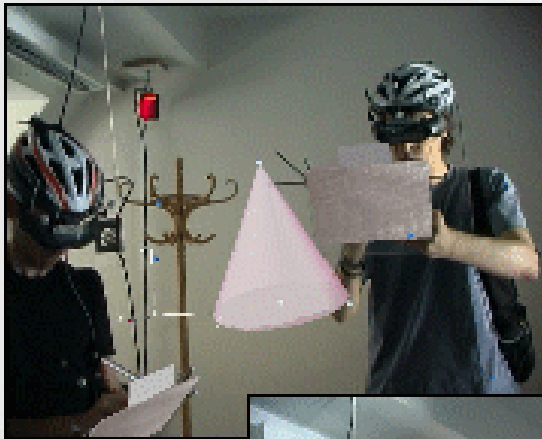
- Grundobjekt: Punkt; dynamisch veränderbar
- Zuerst Selektion, dann Menüauswahl  
„Selection – Action“
- Funktionen:
  - Grundkörper, Kurven (Kegelschnitte, B-Spline), NURBS, Drehflächen
  - Bool'sche Operationen, Schnitte, 3D Konstruktionen, Tangenten/-ialebenen, einfache Transformationen ...
- In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



# Kollaboration, Verteilung



# Beispiele / Funktionsumfang



# Beschreibung des Hardware Setups

- 1 PC m
- 1 Datei
- (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

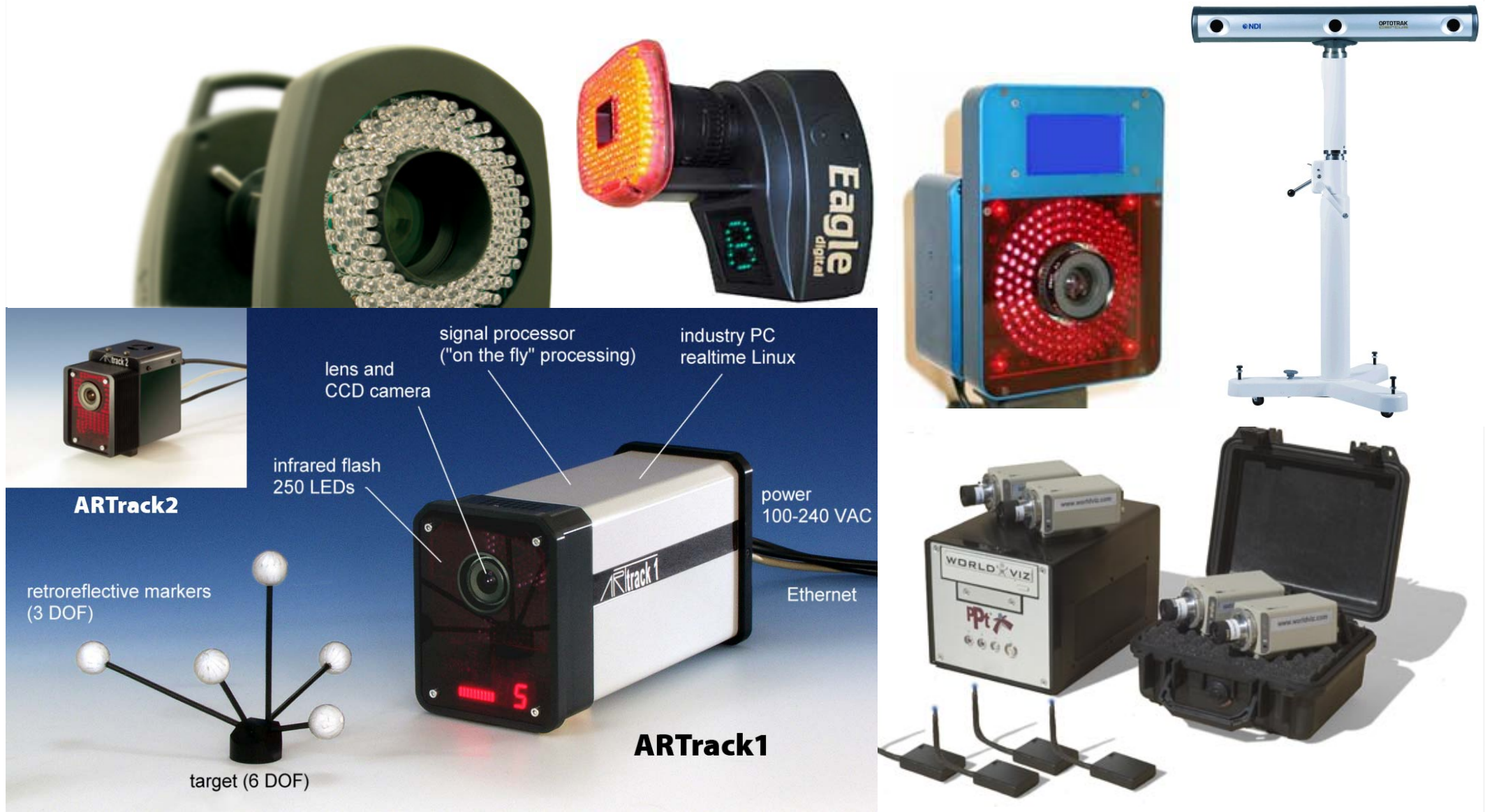
- Gleichbleibende Preise seit ~10 Jahren

- Kunden:

- Filmindustrie (Motion Capture)
- Medizinische Forschung
- Industrielle AR/VR Anwendungen & Forschung
- Nicht leistbar im Bildungsbereich

