

# Digitale Objekterfassung

## *Digital object acquisition/ digital object recording*

Modul 3

Prof. Dr. Mona Hess und Dr. des. Maria Chizhova

Kontakt: [Mona.Hess@uni-bamberg.de](mailto:Mona.Hess@uni-bamberg.de)

Twitter: @Mona3Dimaging



Institut für Archäologische  
Wissenschaften,  
Denkmalwissenschaften  
und Kunstgeschichte



# Nahbereichsphotogrammetrie

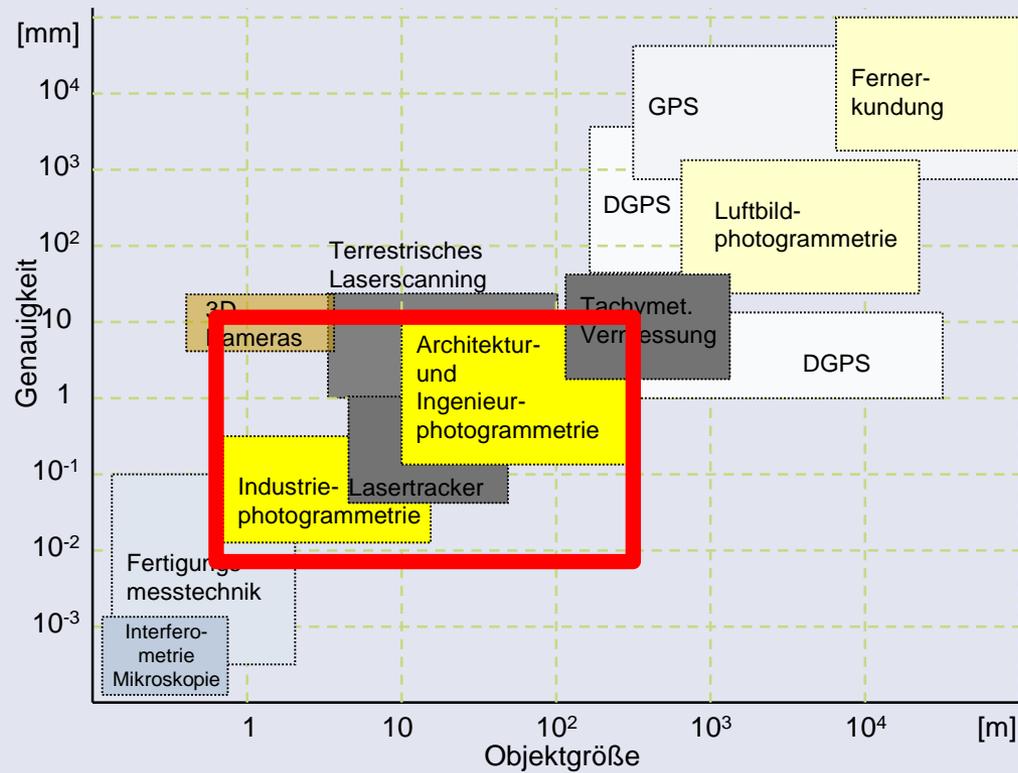
- Definitionen
- Aufgaben
- Arten der Photogrammetrie
- Photogrammetrische Produkte
- Grundlagen und Begriffe der Photogrammetrie
- Auswerteverfahren

# Was ist Photogrammetrie?

- Kommt von Photos φῶς Genitiv: φωτός und Gramma γράμμα: **Zeichnen/ Schreiben mit Licht**
- **Photogrammetrie** - Gruppe von Messmethoden und Auswerteverfahren anhand der photographischer Aufnahme
- **Nahbereichsphotogrammetrie** – Teilgebiet der Photogrammetrie:
  - geringere Aufnahmeentfernungen von weniger als 300 Meter
  - Industrieanwendungen:
    - Objektgrößen von ca. 1m
    - Genauigkeit - bis unter 0,1 Millimeter
  - Architektur- und Ingenieuranwendungen
    - Objektgrößen von ca. 200 Millimeter = 0,2m
    - Genauigkeiten im Zentimeter-Bereich

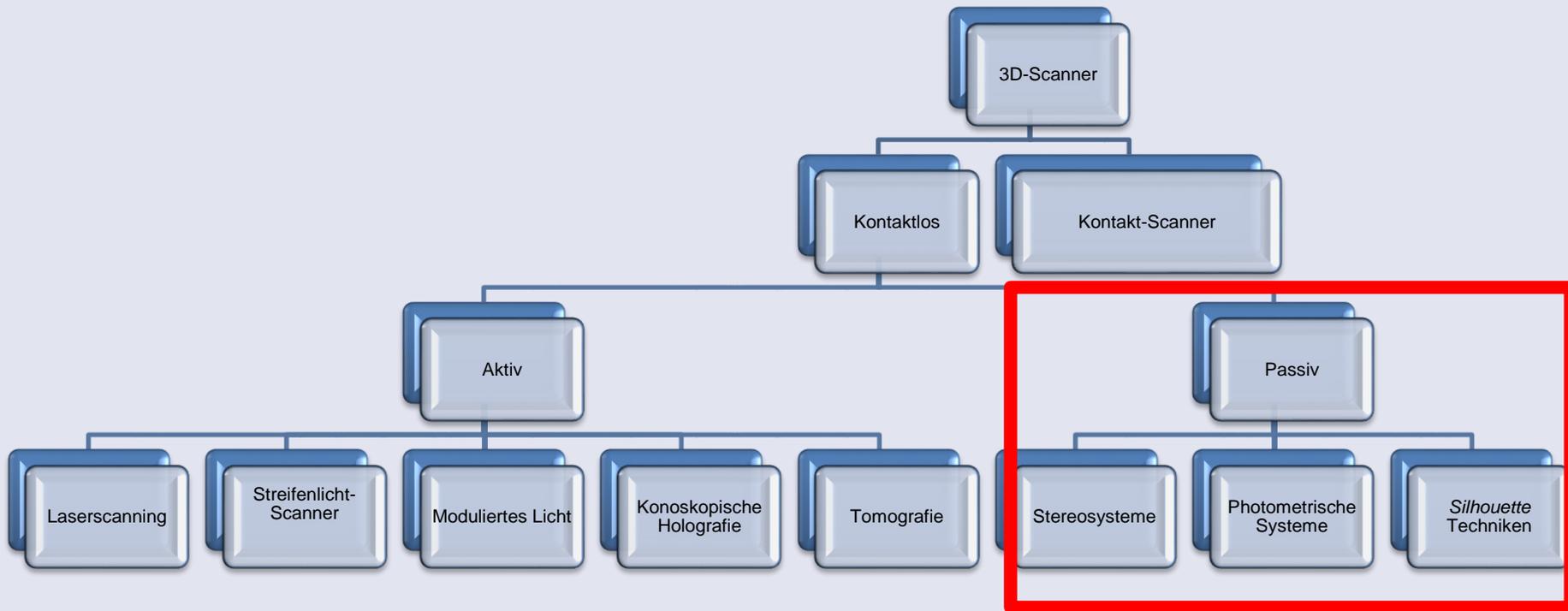


## Genauigkeit von 3D-Messverfahren



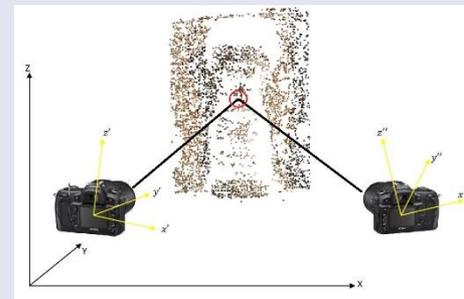
messverf1.ppt

# Klassifikation von den 3D Scannern



# Photogrammetrie: nach Anzahl der auszuwertenden Bilder:

- Einbildphotogrammetrie: Einzelbildauswertungen, ebene Entzerrungen, Orthophotos
- Stereophotogrammetrie: Zweibildauswertungen, stereoskopische Messungen
- Mehrbildphotogrammetrie: beliebige Anzahl Bilder, Bündeltriangulation

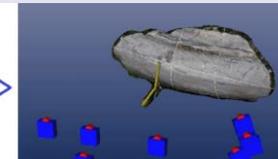
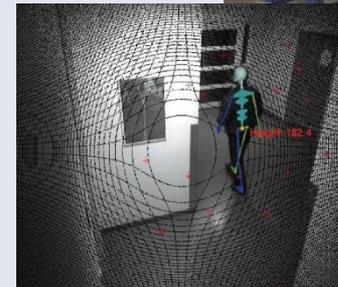


# Photogrammetrie: nach Aufnahme- und Auswertemethode

- Messtischphotogrammetrie: grafisch-zeichnerische Auswertung (bis ca. 1930)
- Analogphotogrammetrie: analoge Kameras, optisch-mechanische Auswertesysteme (bis ca. 1980)
- Analytische Photogrammetrie: analoge Bilder, rechnergesteuerte Auswertung (bis ca. 2000)
- Digitale Photogrammetrie: digitale Bilder, digitale Auswertung (seit ca. 1985)
- Videogrammetrie: digitale Videobilderfassung und Auswertung
- Linienphotogrammetrie: Auswerteverfahren mit Geraden
- Phasogrammetrie: Auswerteverfahren mit Phasenwerten
- Mehrmedienphotogrammetrie: Aufnahme durch Medien verschiedener Brechkraft
- Panoramaphotogrammetrie: Aufnahme und Auswertung von Panoramabildern

# Photogrammetrie: Anwendungsgebiete

- Architekturphotogrammetrie: Architektur, Denkmalpflege, Archäologie
- Ingenieur- und Industriephotogrammetrie: allgemeine ingenieurtechnische Anwendungen, industrielle Messtechnik
- Forensische Photogrammetrie: Unfall- und Tatortvermessung
- Biostereometrics: biomedizinische Anwendungen
- Shape from stereo: Stereobildauswertung (Computer Vision)
- Structure from motion Objektrekonstruktion aus vielen (bewegten) Bildern



# Photogrammetrische Produkte

## Bildhafte und grafische Daten

- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- Bildentzerrungen (Orthophotos)
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen

## Geometrische Daten

- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- Soll-Ist-Vergleiche
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter



Beweissicherung an gefährdeten Bauwerken (IAPG)

## Bildhafte und grafische Daten

- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- Bildentzerrungen (Orthophotos)
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen

## Bildhafte und grafische Daten

- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- **Bildentzerrungen (Orthophotos)**
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen



Originalbild (IAPG)



Auf Fassadenebene entzerrtes Bild (IAPG)



Originalbild (Fokus)



Zylindrische Abwicklung (Fokus)

## Bildhafte und grafische Daten

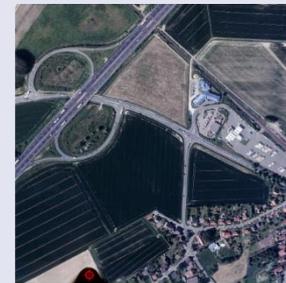
- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- Bildentzerrungen (Orthophotos)
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen



Originalbild (Messbildstelle)



Strichauswertung (Messbildstelle)



Luftbild



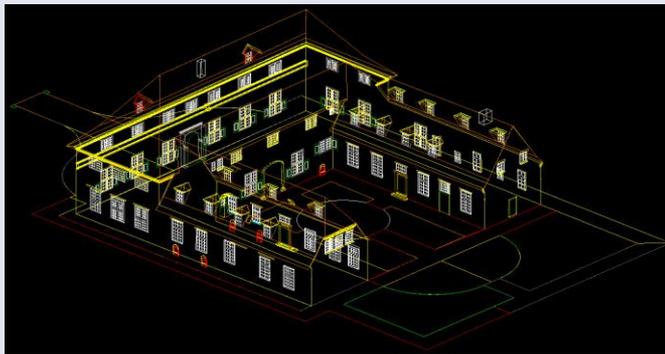
Topographische Karte



Originalbild

## Bildhafte und grafische Daten

- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- Bildentzerrungen (Orthophotos)
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen



3D-CAD-Drahtmodell der Rekonstruktion



3D-Visualisierung



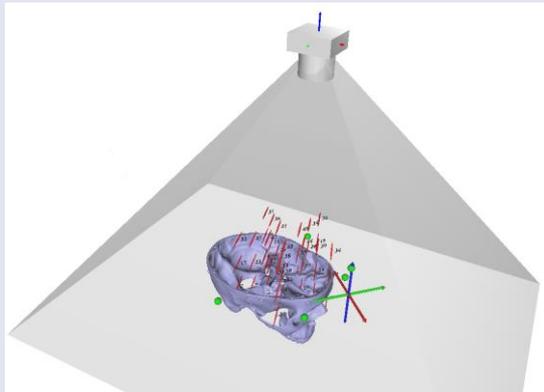
Intensitätsbild einer  
Laserscan-Punktwolke



Einfärbung mit RGB-Werten einer  
zusätzlichen Kamera

## Bildhafte und grafische Daten

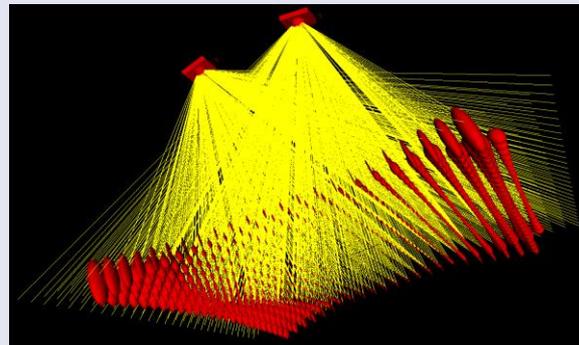
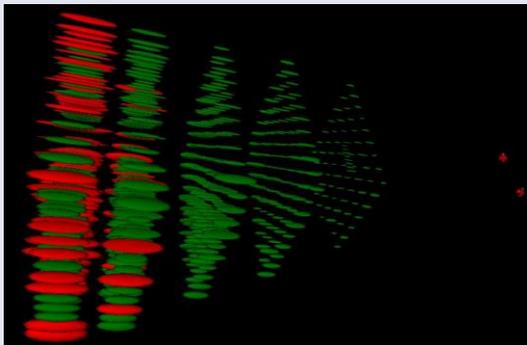
- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- Bildentzerrungen (Orthophotos)
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen



Genauigkeitssimulation bei einer photogrammetrischen Navigation

## Bildhafte und grafische Daten

- Originalbilder als Messwertarchiv und Zustandsdokumentation
- Bildentzerrungen (Orthophotos)
- Karten, Pläne (topographische Karten)
- 3D-Visualisierungen (z.B. Stadt- und Landschaftsmodelle)
- Überlagerungen Bild und Grafik
- Texturierung, eingefärbte Punktwolken
- Simulationen



Simulationsergebnisse eines Stereomesssystems (IAPG)

