

Robotik

Priv.-Doz. Dr. Thomas Wiemann
Institut für Informatik
Autonome Robotik

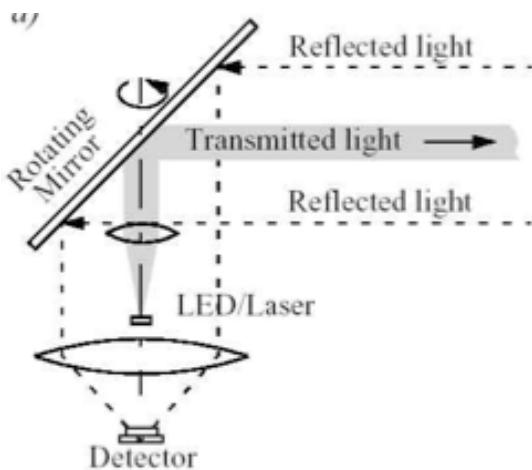
SoSe 2021



Laserscanner (Laufzeitmessung)

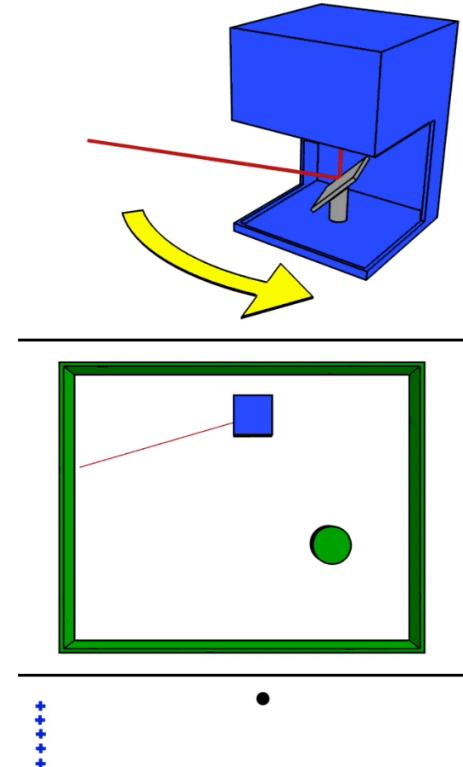
$$\text{Vakuumlichtgeschwindigkeit } c = 299.702.458 \frac{m}{s}$$

$$\text{Also: } d = 299.702.458 \frac{m}{s} \cdot t$$



d: Distanz in m

t: gemessene Laufzeit in s



Technische Anforderungen:

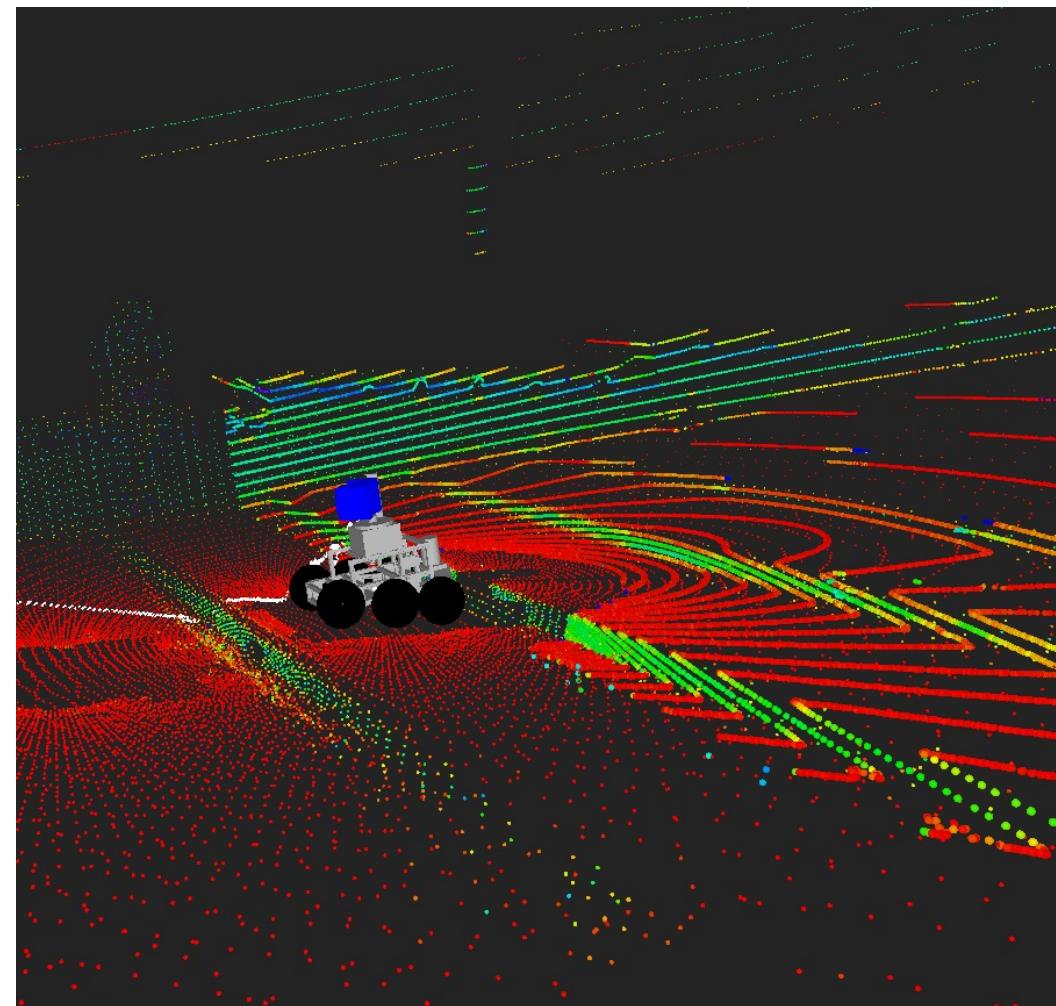
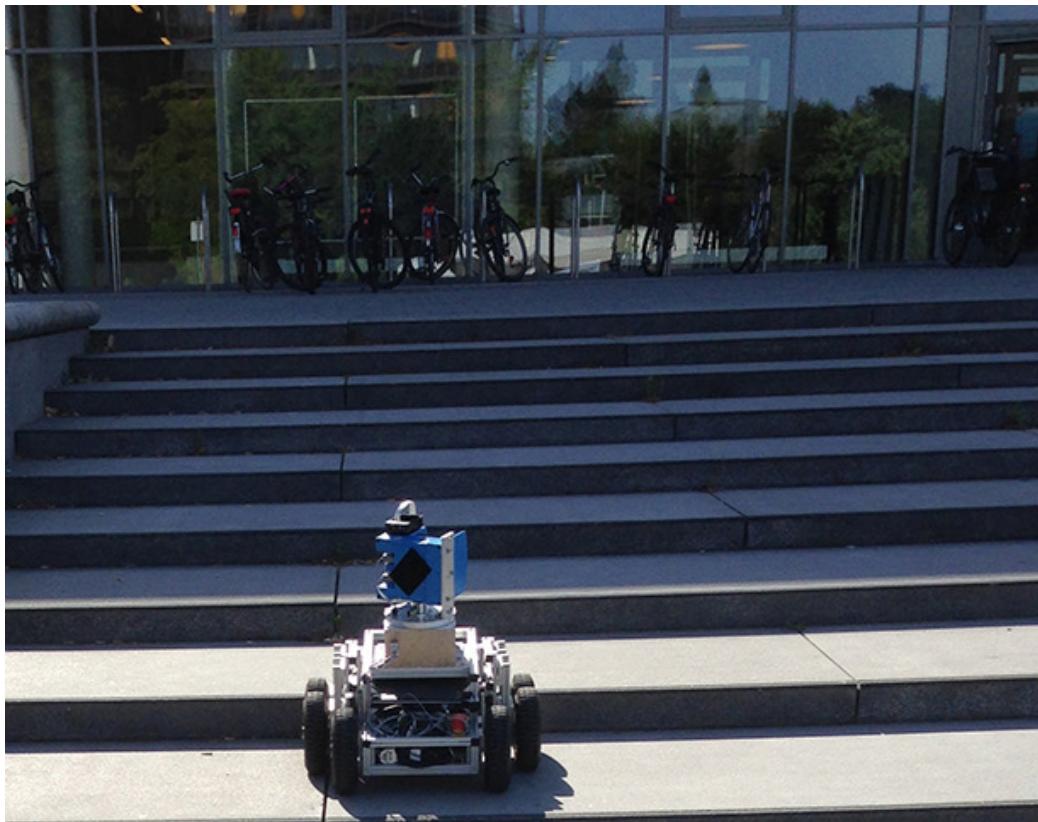
$c \approx 0,3\text{mm}/\text{ps}$. Bei Auflösung von 10mm: Präzision der Laufzeitmessung im Bereich pico-Sek. (10^{-12}s) erforderlich!