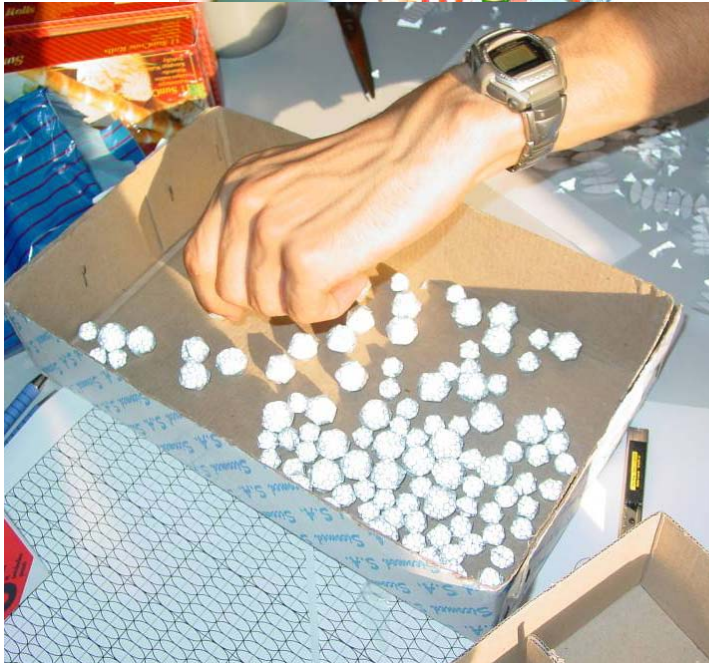


# Überblick: Infrarot-Optische Tracking Systeme





# Retroreflektierende Marker

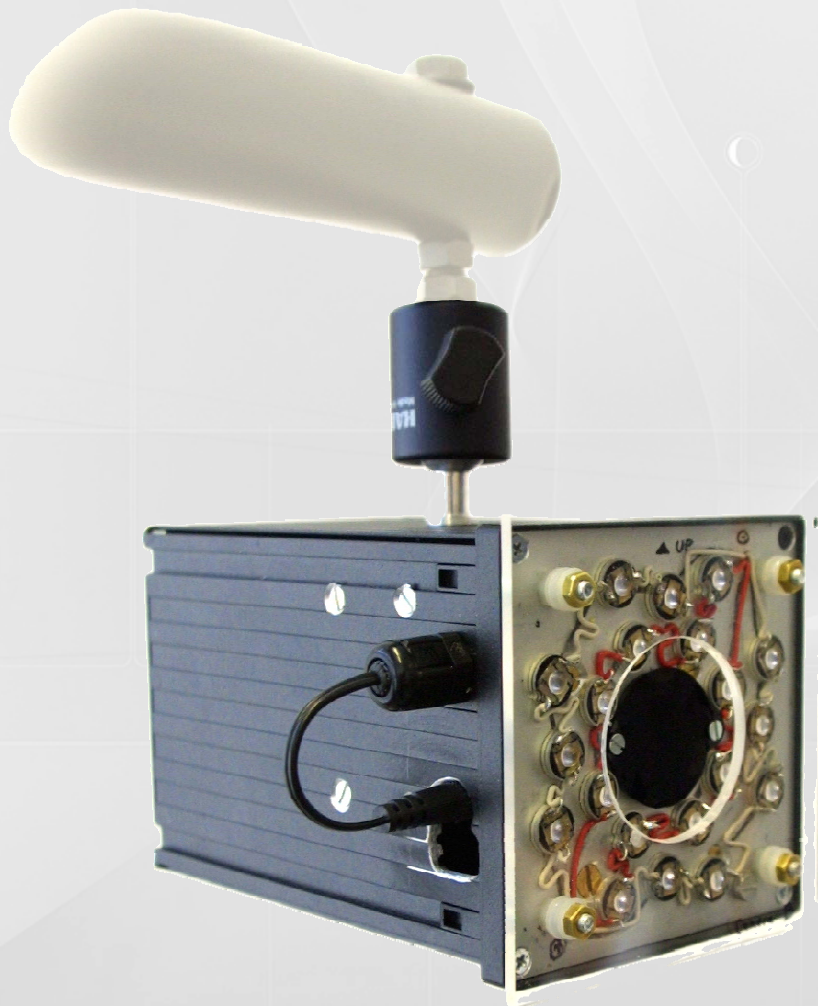


# Infrarot-optisches Tracking





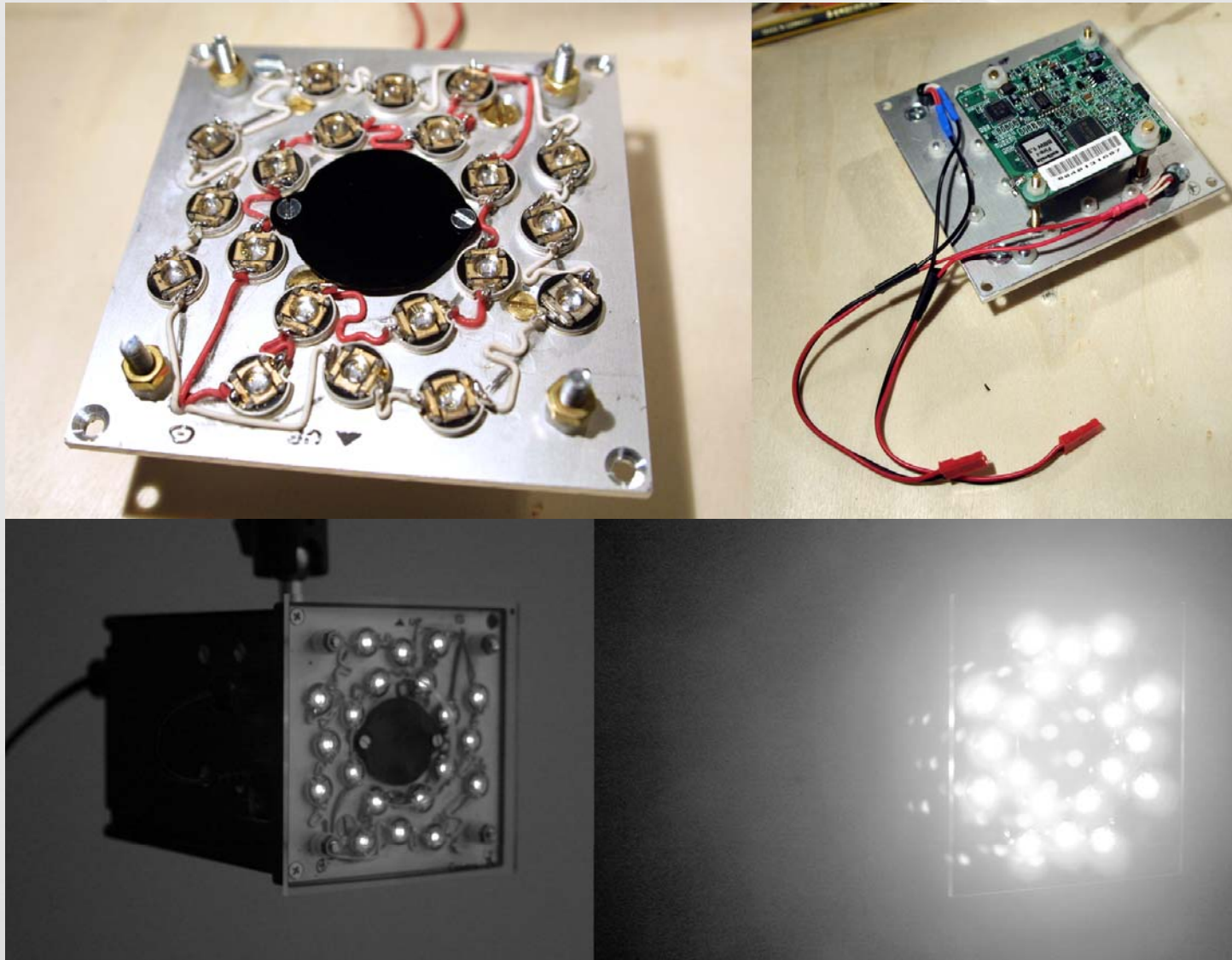