## Geometrische Daten

- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- Soll-Ist-Vergleiche
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße  
(Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente  
(Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter

| Punkt Nr. | x         | y         | z       | sx     | sy     | sz     | [Strahlen] | Ausreißer |
|-----------|-----------|-----------|---------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| 1146      | 869.9422  | -104.5694 | 32.1789 | 0.0437 | 0.0223 | 0.0397 | 6          | 0         |
| 1137      | 854.3729  | -120.9168 | 21.8191 | 0.0278 | 0.0166 | 0.0270 | 7          | 1         |
| 1145      | 335.6926  | 771.9453  | 40.1577 | 0.0092 | 0.0130 | 0.0216 | 6          | 0         |
| 1133      | 25.3780   | 746.8150  | 77.2190 | 0.0139 | 0.0094 | 0.0142 | 9          | 0         |
| 1149      | 800.0368  | -61.8049  | 31.3313 | 0.0105 | 0.0095 | 0.0129 | 8          | 0         |
| 1131      | 433.9617  | 199.8629  | 39.7521 | 0.0096 | 0.0090 | 0.0129 | 8          | 0         |
| 1132      | 473.3097  | -181.3306 | 31.0188 | 0.0092 | 0.0085 | 0.0117 | 11         | 1         |
| 1144      | 481.6377  | 716.4164  | 44.6369 | 0.0096 | 0.0088 | 0.0115 | 9          | 0         |
| 1139      | 768.8346  | -305.7601 | 43.5446 | 0.0087 | 0.0082 | 0.0113 | 11         | 1         |
| 1120      | 81.9415   | -135.3419 | 17.2003 | 0.0089 | 0.0083 | 0.0113 | 10         | 0         |
| 1116      | 1063.4528 | 374.6851  | 5.8293  | 0.0065 | 0.0052 | 0.0079 | 23         | 0         |
| 4         | 1179.2015 | 278.0186  | 0.8845  | 0.0069 | 0.0051 | 0.0078 | 24         | 0         |
| 147       | 1304.3600 | 225.8198  | 36.7016 | 0.0059 | 0.0050 | 0.0075 | 24         | 2         |
| 6         | 367.3524  | 1010.0575 | 11.0864 | 0.0054 | 0.0064 | 0.0077 | 23         | 0         |
| 1129      | 1044.1321 | 406.3622  | 2.9616  | 0.0062 | 0.0050 | 0.0076 | 25         | 0         |
| 1117      | 1045.0671 | 354.7191  | 13.8024 | 0.0064 | 0.0051 | 0.0075 | 25         | 0         |
| 48        | 1315.0753 | 126.4081  | -9.2244 | 0.0078 | 0.0053 | 0.0074 | 27         | 1         |
| 1127      | 1002.2621 | 444.5129  | 3.5529  | 0.0060 | 0.0049 | 0.0073 | 27         | 1         |
| 1123      | 980.0955  | 464.9972  | 3.7918  | 0.0060 | 0.0049 | 0.0073 | 27         | 0         |
| 1128      | 1022.7200 | 425.9681  | 3.2496  | 0.0061 | 0.0049 | 0.0073 | 27         | 0         |
| 1111      | 409.9738  | 980.1028  | 8.9234  | 0.0051 | 0.0062 | 0.0072 | 26         | 0         |
| 5         | 787.0397  | 635.6441  | 8.3202  | 0.0054 | 0.0051 | 0.0072 | 27         | 0         |
| 1126      | 958.5958  | 484.6682  | 4.0807  | 0.0059 | 0.0048 | 0.0071 | 28         | 0         |
| 1104      | -333.2654 | 158.9131  | 6.6725  | 0.0074 | 0.0055 | 0.0081 | 22         | 1         |
| 1136      | 824.2591  | 565.8612  | 16.3094 | 0.0055 | 0.0049 | 0.0070 | 28         | 0         |
| 1130      | 841.3999  | 585.5513  | 7.3880  | 0.0055 | 0.0049 | 0.0069 | 29         | 0         |
| 43        | -613.8690 | 242.3582  | -5.5056 | 0.0097 | 0.0059 | 0.0084 | 22         | 3         |
| 1112      | 392.1838  | 960.7339  | 19.3195 | 0.0050 | 0.0061 | 0.0070 | 27         | 0         |
| 40        | 230.2221  | 1119.6385 | -4.3526 | 0.0051 | 0.0070 | 0.0069 | 29         | 1         |
| 1134      | 597.2920  | 816.3171  | 8.6663  | 0.0050 | 0.0054 | 0.0069 | 29         | 0         |
| 146       | 328.5409  | 1143.8560 | 39.4592 | 0.0045 | 0.0056 | 0.0066 | 30         | 1         |
| 1115      | 578.2718  | 833.9715  | 8.4579  | 0.0048 | 0.0055 | 0.0067 | 30         | 0         |

Auszug aus einem Ergebnisprotokoll einer Bündelausgleichung (AXIOS 3D Ax.Ori)

## Geometrische Daten

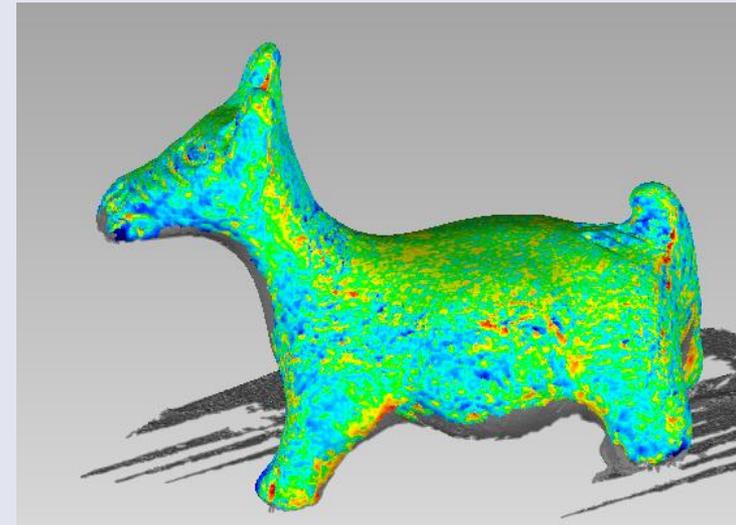
- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- **Deformationen**
- Soll-Ist-Vergleiche
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter



Deformationsvektoren an einer Autotür nach mechanischer Belastung (IAPG)

## Geometrische Daten

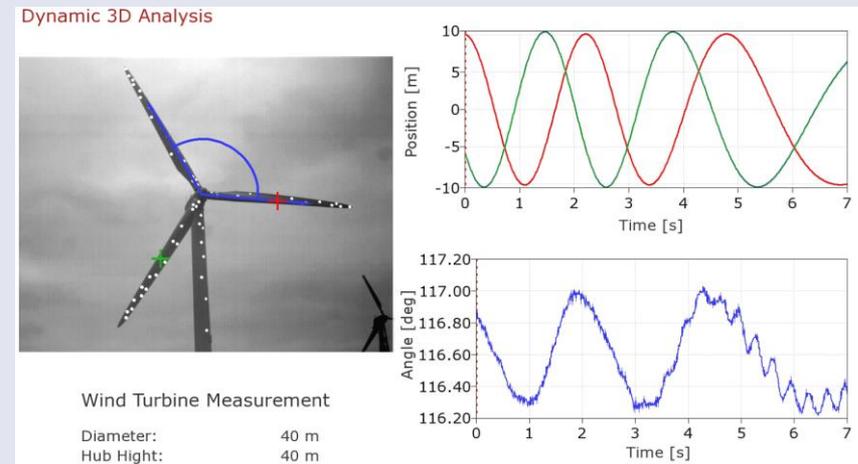
- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- **Soll-Ist-Vergleiche**
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter



Soll-Ist-Vergleich an einem Flächenprüfkörper (IAPG)

## Geometrische Daten

- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- Soll-Ist-Vergleiche
- **Trajektorien**
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter



Schmidt Paulsen et al. (2009)

Bewegungsvektoren an einer Windkraftanlage (GOM)

## Geometrische Daten

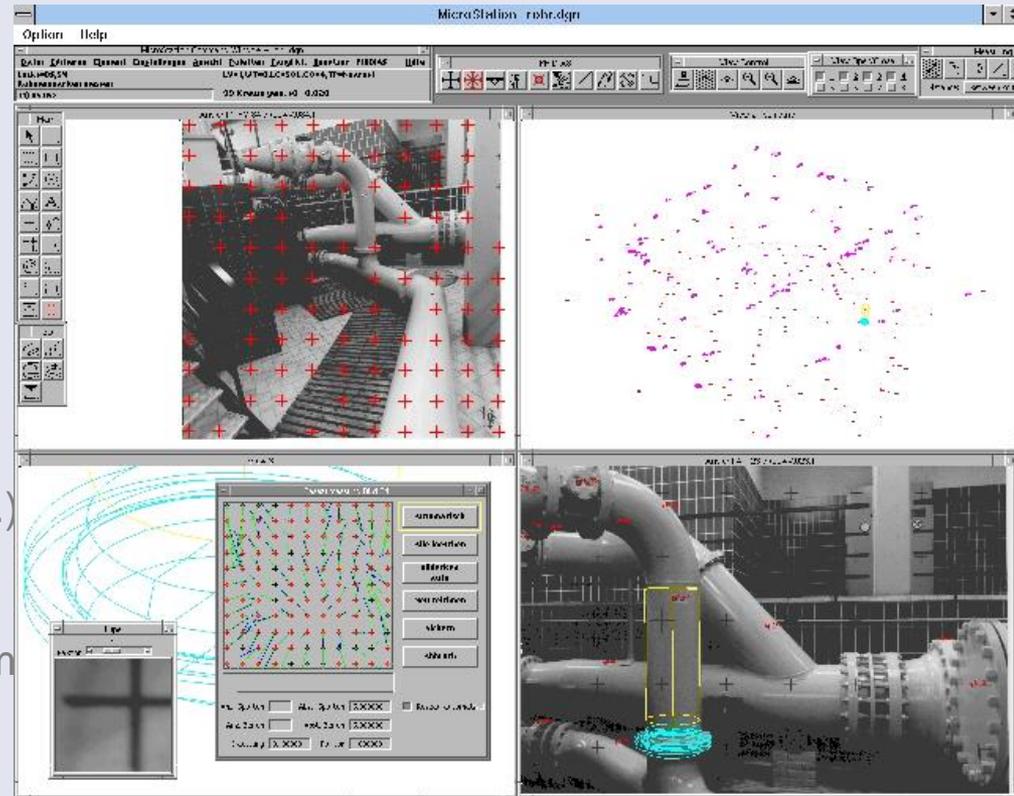
- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- Soll-Ist-Vergleiche
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- **Echtzeit-Steuerdaten**
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter



Automatisches Rohrleitungsprüfsystem mit direkter Kopplung an Biegemaschine (AICON)

## Geometrische Daten

- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- Soll-Ist-Vergleiche
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- **GIS- und CAD-Daten**
- Kalibrierungs- und Orientierungsparam



Rekonstruktion von Rohrleitungen (Phidias)

## Geometrische Daten

- 3D-Objektkoordinaten
- Statistische Fehlermaße
- Deformationen
- Soll-Ist-Vergleiche
- Trajektorien
- Abgeleitete geometrische Maße (Distanz, Fläche, Volumen)
- Abgeleitete geometrische Elemente (Ebene, Kreis, Kugel, Hyperboloid etc.)
- Echtzeit-Steuerdaten
- GIS- und CAD-Daten
- Kalibrierungs- und Orientierungsparameter

```
Kamera/R0:      1      8.325
Ck      :      -35.1427      0.00198929
Xh      :      -0.0412739      0.00404428
Yh      :      0.035687      0.00278132
A1      :      -1.77323e-005      1.62477e-006
A2      :      2.47074e-007      2.15019e-008
A3      :      -3.64507e-010      8.82691e-011
B1      :      1.08629e-005      1.29507e-006
B2      :      9.61384e-006      9.19095e-007
C1      :      0.000161655      1.04286e-005
C2      :      -2.77853e-005      1.02364e-005
```

Korrelation:

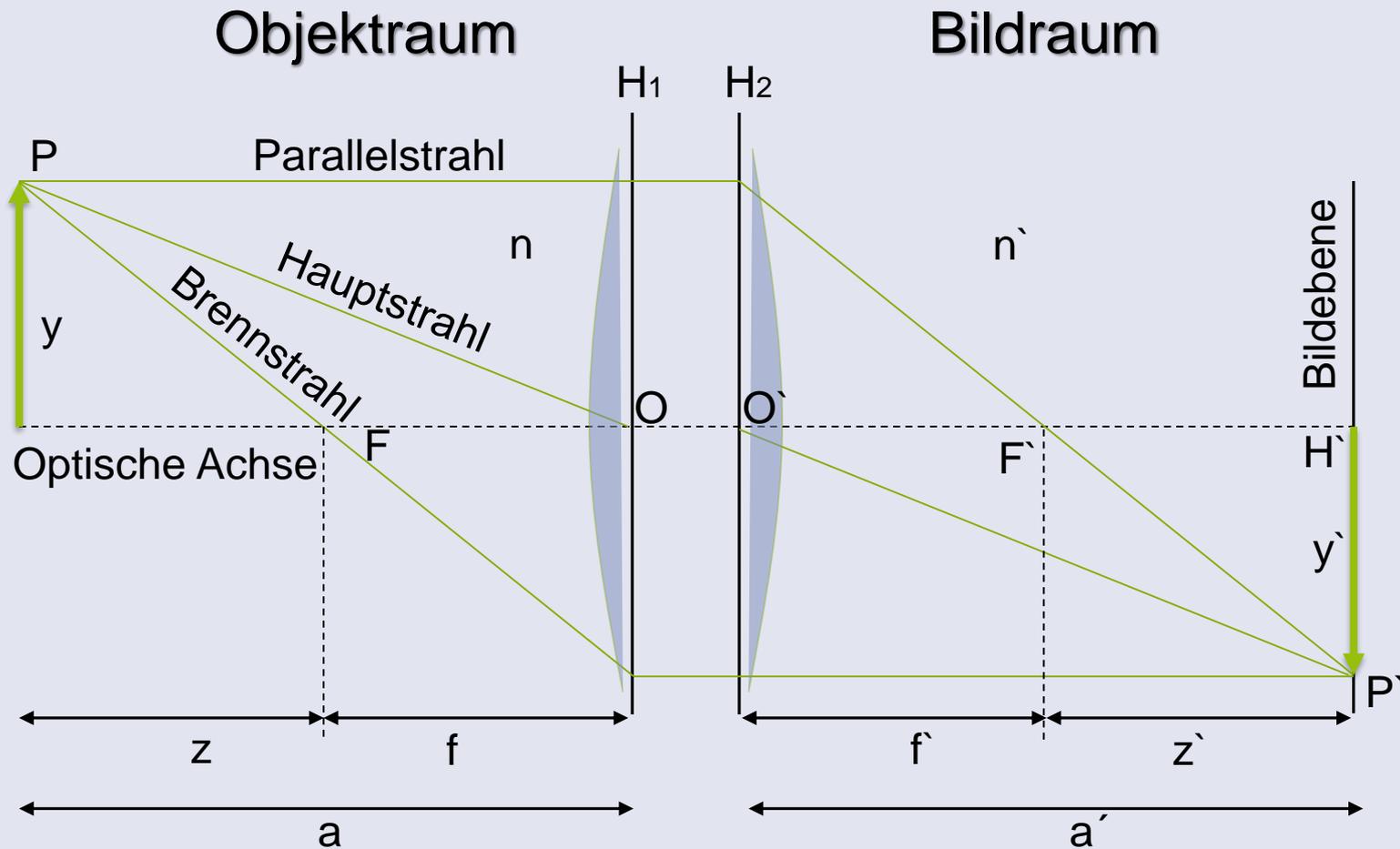
```
Ck      1.000
Xh      -0.010      1.000
Yh      -0.068      -0.031      1.000
A1      0.032      -0.022      -0.034      1.000
A2      -0.011      0.020      0.037      -0.967      1.000
A3      0.003      -0.020      -0.039      0.908      -0.982      1.000
B1      0.001      0.974      -0.034      -0.016      0.017      -0.017      1.000
B2      -0.033      -0.037      0.887      0.013      -0.008      0.010      -0.033      1.000
C1      0.106      0.053      -0.027      -0.002      -0.038      0.047      0.047      -0.047      1.000
C2      -0.011      0.015      0.005      -0.036      0.046      -0.051      0.024      0.011      0.005      1.000
      Ck      Xh      Yh      A1      A2      A3      B1      B2      C1      C2
```