# Unser Tracker: Spezifikation



- 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



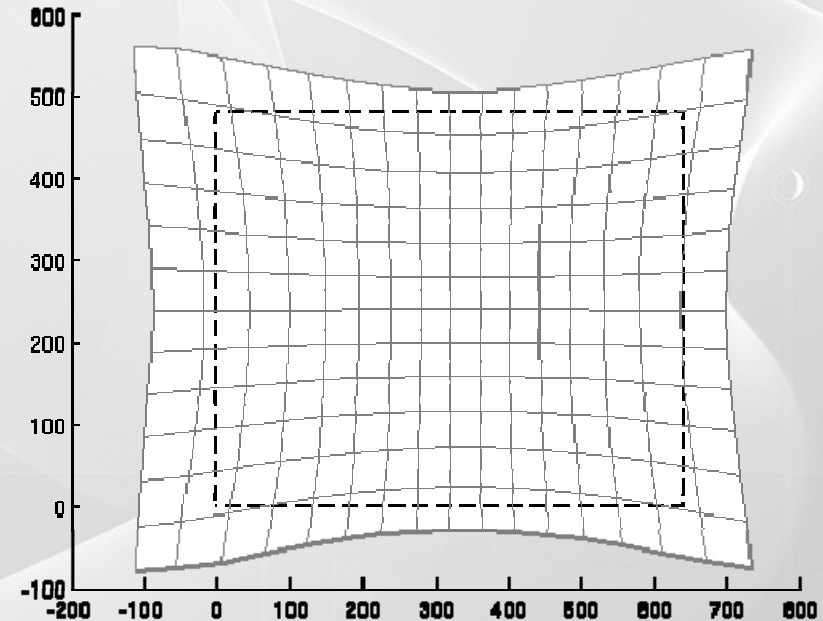
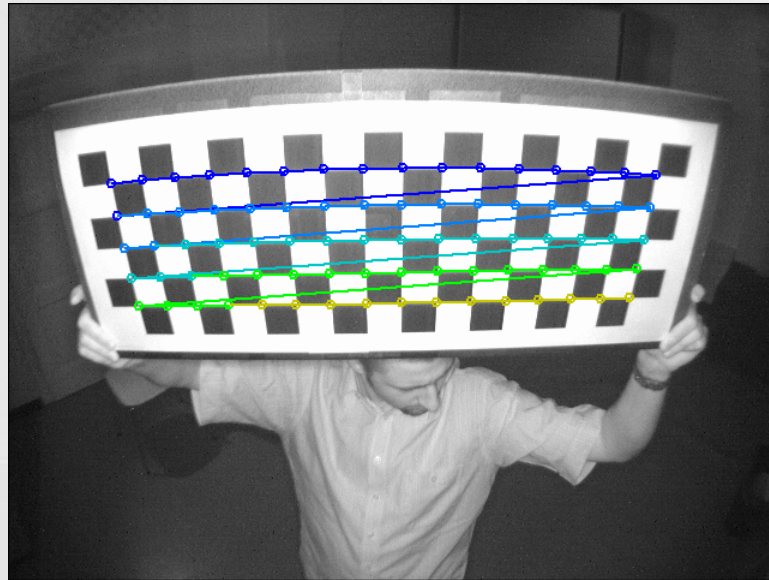
# Kamera Hardware



# 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)



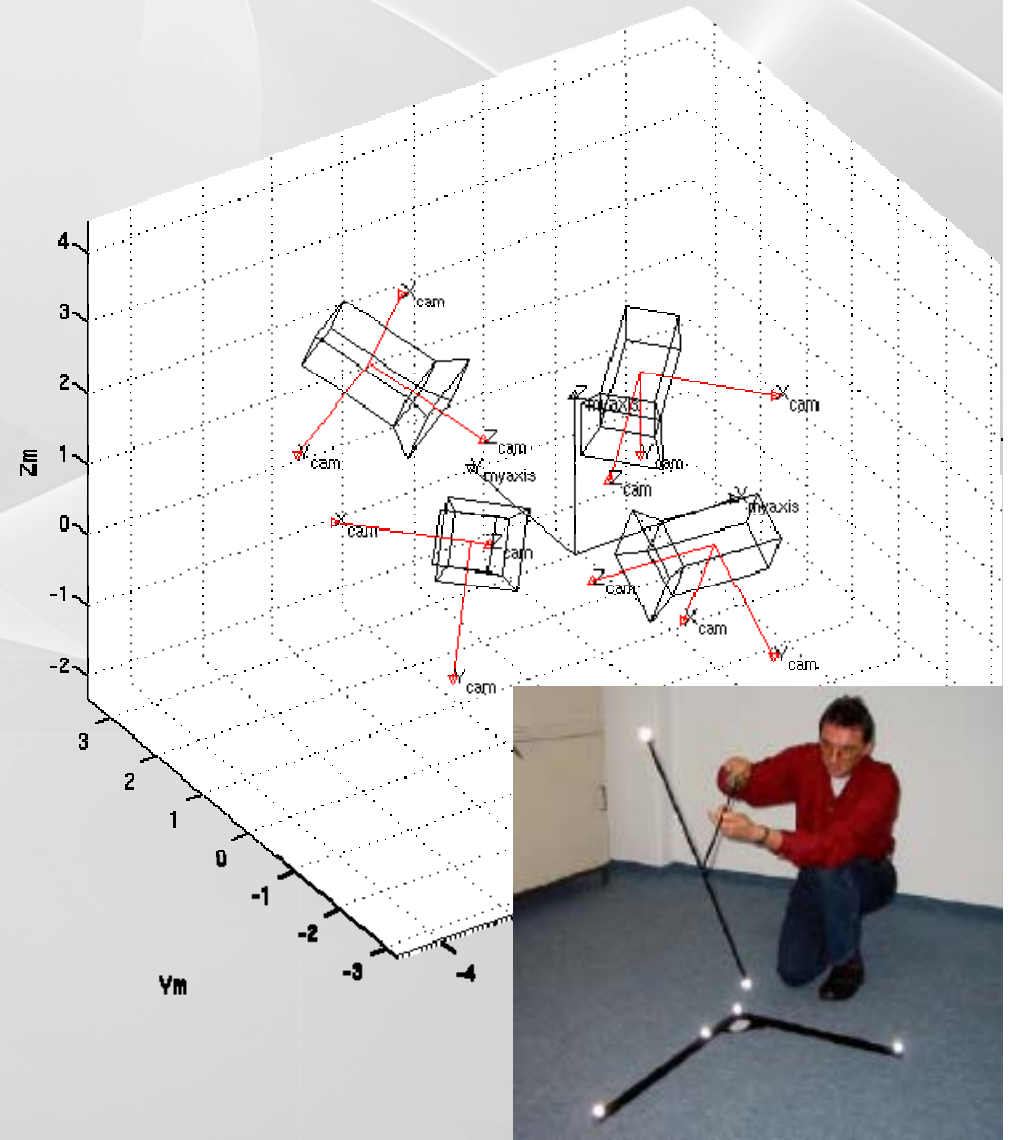
Nicht-lineares Verzerrungsmodell (*Heikkilä 1997*):