Berechnung von Kamerakalibrierungsparametern

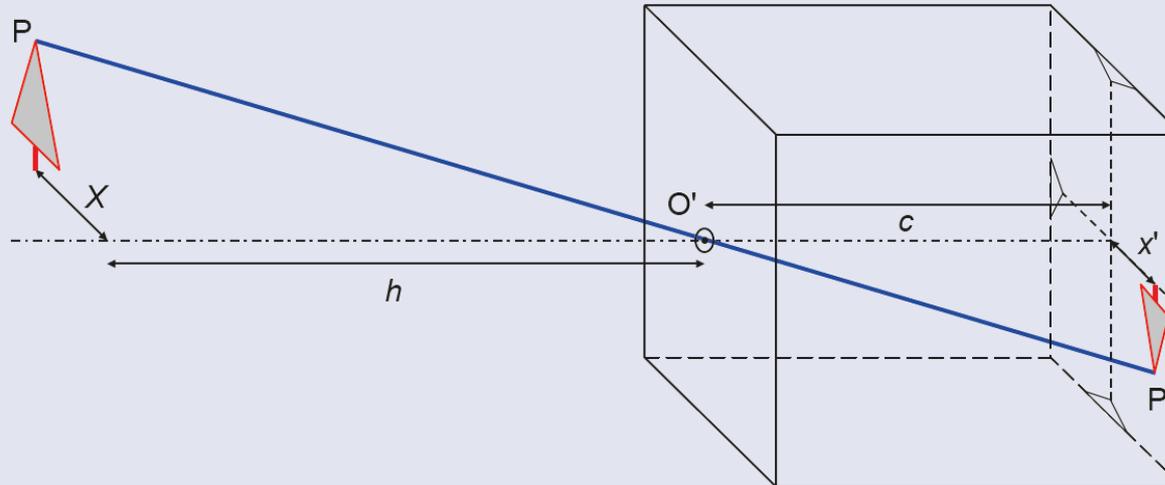
# Grundbegriffe der Photogrammetrie

- Brennweite
- Bildmaßstab
- Aufnahmedistanz
- Bildformat
- Koordinatensystem(e)
- Transformation
- Homologe Punkte
- Projektionszentrum und Bildhauptpunkt
- Orientierungsarten (insbesondere innere und äußere Orientierung)
- Triangulation
- Rückwärtsschnitt, Vorwärtsschnitt

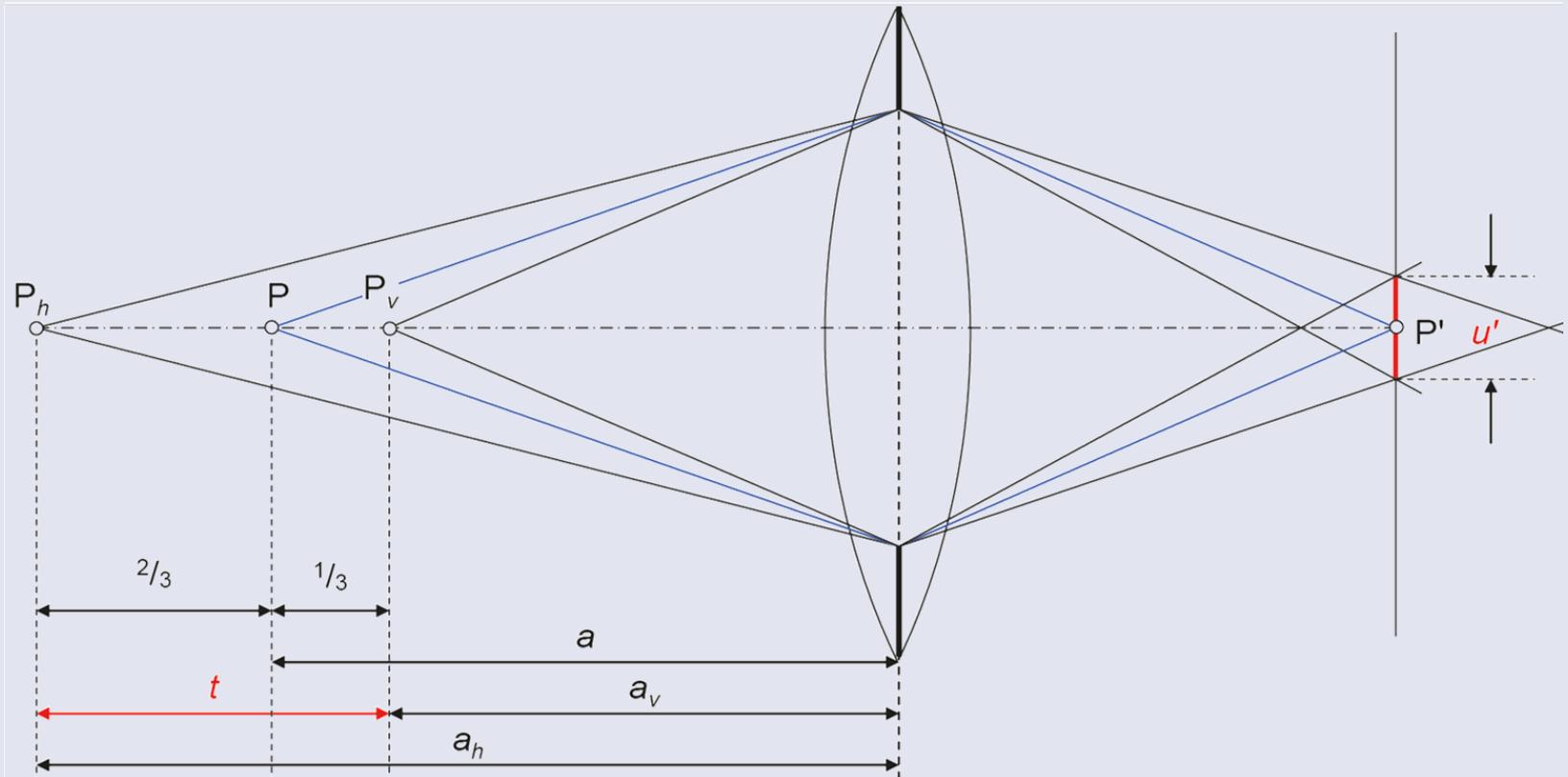
# Optische Abbildung



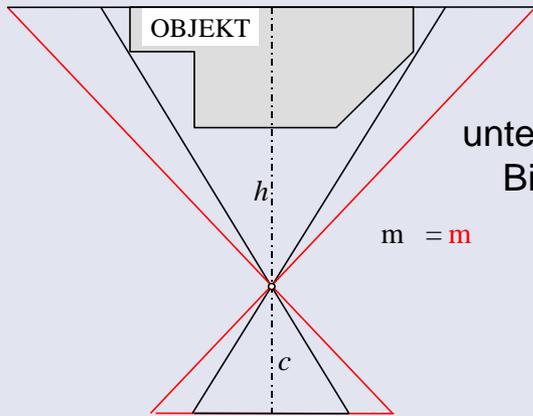
# Modell einer Lochkamera (pinhole camera)



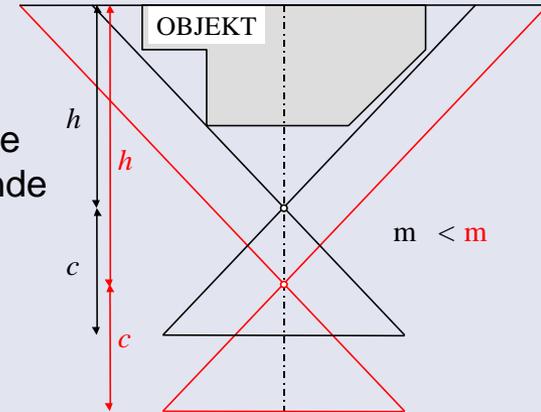
- $O'$  – Projektionszentrum: Bezugspunkt, durch den alle Bildstrahlen geradlinig verlaufen
- $c$  – Kamerakonstante: Abstand zwischen Bildebene und Projektionszentrum (Brennweite – warum nicht Bildweite???)
- $h$  - Aufnahmeentfernung
- $X$  - parallel zum Bild liegenden Objektstrecke
- $x'$  – Abbildung von  $X$
- $P$  – Punkt am Objekt,  $P'$  – Abbildung vom Punkt  $P$



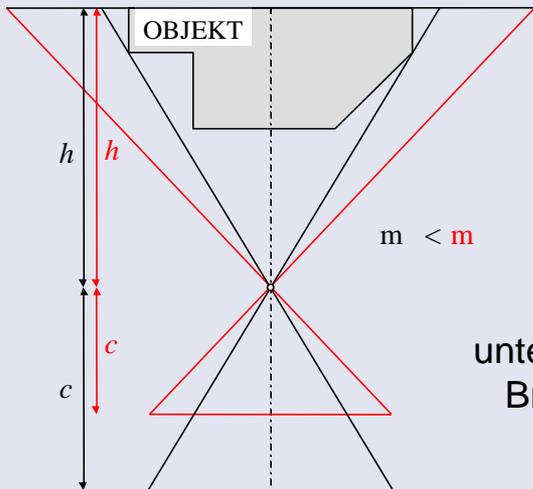
# Bildmaßstab, Aufnahmeabstand und Brennweite



unterschiedliche Aufnahmeabstände

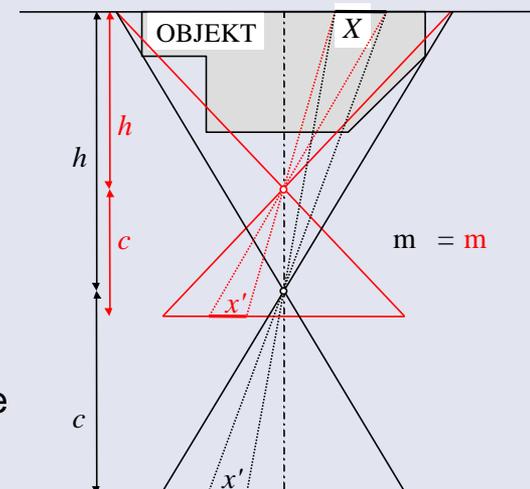


$$m = \frac{h}{c} = \frac{X}{x'}$$



unterschiedliche Brennweiten

gleiche Bildmaßstäbe





Näherungsweise gleicher Bildmaßstab im ganzen Bild

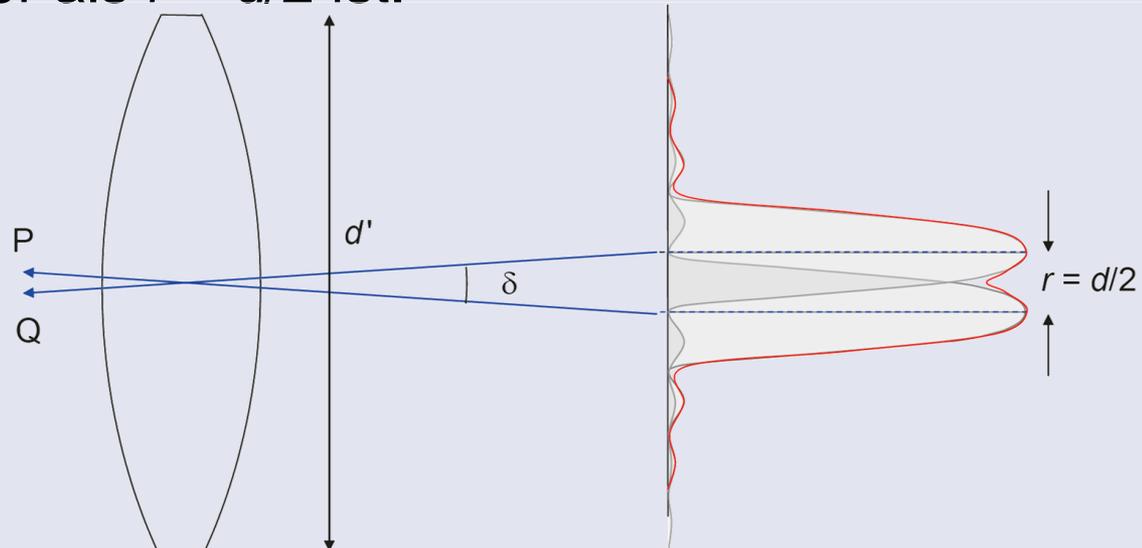
Ungleiche Bildmaßstäbe im ganzen Bild

## Auflösungsvermögen vom Objektiv

- Auflösungsvermögen vom Objektiv ist durch Beugung und Bündelbegrenzung limitiert.
- Zwei nebeneinander liegende punktförmige Objekte P und Q können nur dann optisch getrennt abgebildet werden, wenn ihr Abstand im Bild größer als  $r = d/2$  ist.