- *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



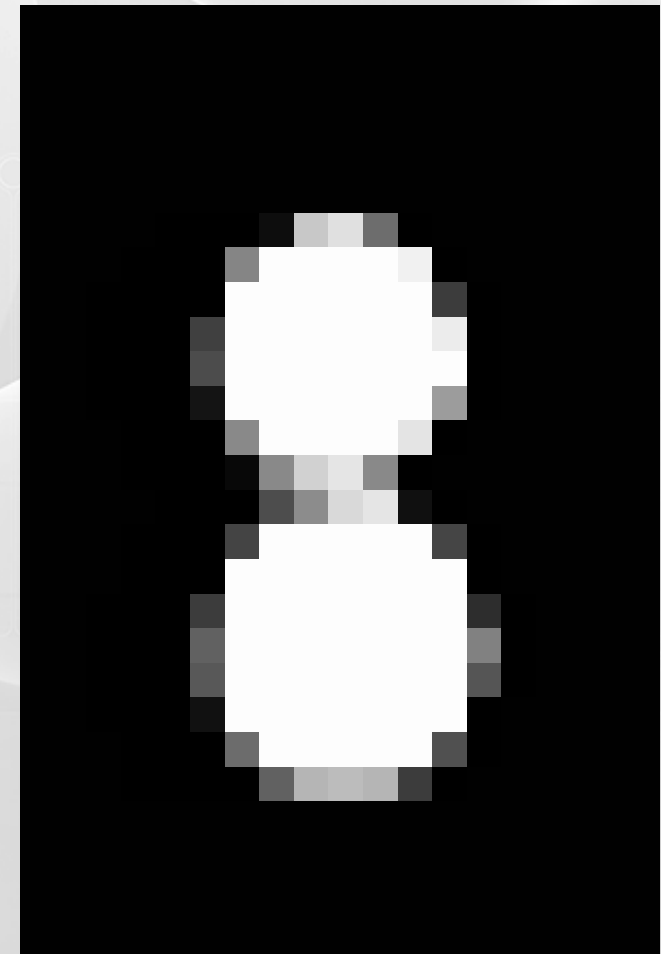
Shutter: 1/200s  
Low Gain



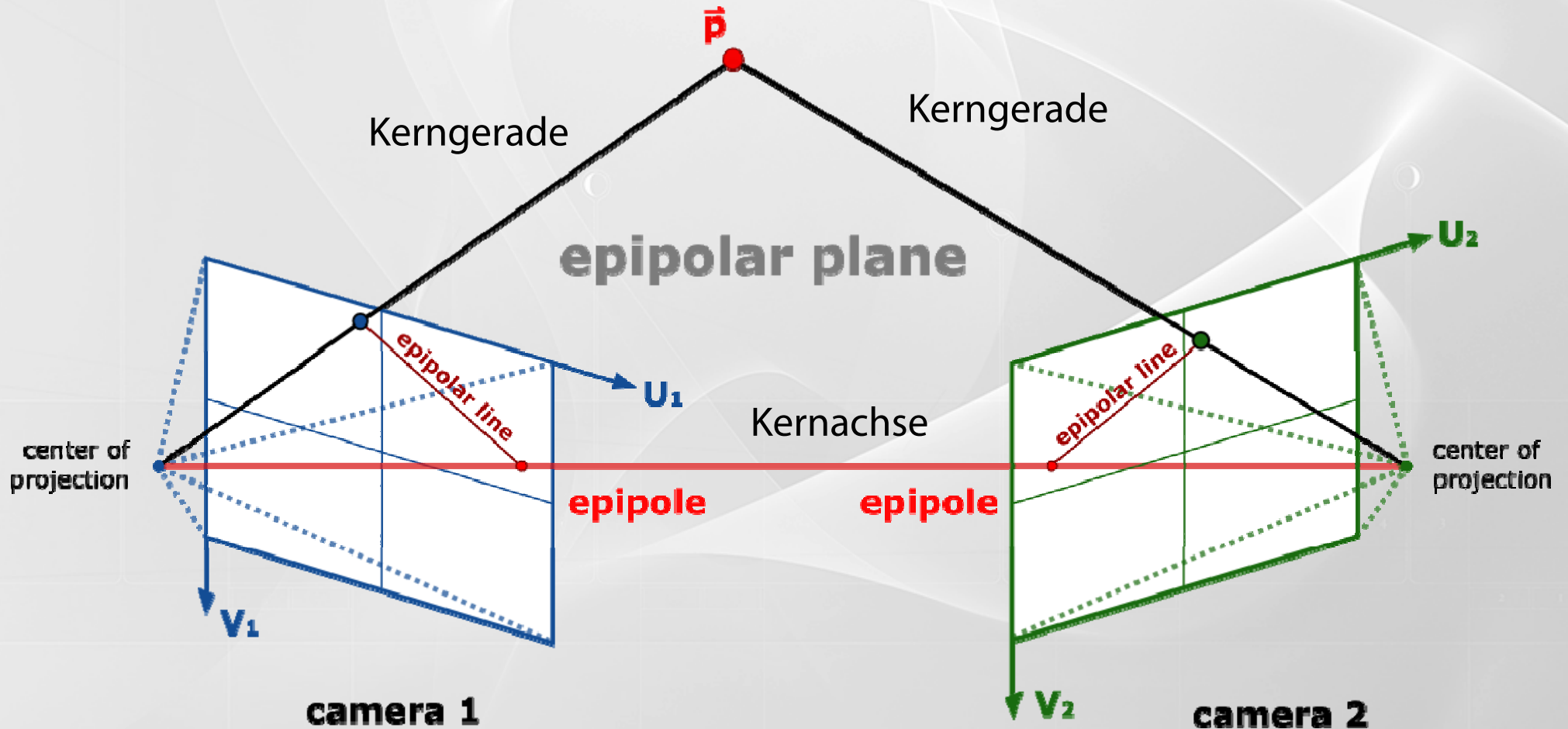
# Blob Erkennung

## Problem: Überlappende Blobs

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



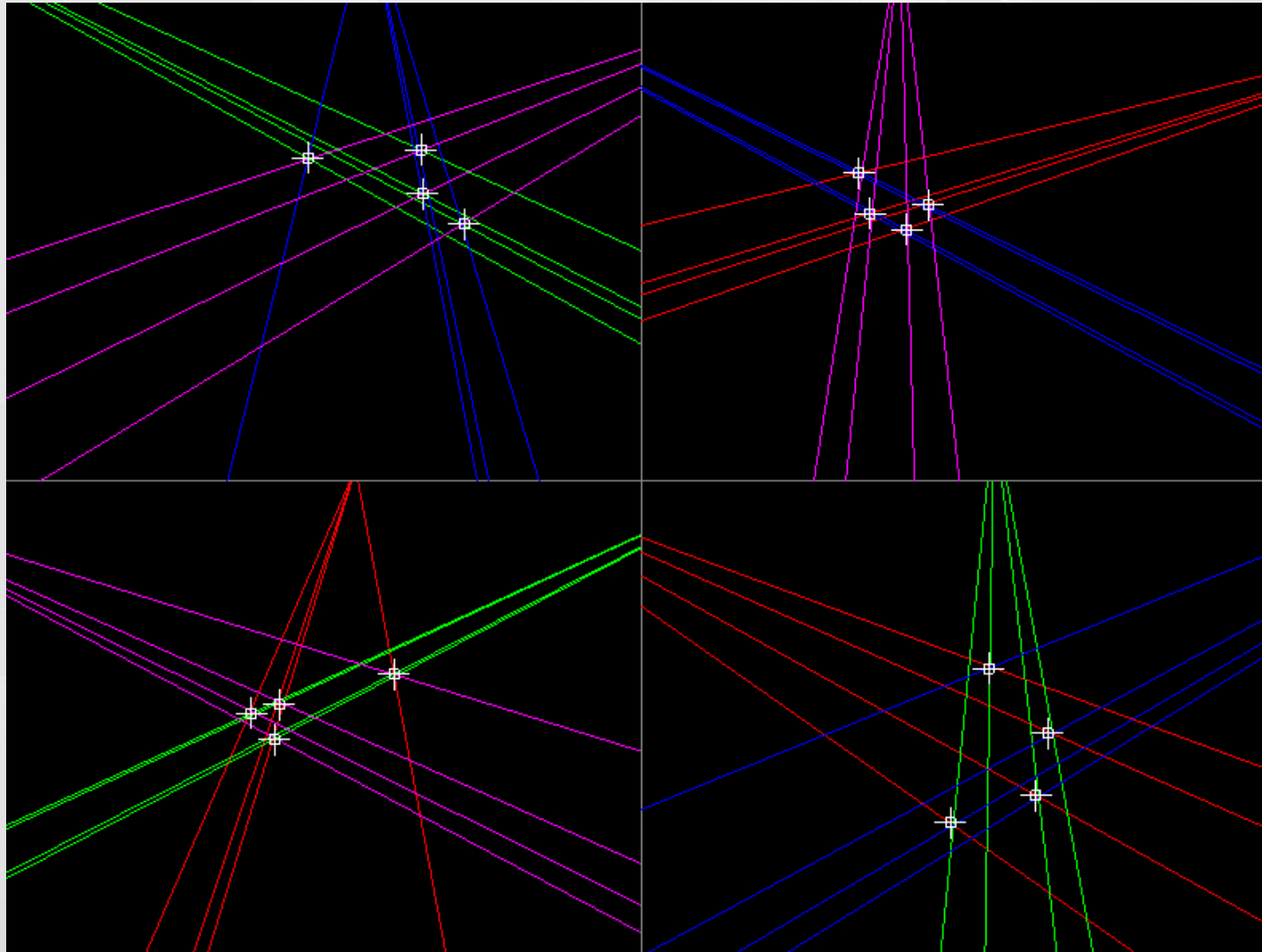