$$r = 1,22\lambda k, \text{ wenn } n=1$$

$$\delta = 1,22 \frac{\lambda}{d'}$$



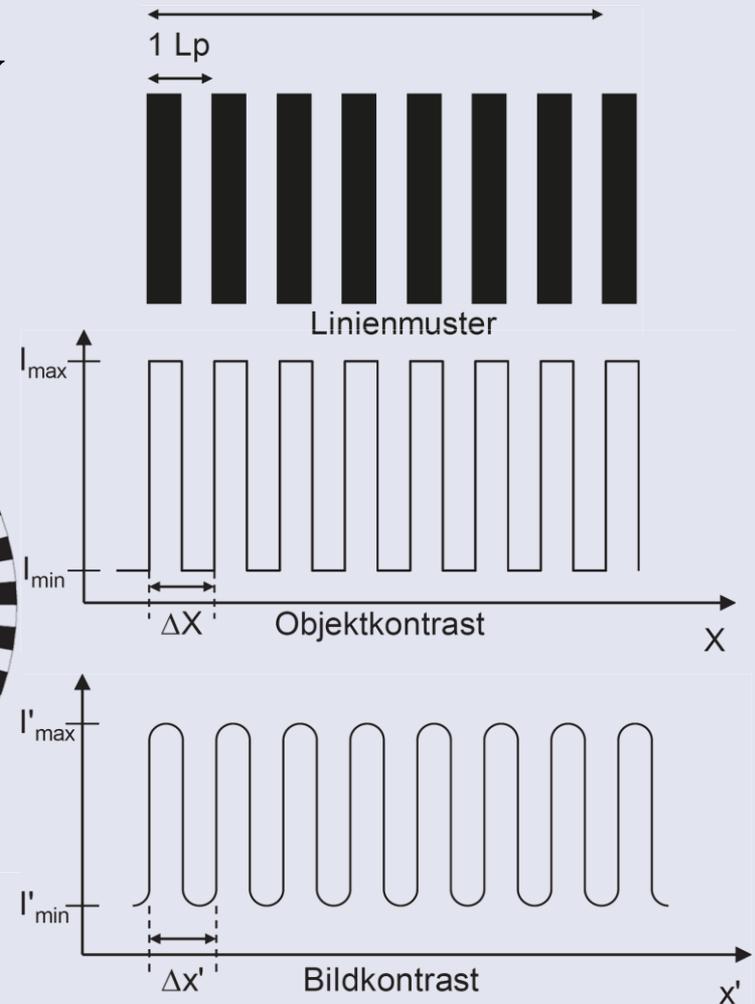
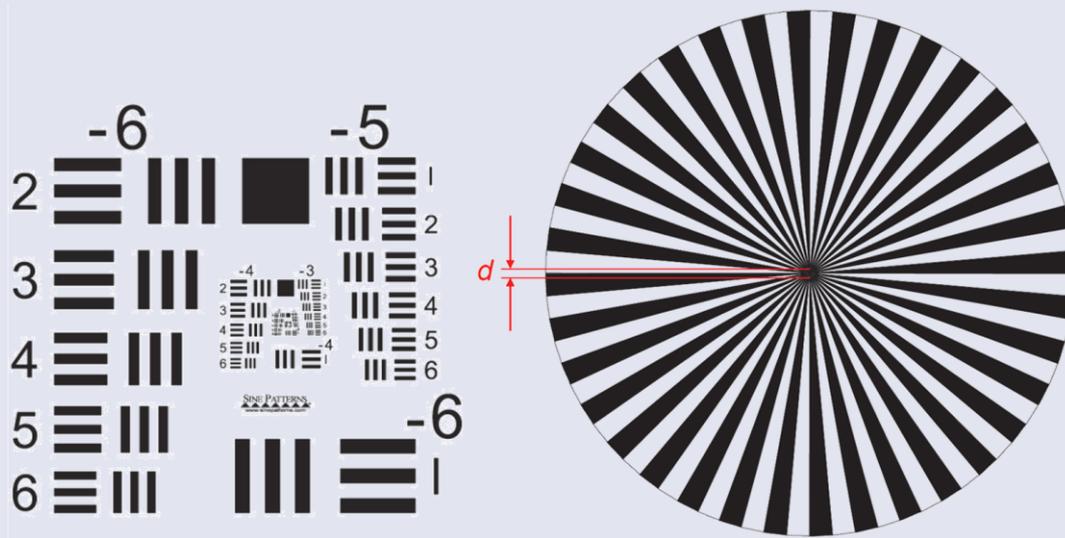
# Geometrisches Auflösungsvermögen

- Geometrisches Auflösungsvermögen (AV) - Fähigkeit, die Anzahl gegebener schwarzer und weißer Linien mit
  - gleichem Abstand,
  - gleicher Dicke und
  - konstantem Kontrastvoneinander getrennt abzubilden.
- Einheit
  - Linienpaare pro Millimeter (Lp/mm)
  - dots per inch (dpi)
- Auflösungsvermögen = Detailwiedergabe eines Sensors = wiedergegebene maximale Ortsfrequenz

# Geometrische Auflösung des Objektivs

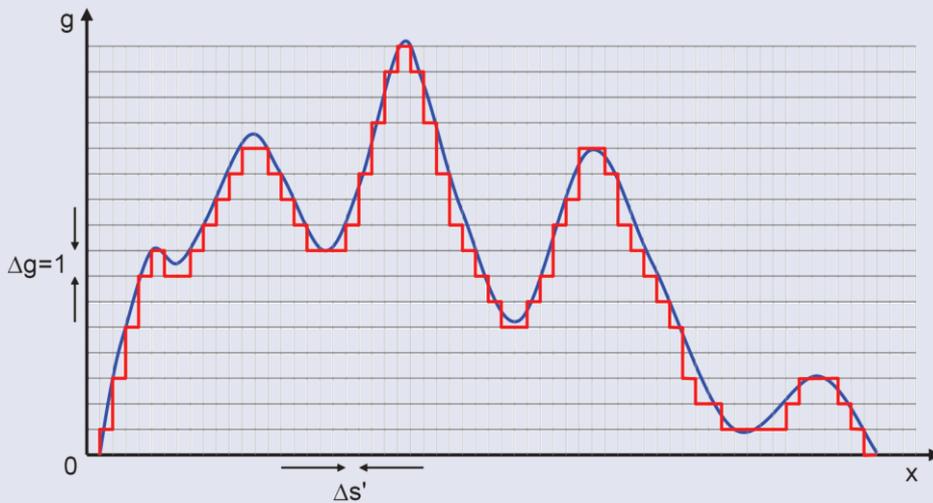
Zu erkennende Strukturgröße  $\Delta X$

$$\Delta X = m\Delta x' = m \frac{1}{AV}$$

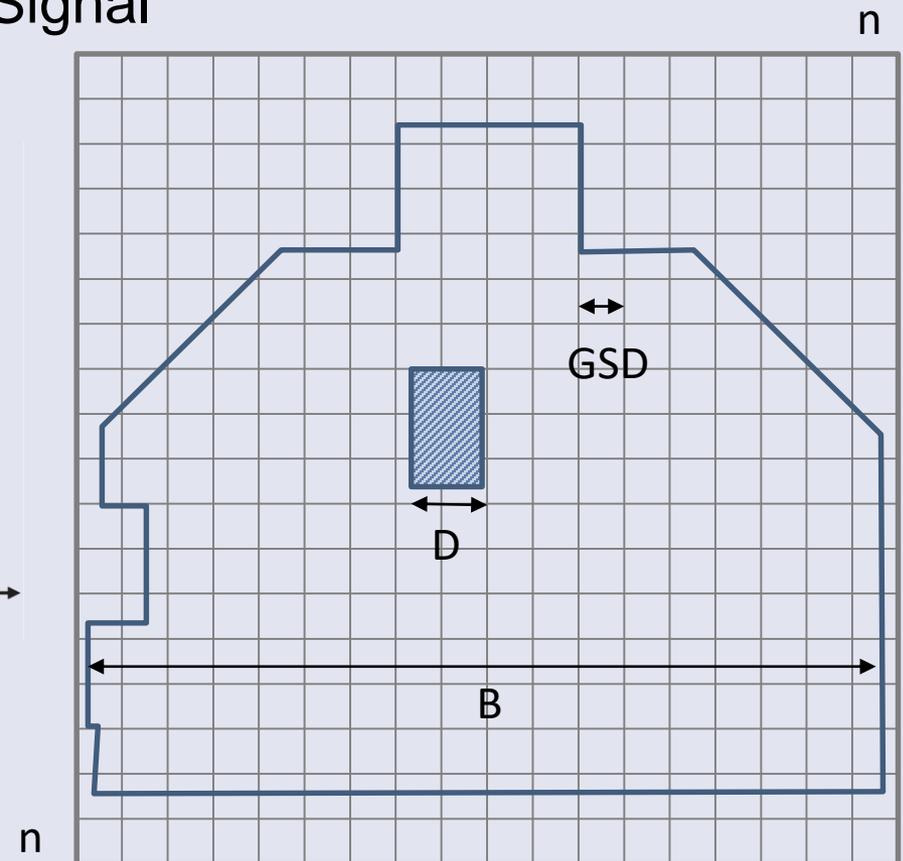


# Abtasttheorem

- Abtastung – Transformation eines analogen Signals in ein zeit/ortsdiskretes quantisiertes Signal



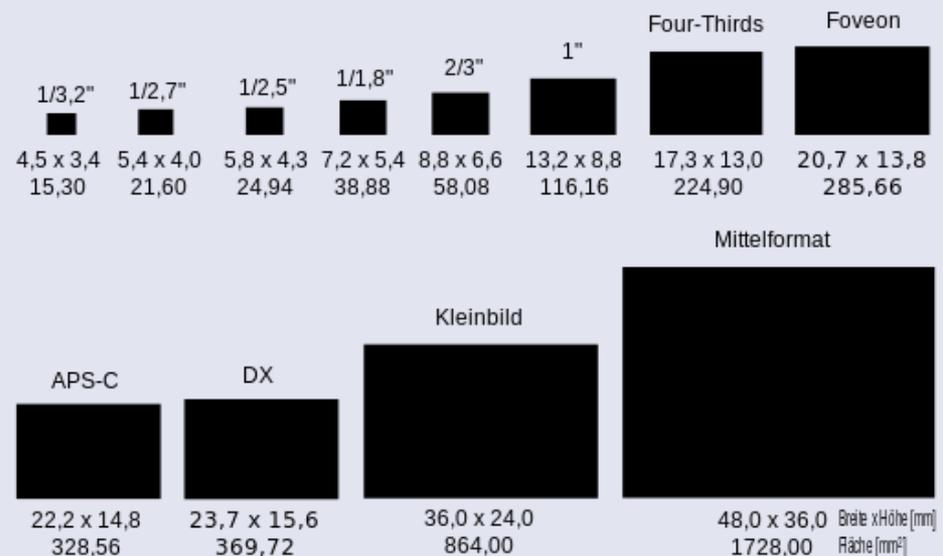
$$\Delta X > 2,8 \text{ GSD}$$



# Bildformat

- Bildformat - Bildauflösung von Digitalkameras relativ zur Bildsensorgröße
- Parameter:
  - Bildauflösung
    - Anzahl der Bildpunkte am Sensor oder
    - Gesamtanzahl der Pixel, MP
  - Seitenverhältnis
- In Papierform – Druckgröße

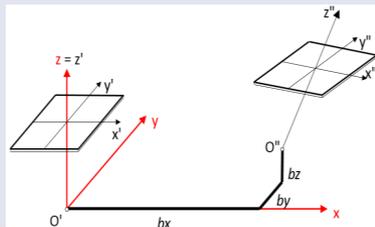
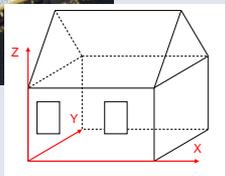
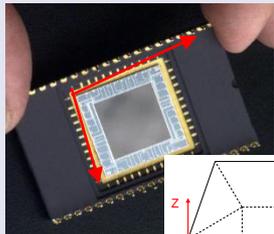
**Gängige Formate von Kamerasensoren**

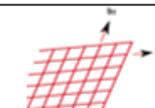
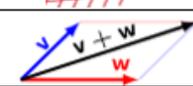
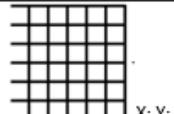
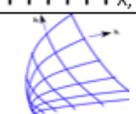
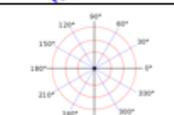
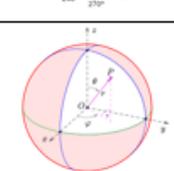
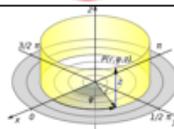
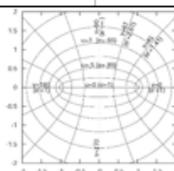
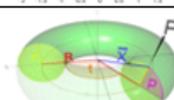


# Koordinatensysteme

- **Koordinatensystem** - Modell zur eindeutigen Bezeichnung der Position von Punkten und Objekten im Raum

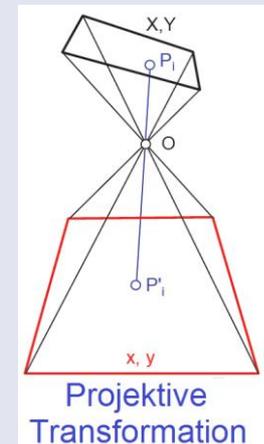
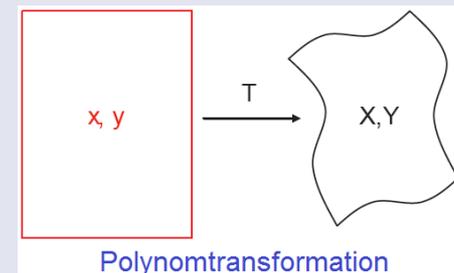
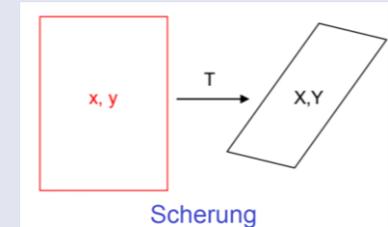
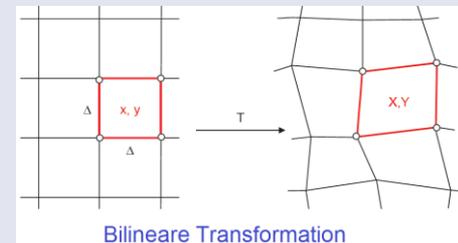
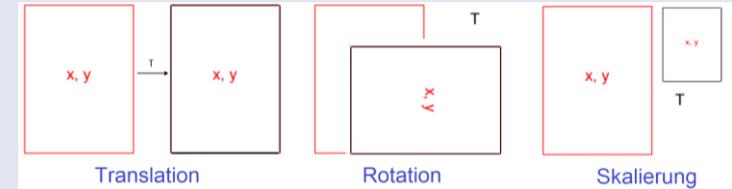
- **In Photogrammetrie**
  - Bild
  - Objekt
  - Modell
- **Real existiert**
  - Geradlinige
    - Orthogonal
    - Nicht orthogonal
  - Krummlinige (Objektbasierte)
    - Orthogonal
    - Nicht orthogonal



|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Affine Koordinaten             |    |
| Vektorraum                     |    |
| Kartesisches Koordinatensystem |    |
| Krummlinige Koordinatensysteme |    |
| Ebene Polarkoordinaten         |    |
| Kugelkoordinaten               |    |
| Zylinderkoordinaten            |   |
| Elliptische Koordinaten        |  |
| Toruskoordinaten               |  |

# Koordinatentransformation

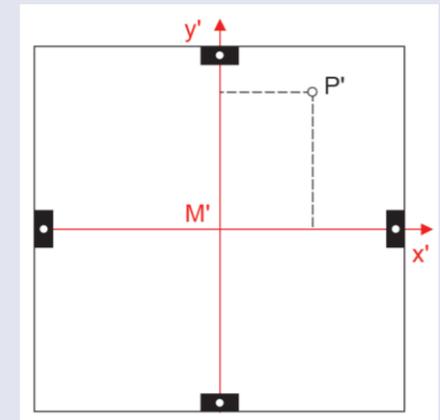
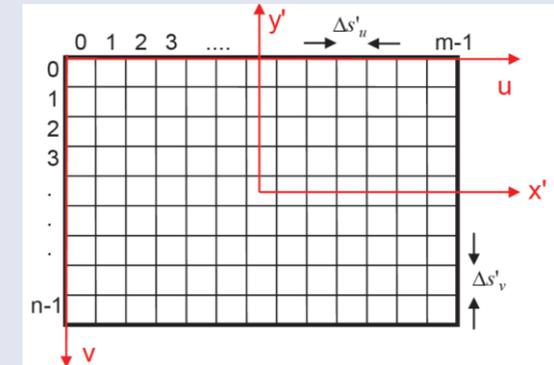
- Koordinatentransformation – mathematische Umwandlung von einem Koordinatensystem zu einem anderen
- Referenz – über homologe Punkte
- Transformationstypen
  - Ähnlichkeitstransformationen
    - Verschiebung (Translation)
    - Drehung und Spiegelung (Rotation)
    - Skalierung (Veränderung des Maßstabs)
  - Projektive Transformation
  - Affine Transformation (Scherung)
  - Polynomtransformation
  - Bilineare Transformation
- Wie berechnet man:
  - Gleichungsrechnungen (Gleichungssystem)
  - Matrizenrechnung



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = [\text{Transformationsparameter}] \times \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + ([\text{Ursprung}])$$

# Bildorientiertes Koordinatensystem

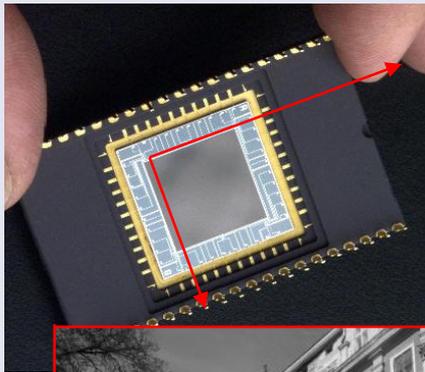
- Pixelkoordinatensystem - aus Zeilen und Spalten bestehende Koordinatensystem eines digitalen Bildes
  - virtuell
  - eben und kartesisch
  - linkshändiges speicherorientiertes System  $uv$
  - Ursprung im oberen linken Element
- Sensorkoordinaten = Pixelsystem des Sensors in der Kamera bzw. des abgespeicherten Bildes
- Bildkoordinaten = metrische (in mm) Koordinaten im Bild
  - Festlegung eines kamerafesten Bezugssystems
  - Ursprung - in der Bildmitte
- Bezug zum physischen Bildsensor - wenn das Pixelkoordinatensystem identisch mit dem Sensorkoordinatensystem



# Koordinatensystem relativ der Aufgabe

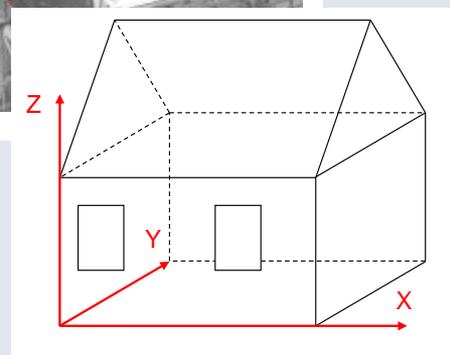
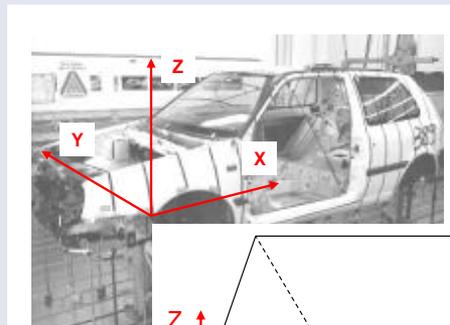
## Bildkoordinatensystem

- 2D, 3D
- Entspricht dem Bild



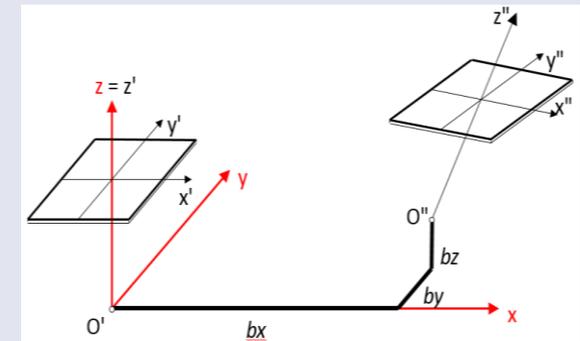
## Objektkoordinatensystem

- 3D
- Verbunden mit dem Messobjekt
- Relativ/absolut (global)



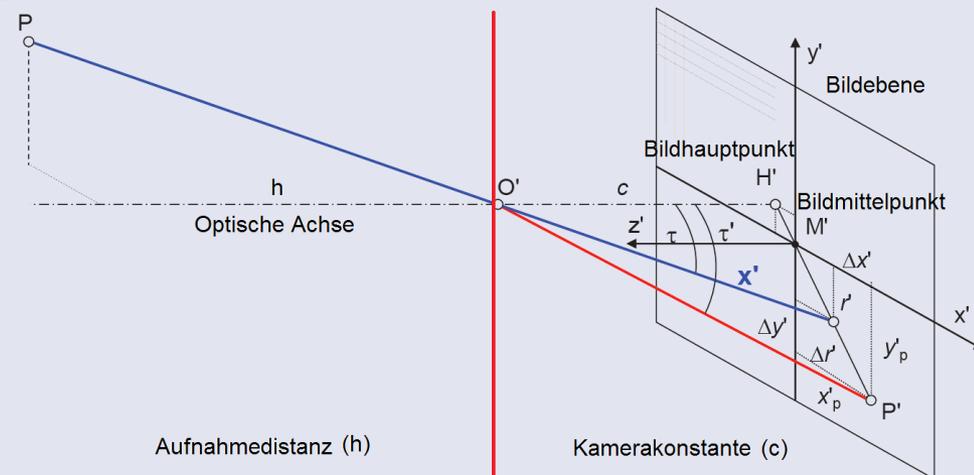
## Modellkoordinatensystem

- 3D
- Verbunden mit mehreren Messobjekten
- Relativ/absolut (global)



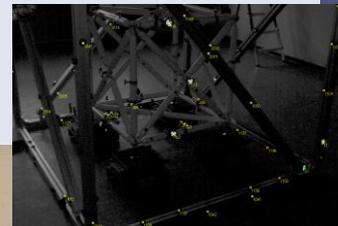
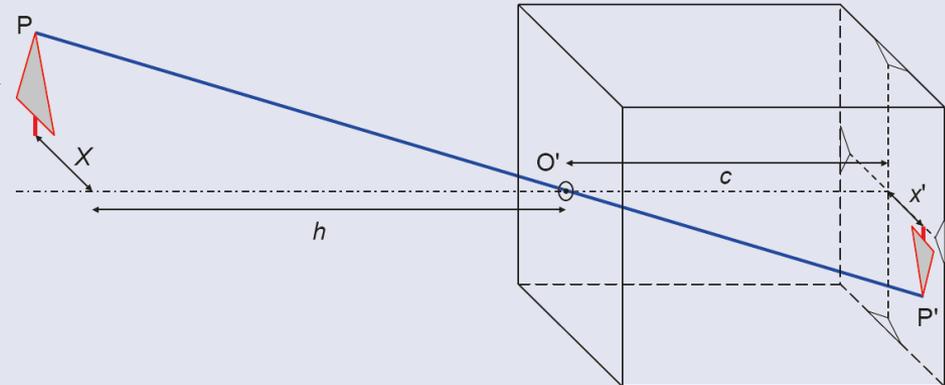
# Projektionszentrum, Bildhauptpunkt und Innere Orientierung

- Projektionszentrum - Punkt der Zentralperspektive, durch den alle Bildstrahlen (geradlinig) laufen
- Bildhauptpunkt - Durchstoßpunkt der optischen Achse durch die Sensorebene
- Optische Achse - Symmetrieachse eines rotationssymmetrischen optischen Systems
- Bildmittelpunkt – Zentrum des Bildkoordinatensystems
- Innere Orientierung - Position des Projektionszentrums  $O'$  bezogen auf die Bildebene durch die drei Koordinaten



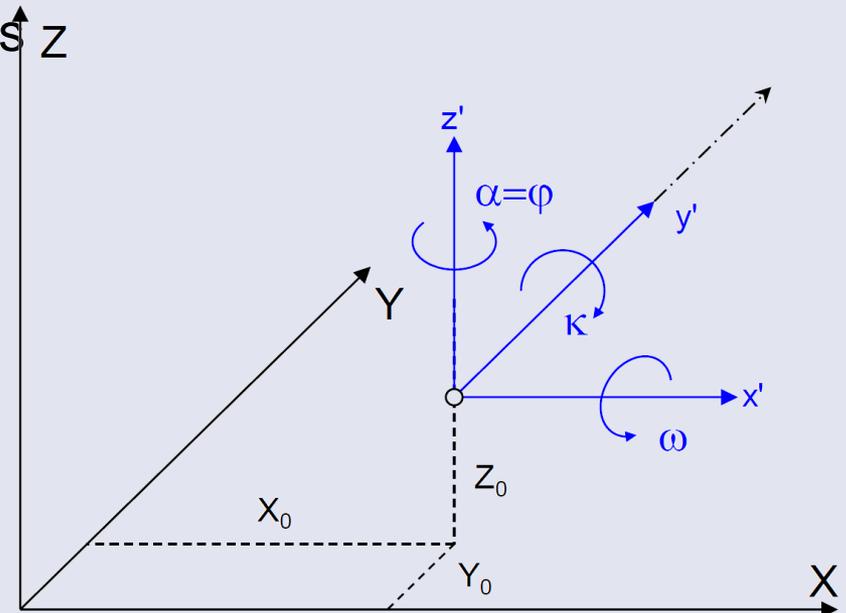
# Innere Orientierung (IO)

- Beschreibt das Kameramodell durch innere Kameraparameter
  - 2 Koordinaten des Bildhauptpunktes
  - Kamerakonstante
  - Verzeichnung
  - Scherung
- Kalibrierung = Bestimmung der IO Parameter
- Kalibrierung:
  - Laborkalibrierung
  - Testfeldkalibrierung
  - Simultankalibrierung



# Äußere Orientierung

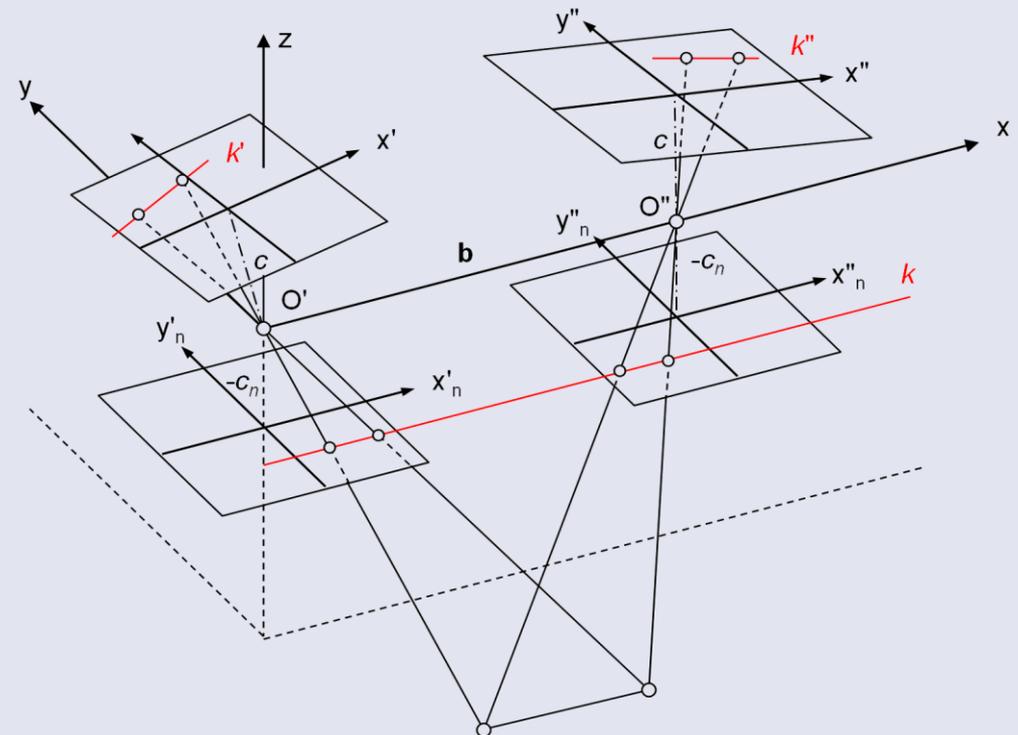
- Lage und Ausrichtung des Bildkoordinatensystems eines Bildes  $z$  im Objektraum
- Beschreibt die Kameraposition im Raum durch
  - 3 Koordinaten eines Projektionszentrums  $[X_0]$   $X_0 = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$
  - 3 Drehwinkel  $[R]$



$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\kappa - \sin\varphi\sin\omega\sin\kappa & -\sin\varphi\cos\omega & \cos\varphi\sin\kappa - \sin\varphi\sin\omega\cos\kappa \\ \sin\varphi\cos\kappa - \cos\varphi\sin\omega\sin\kappa & \cos\varphi\cos\omega & \sin\varphi\sin\kappa - \cos\varphi\sin\omega\cos\kappa \\ -\cos\omega\sin\kappa & \sin\omega & \cos\omega\cos\kappa \end{bmatrix}$$

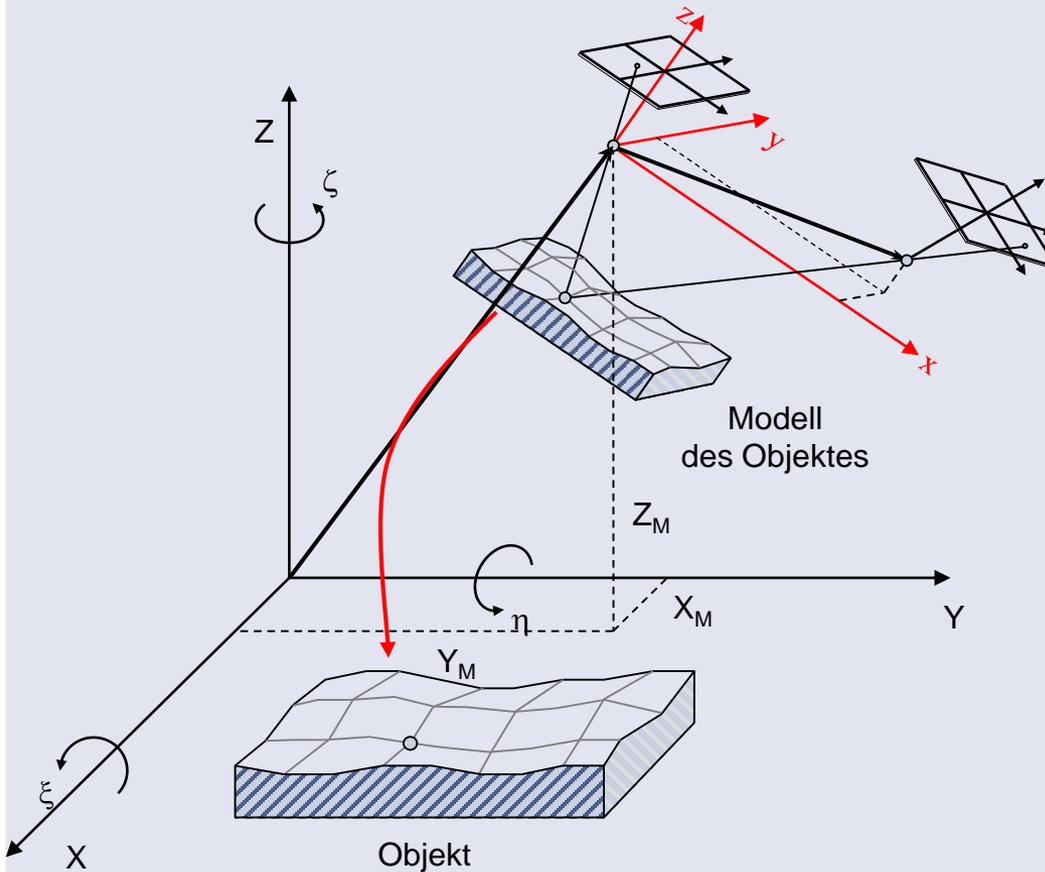
# Relative Orientierung

- Beschreibt die Position von zwei Bildern zueinander im Raum (Objektkoordinatensystem)
- Die Bilder überlappen sich (haben gemeinsame Bereiche)