# Epipolar Geometry (Zweibildersystem)



**Satz (S. FINSTERWALDER, 1899): Hauptsatz der Photogrammetrie**

Aus zwei *kalibrierten Bilder* mit gegebener Ordnerprojektivität ist das *dargestellte Objekt bis auf eine Ähnlichkeit eindeutig rekonstruierbar*.

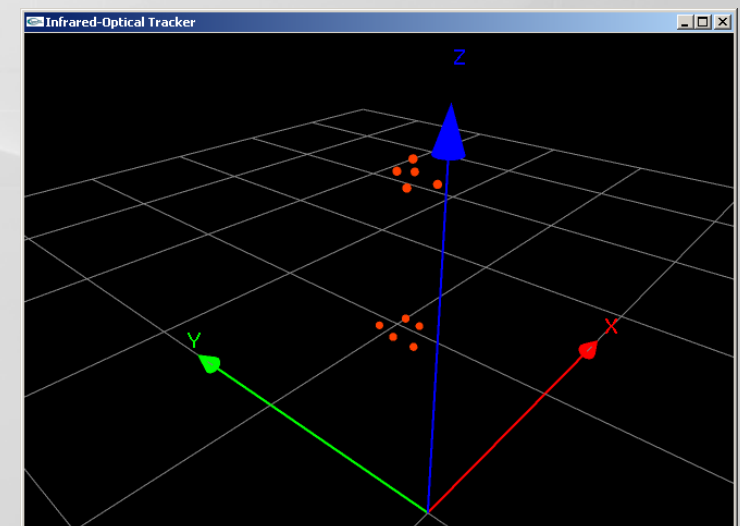
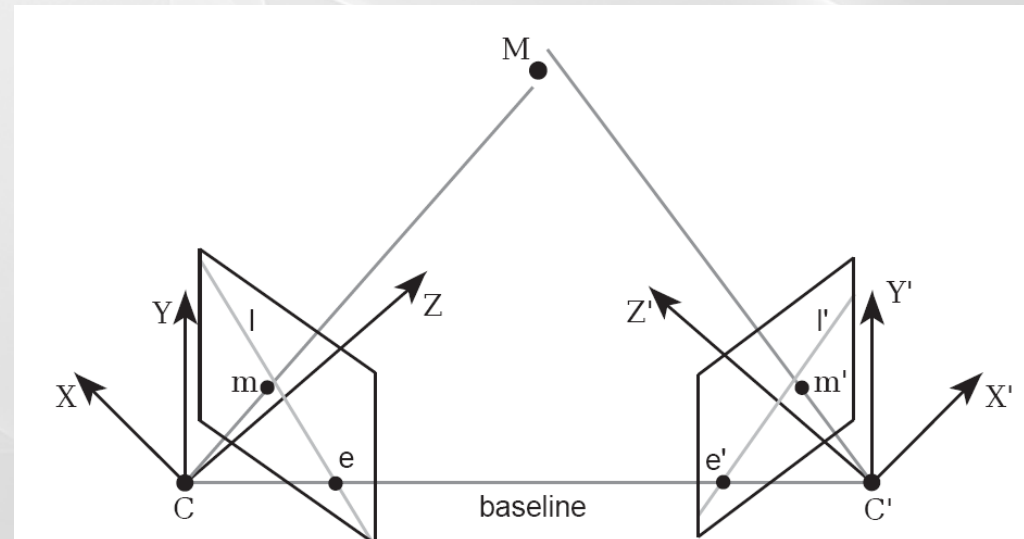
# Epipolar Geometry: Korrespondenzen finden