# Absolute Orientierung

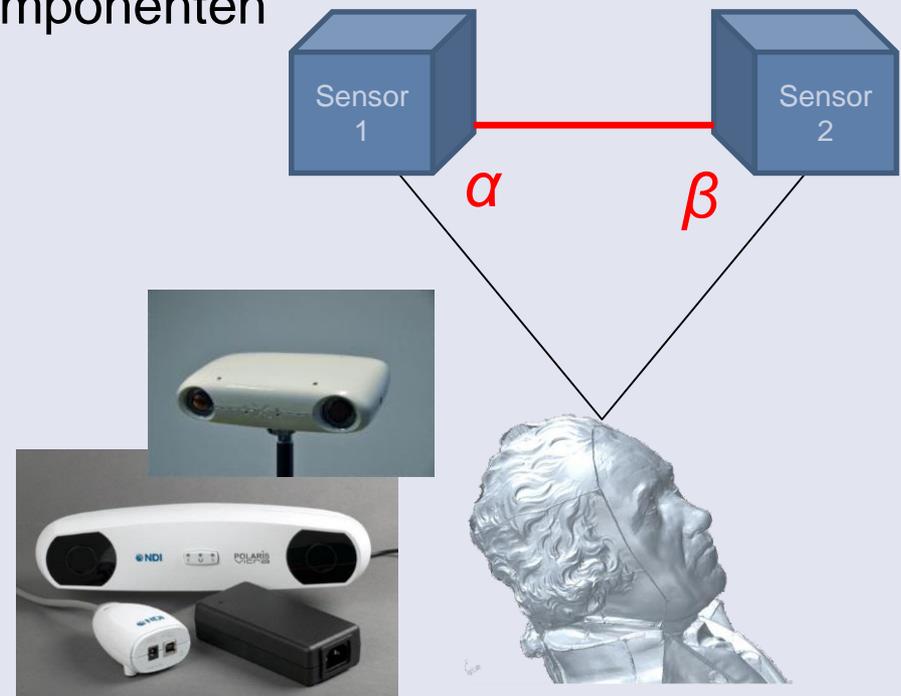
Räumliche Transformation von Modellkoordinaten (xyz) in Objektkoordinaten (XYZ)



# Auswertungsverfahren

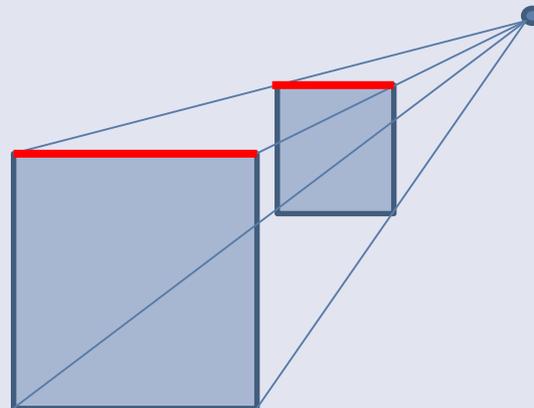
# Triangulation

- Triangulation – Methode der optischen Abstandsmessung
- Basiert auf *Trigonometrie*
- Prinzip: Dreieck aus 3 Messkomponenten
- Messelemente (bekannt !!!):
  - Basislänge
  - 2 Winkel
- Messmethode (cos, sin-Sätze)
  - Vorwärtsschnitt
  - Rückwärtsschnitt

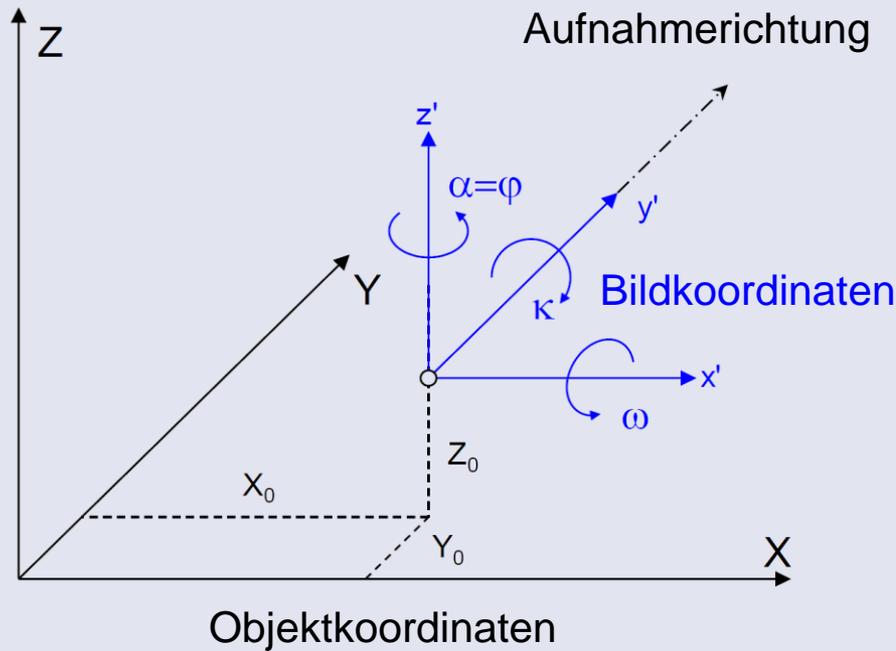


# Zentralprojektion

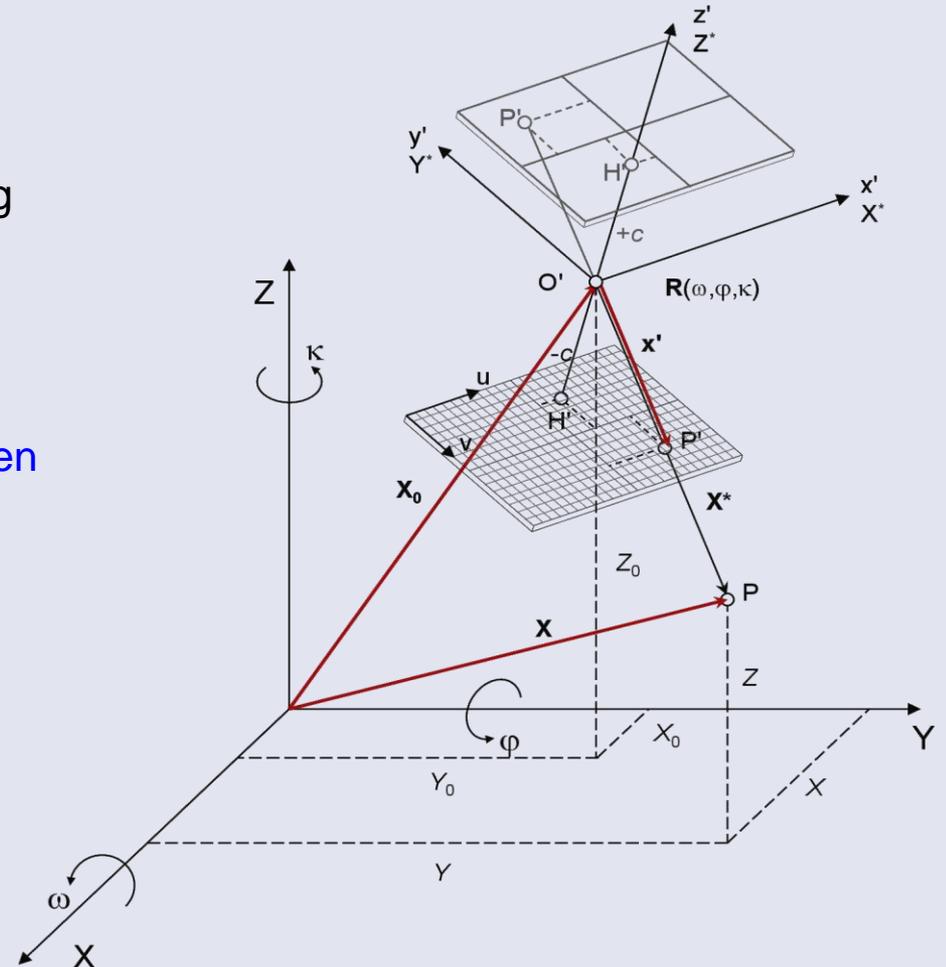
- Optische Abbildung – Zentralprojektion
  - Beziehung zwischen Objekt/Bildkoordinaten
  - Modell einer Lochkamera
  - Beschrieben durch die Kollinearitätsgleichung



# Äußere Orientierung



# Projektive Abbildung



# Kollinearitätsgleichung

- Abbildung des Bildpunktes im Objektraum

$$X = X_0 + mR x'$$

Objektkoordinaten →  $X = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$  ← Bildkoordinaten

Maßstab →  $m$

Drehung →  $R$

- Kollinearitätsgleichung

Bildkoordinaten

- $$x'_p = x'_0 + z' \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{21}(Y-Y_0) + r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} + \Delta x'$$
- $$y'_p = y'_0 + z' \frac{r_{12}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} + \Delta y'$$

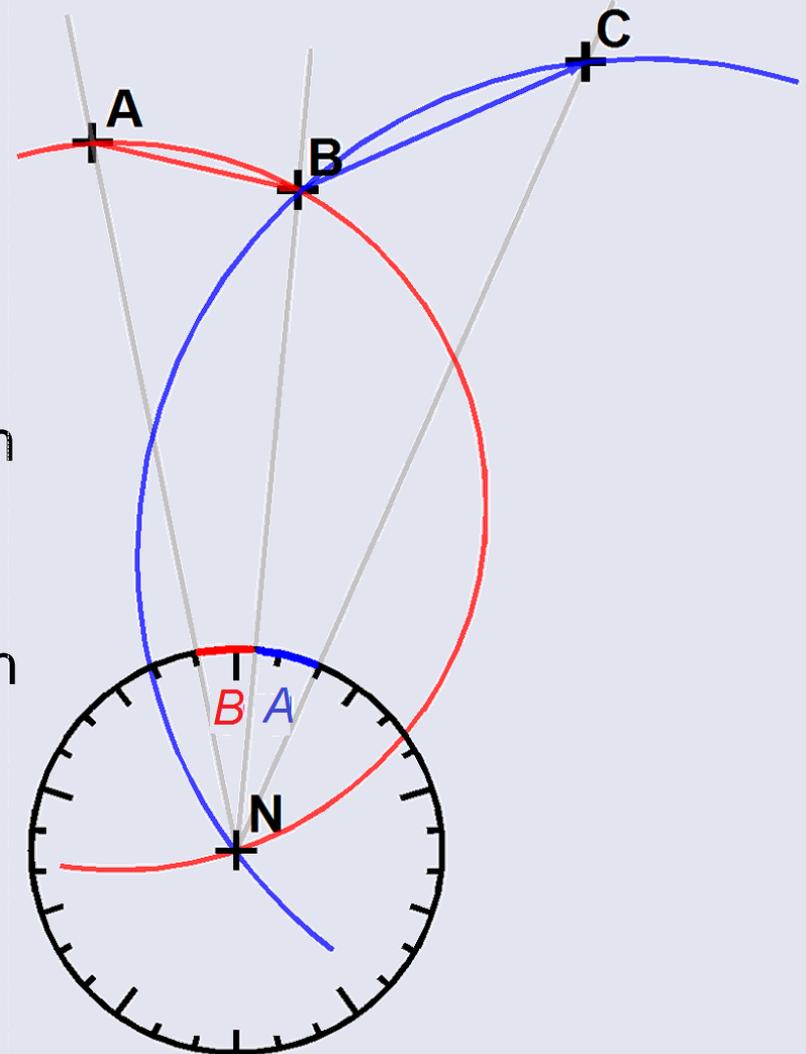
$x'_0, y'_0$  - Koordinaten des Bildhauptpunktes