# Projektive Marker Rekonstruktion

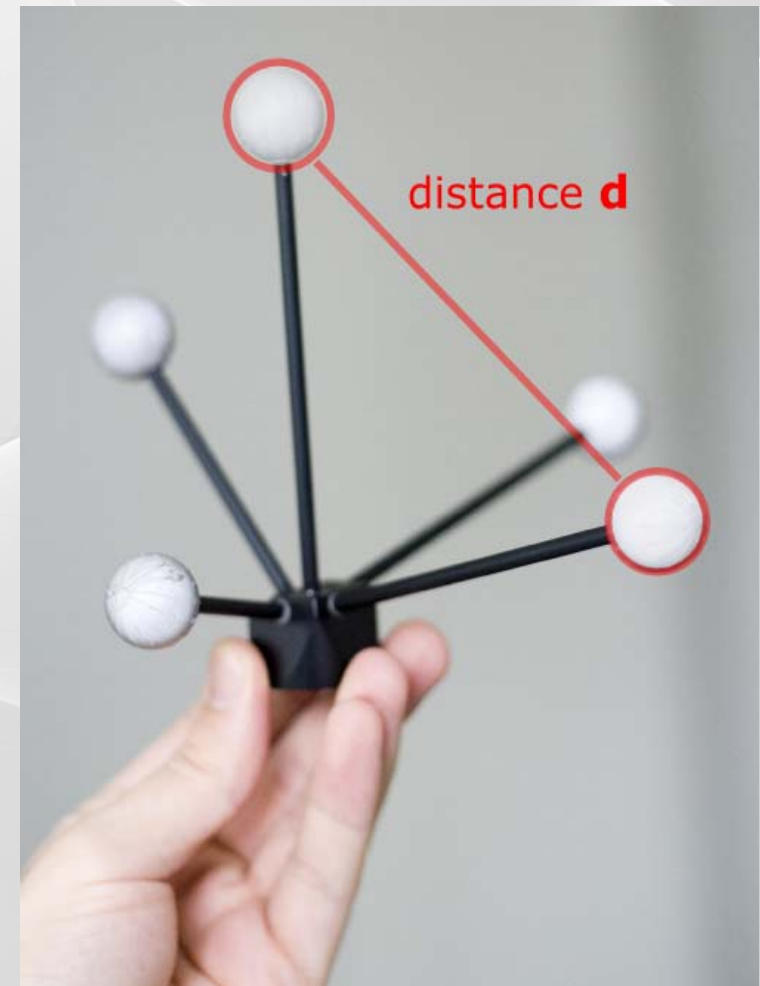
- Sehstrahlen schneiden sich in Praxis nicht
- Verschiedenste Methoden:  
Verwenden “**Least-square**”  
um “Gemeinlot” der  
Sehstrahlen zu finden.
- Für kleine Markeranzahl (<40):  
Nichtlineares “**sparse bundle  
adjustment**” (**Levenberg-  
Marquardt**) um die  
Ergebnisse zu verfeinern  
(rekursiv).

→ 3D Punktwolke



# Model-Fitting

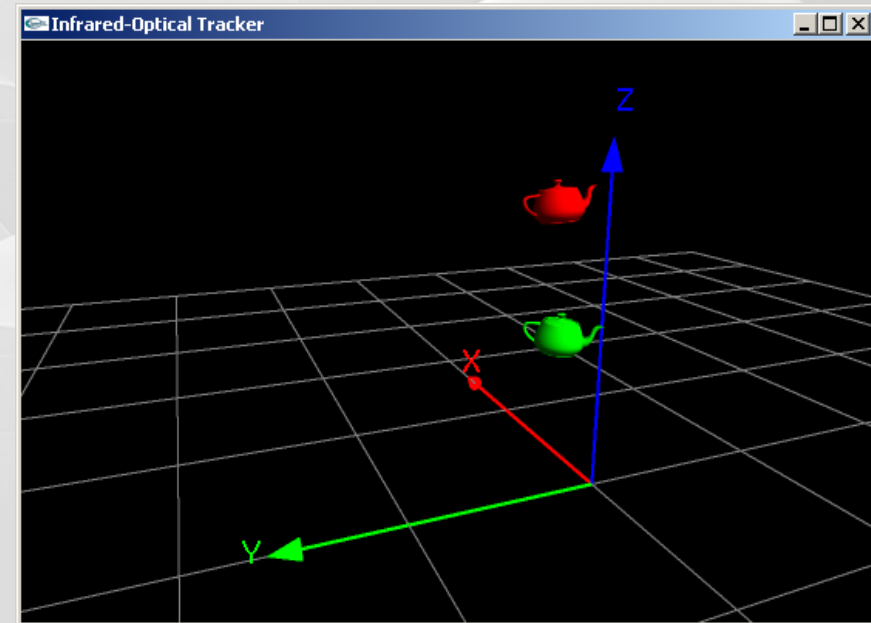
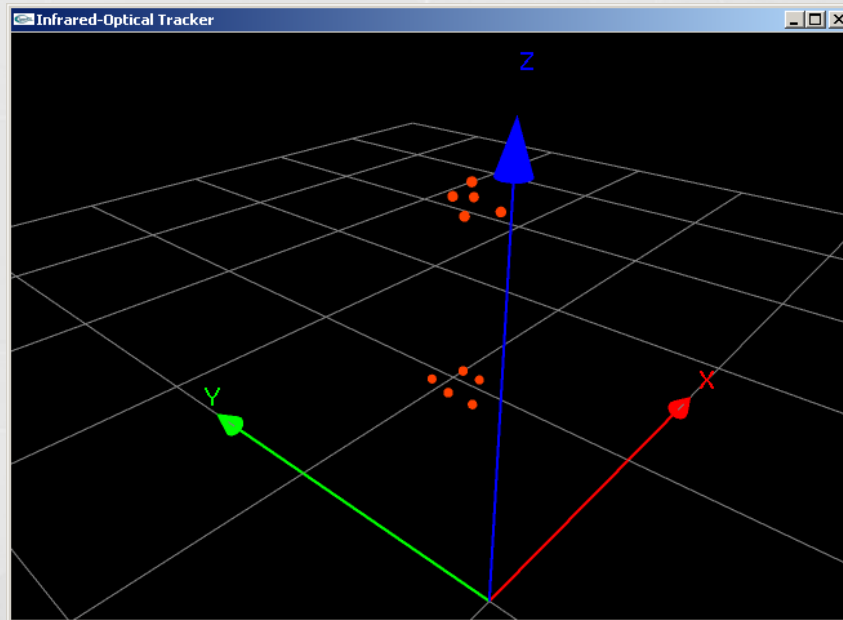
- Vorberechnung/Messung der Distanzen aller Marker einer Konstellation ( $n! / [2 \cdot (n-2)!]$ )
- Für jedes Markerpaar der Punktwolke werden die Distanzen berechnet.  
(Alle Permutationen: ~4950 Distanzen für 100 Marker)
- Auswahl aus mehreren Hypothesen





# 6-DOF Position/Orientierung

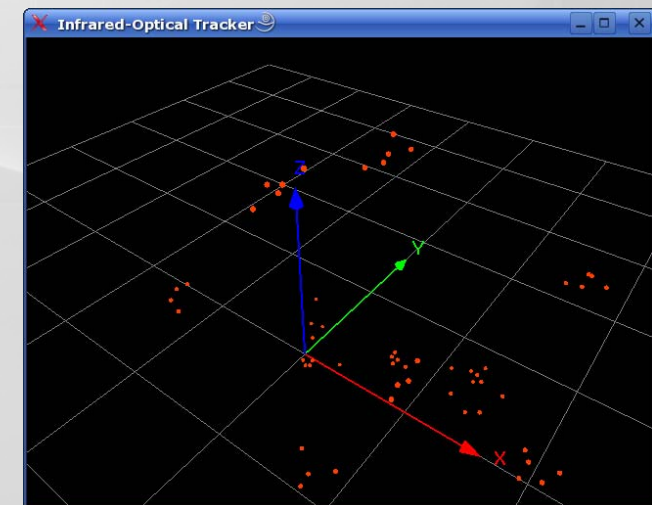
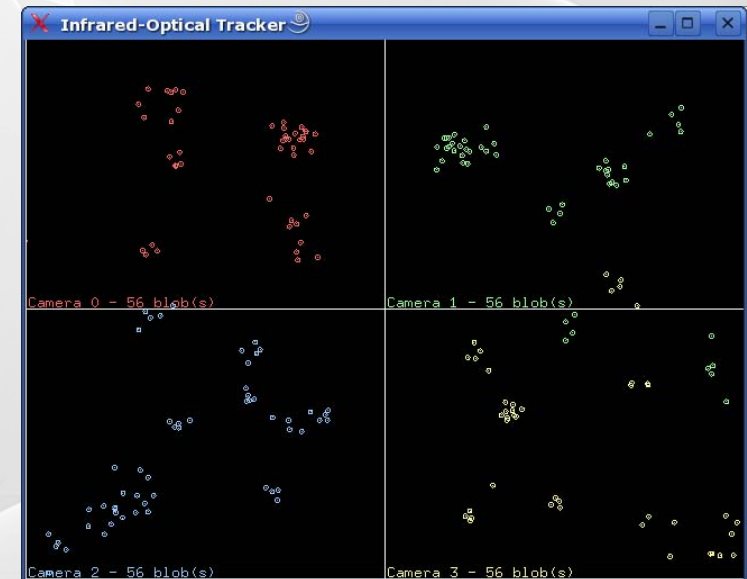
- Ausgehend vom gespeicherten Konstellationsmodell:  
Berechnung der Rotation und Translation.



# 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 !