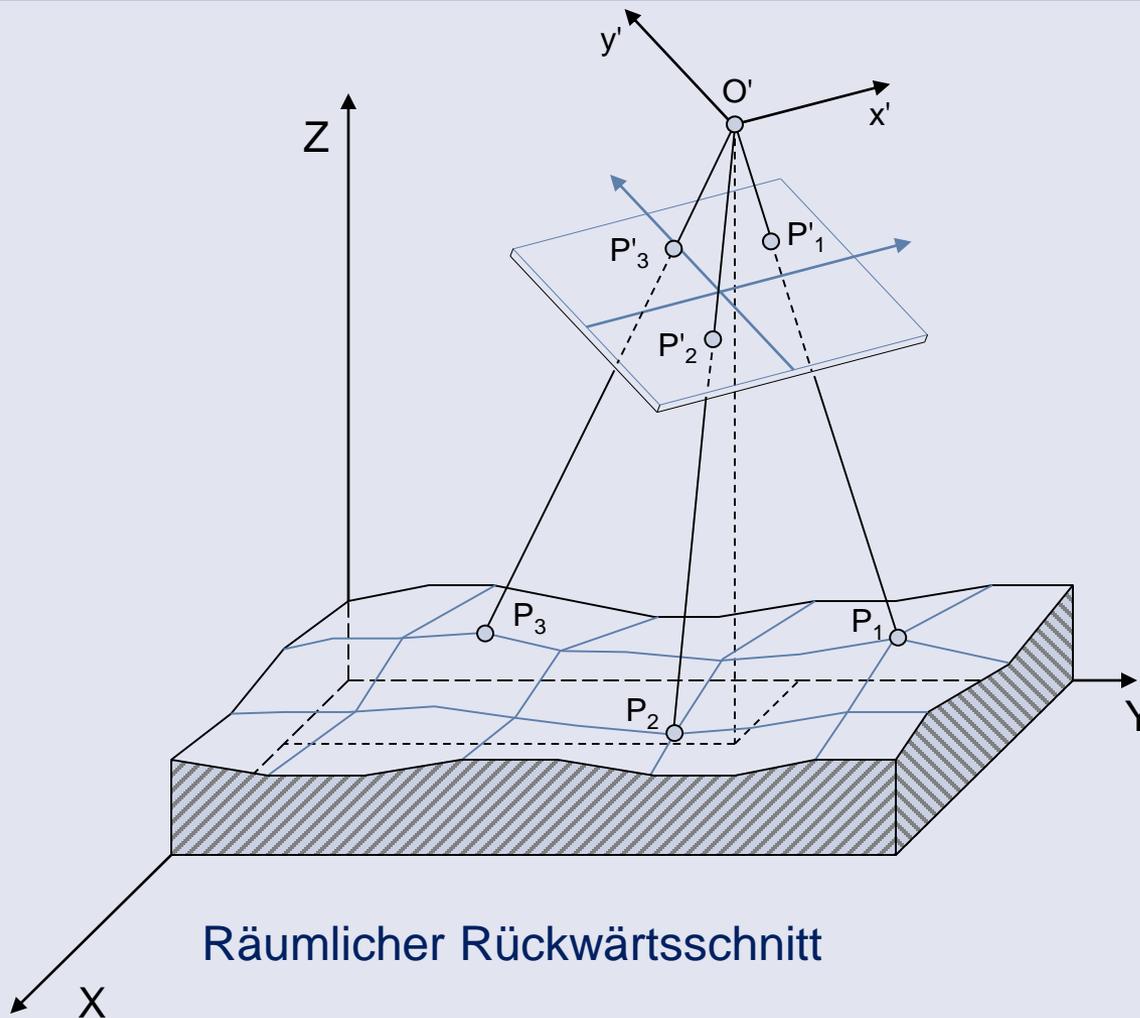
$z' = c$  - Kamerakonstante

$\Delta x', \Delta y'$  - Verzeichnungsparameter

## Rückwärtsschnitt

- **Geodäsie**– trigonometrische Methode für die Positionsbestimmung eines neuen Objektpunktes im Raum anhand von min 3 bekannten Punkten
- **Photogrammetrie** – Verfahren zur Berechnung der Kameraposition im Raum (Äußere Orientierung)





Räumlicher Rückwärtsschnitt

Wir suchen:  
äußere Orientierung

Gegeben:

- Koordinaten von Passpunkten  $P_1, P_2, P_3$
- Innere Orientierung

Wir messen:

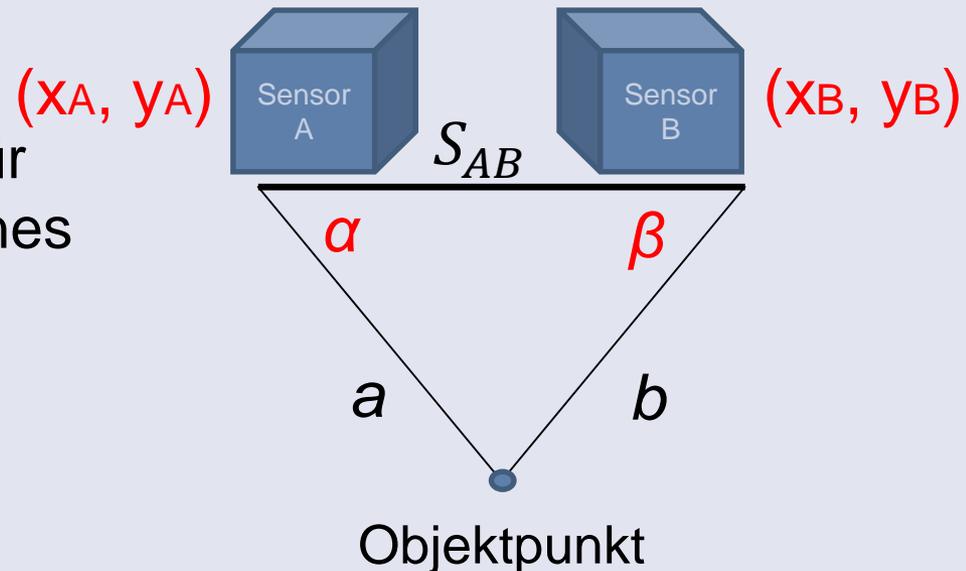
Bildkoordinaten

Lösungssatz:

DLT,  
Kollinearitätsgleichungen

## Vorwärtsschnitt

- **Vorwärtsschnitt** – *trigonometrische* Methode für die Positionsbestimmung eines Objektpunktes im Raum (Objektkoordinaten)
- Gegeben: Koordinaten  $(x_A, y_A)$ ,  $(x_B, y_B)$ , Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$
- Man kann berechnen:



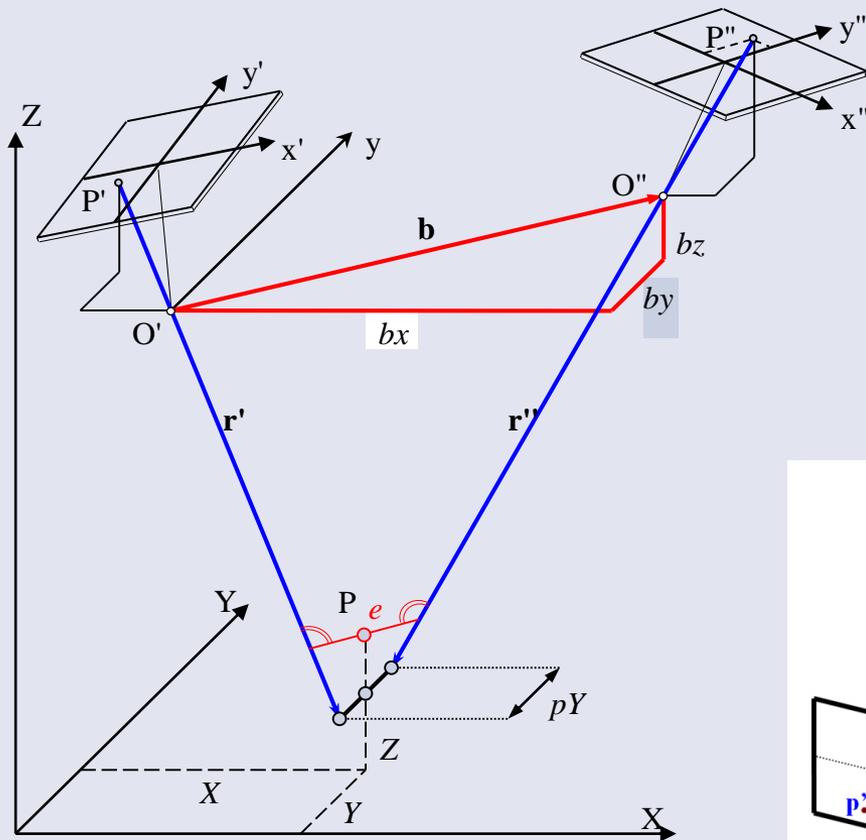
- Basislänge ( $S_{AB}$ ):

$$S_{AB} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}$$

- Strecken ( $a, b$ ): Sinusansatz

$$a = \frac{S_{AB} \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad b = \frac{S_{AB} \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

# Vorwärtsschnitt in Photogrammetrie

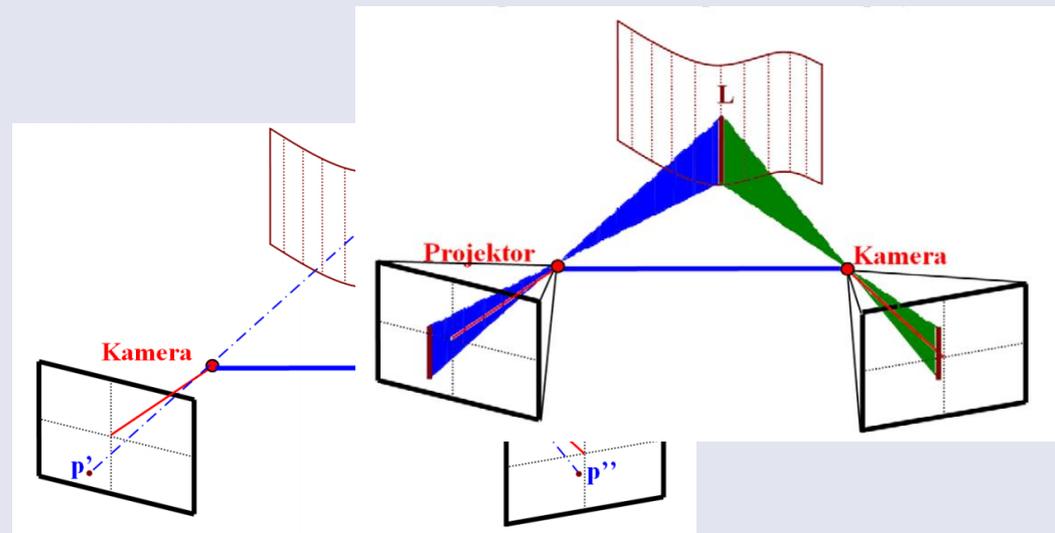


gegeben: Innere und äußere Orientierung von min. 2 Bildern

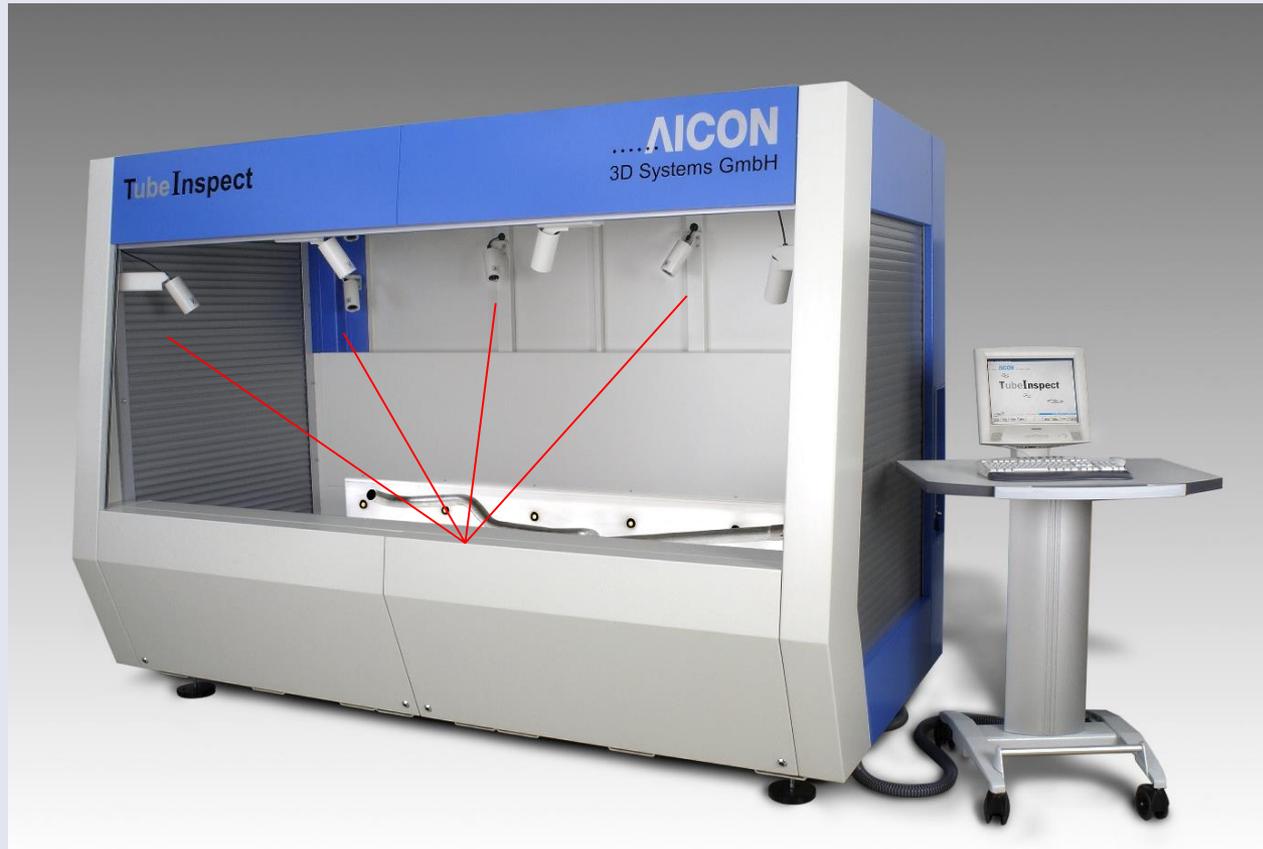
gemessen: Bildkoordinaten eines Punktes P

gesucht: XYZ von P

Lösung: Schnitt der Bildstrahlen  $r'$ ,  $r''$

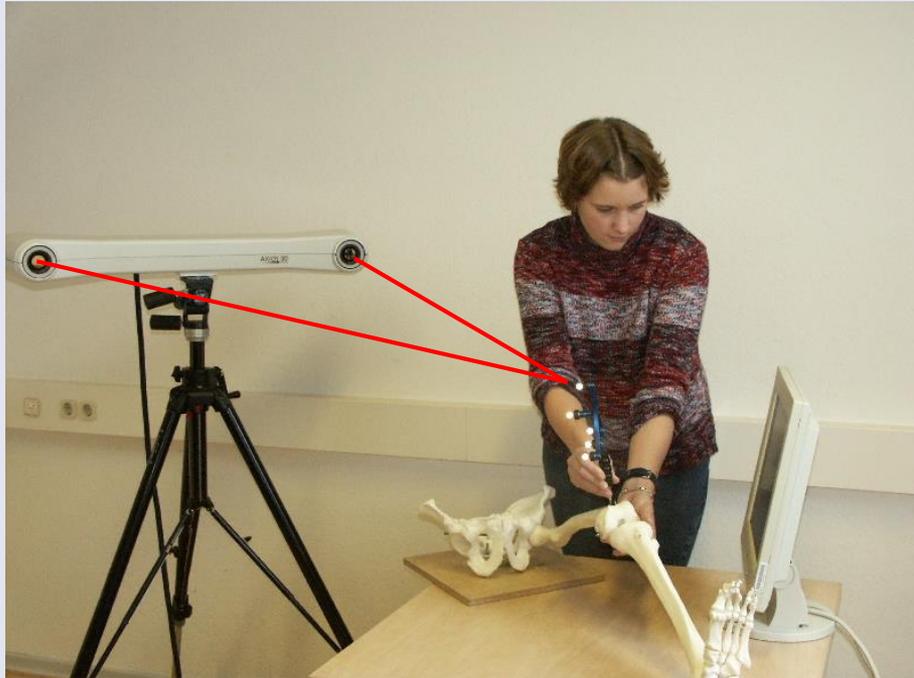


# Räumlicher Vorwärtsschnitt

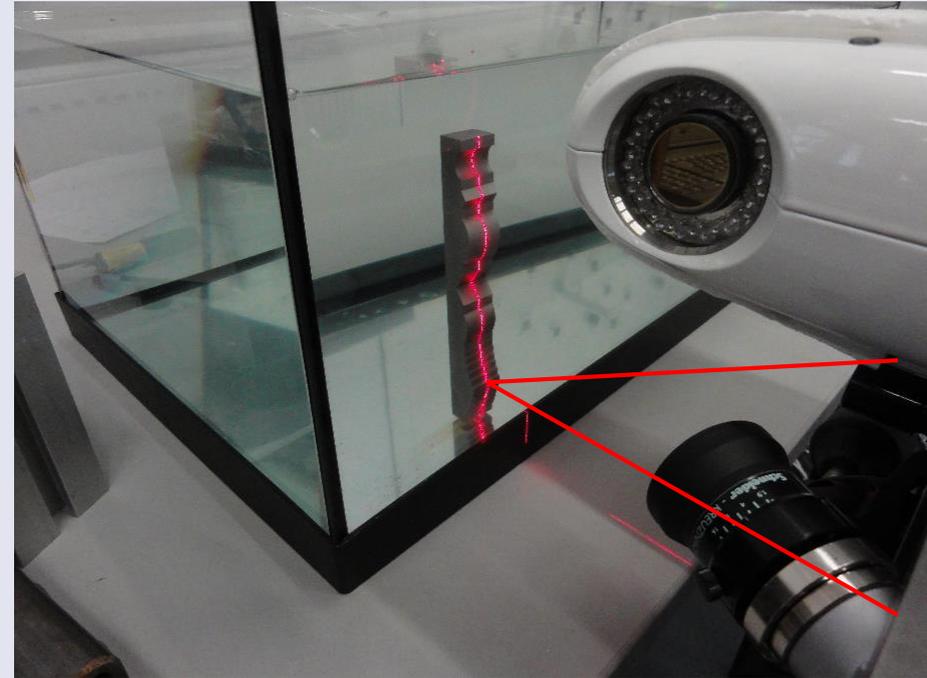


Messung von Rohrleitung in einem Mehrkammersystem

# Räumlicher Vorwärtsschnitt

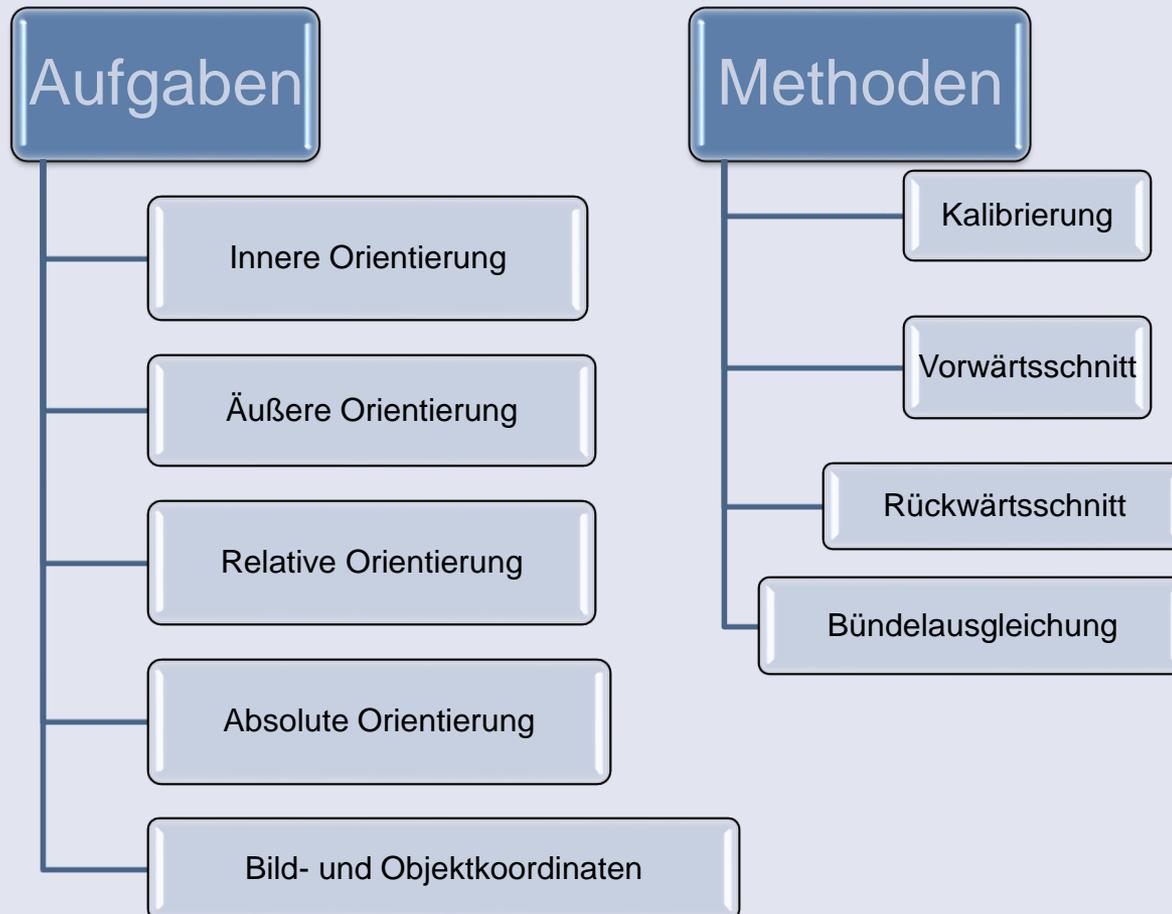


Messung von Zielmarken an einem Taster (Lokator)



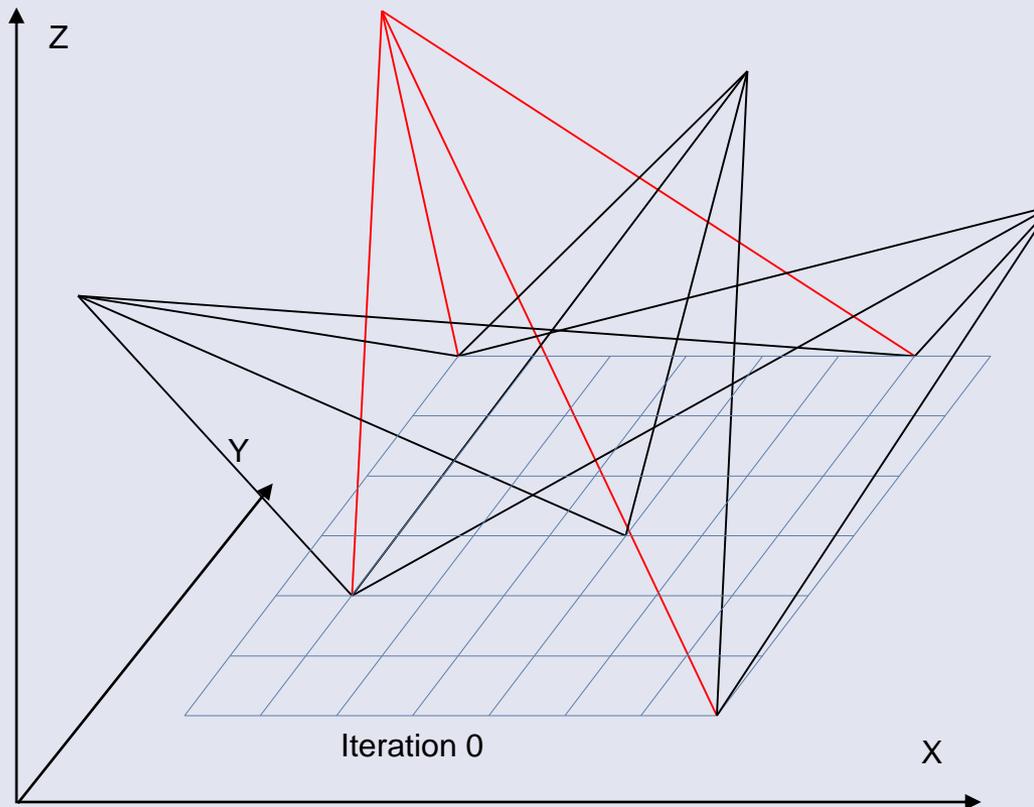
Messung von Schweißnähten mit einem Stereokamerasystem und projizierter Laserebene

# Gemessene Punkte, Projektion, Kamera: wie verbindet man es alles?



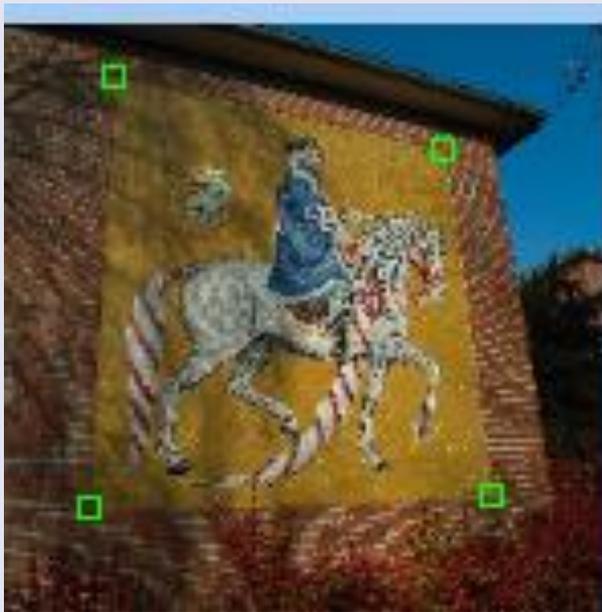
# Bündelblockausgleichung

Simultane Berechnung sämtlicher Neupunkte (XYZ), äußerer Orientierungen und (optional) innerer Orientierungen



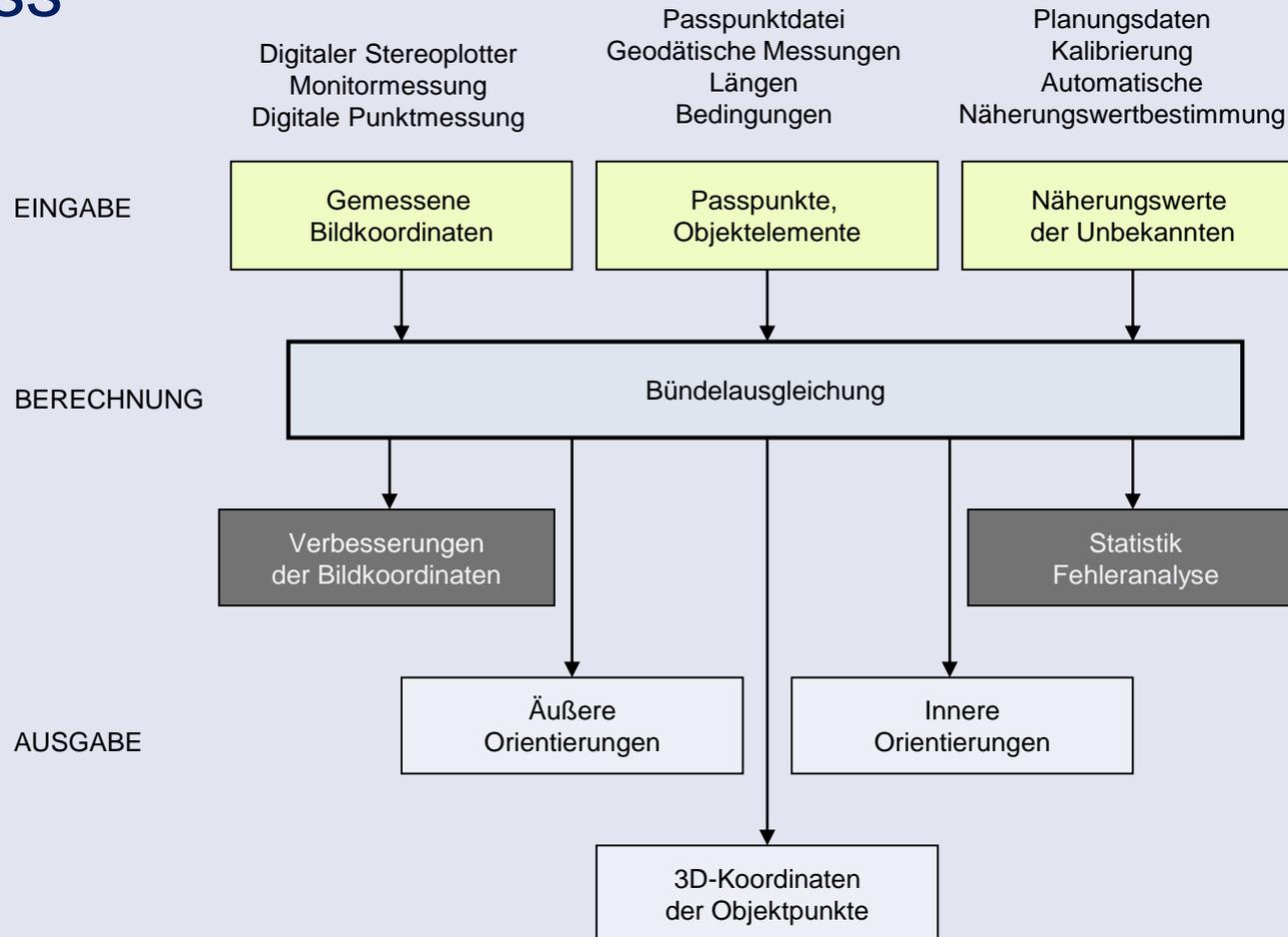
# Bildentzerrung

- Entzerrung – Transformation einer schräg aufgenommenes Bildes in Orthoansicht
- Methode: Koordinatentransformation



| Methode            | Gesuchte Größen   |
|--------------------|---|
| Rückwärtsschnitt   | Äußere Orientierung   |
| Vorwärtsschnitt    | Objektkoordinaten<br>X,Y,Z                                  |
| Kamerakalibrierung | Innere Orientierung   |
| Bündelausgleichung | Innere und äußere<br>Orientierungen, Objekt-<br>koordinaten |

# Datenfluss



## Weiterführende Literatur zum Thema

- Verband deutscher Ingenieure. VDI/VDE 2617- Blatt 6.2:2007 - Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten. Kenngrößen und deren Prüfung. Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren. 2007.
- **Kapitel 1: Einführung (S23-47), Kapitel 2: Mathematische Grundlagen (S47-59), Kapitel 3.1.2. Optische Abbildung (S142-153):** Semesterapparat: Luhmann T. Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 3 edition. Berlin: Wichmann, H; 2010. 668 p.
- Chapter 5: **Basics of image based modelling techniques in CH 3D Recording.** Stylianidis, Efstratios; Remondino, Fabio (2016): 3D recording, documentation and management of cultural heritage. Caithness: Whittles Publishing. Available online at <https://ebookcentral.proquest.com/lib/ub-bamberg/detail.action?docID=4710342>
- Lerma, J.L., Georgopoulos, A., Waldhaeusl, P., Ogleby, C., 2013. 3-by-3- Rules for Simple Photogrammetric Documentation of Architecture. Updated by Lerma, J. L., Georgopoulos, A., 2013., in: Fryer, J.G. (Ed.), Close Range Techniques and Machine Vision. Proceedings of the Symposium of Commission V of ISPRS in Melbourne, Australia, 1-4 March 1994. Melbourne, Australia, p. 426.