2D reicht nicht immer

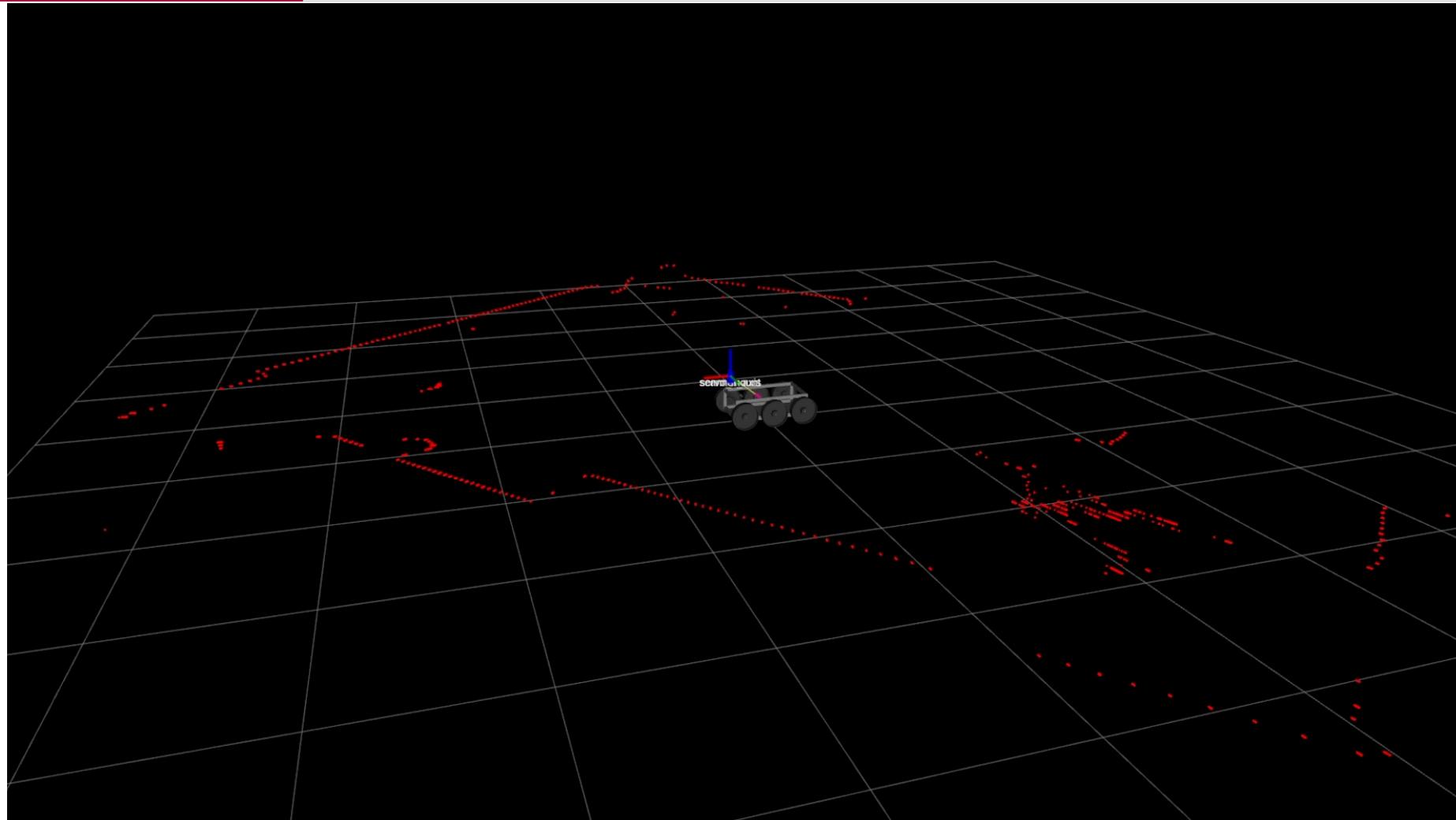


https://myshare-3.rz.uni-osnabrueck.de/seafhttp/files/69a086ad-9d87-42fa-b46a-36b9328de686/Crash_keynote.mov

Beispiel Velodyne Puck



Umgebungserfassung in 3D



Umgebungserfassung - Modi

Mode	Symbol	Cont. rotating	pivoting	Advantages
Yaw				+ Complete 360° scans + Good point arrangements - High point density at top
Yaw-Top				+ Fast scanning (half rot.) - High point density at top - Ground not measured
Roll				+ Fast scanning (half rot.) + High point density in front - Unusual point arrangement
Pitch				- High point density at the sides - Small apex angle + Good point arrangements + Easy to build

Professionelle Laserscanner (1)

► Vorteile:

- Hohe Genauigkeit
 - Phasendifferenz: <1mm auf 50m
 - Laufzeit: ~1,5mm auf 50m
- Hohe Reichweite
 - Phasendifferenz: bis < 200m
 - Laufzeit: bis 6000m)
- Hohe Messfrequenz
 - Phasendifferenz: ~1 Mio pts/s,
 - Laufzeit: ~122.000 pts/s

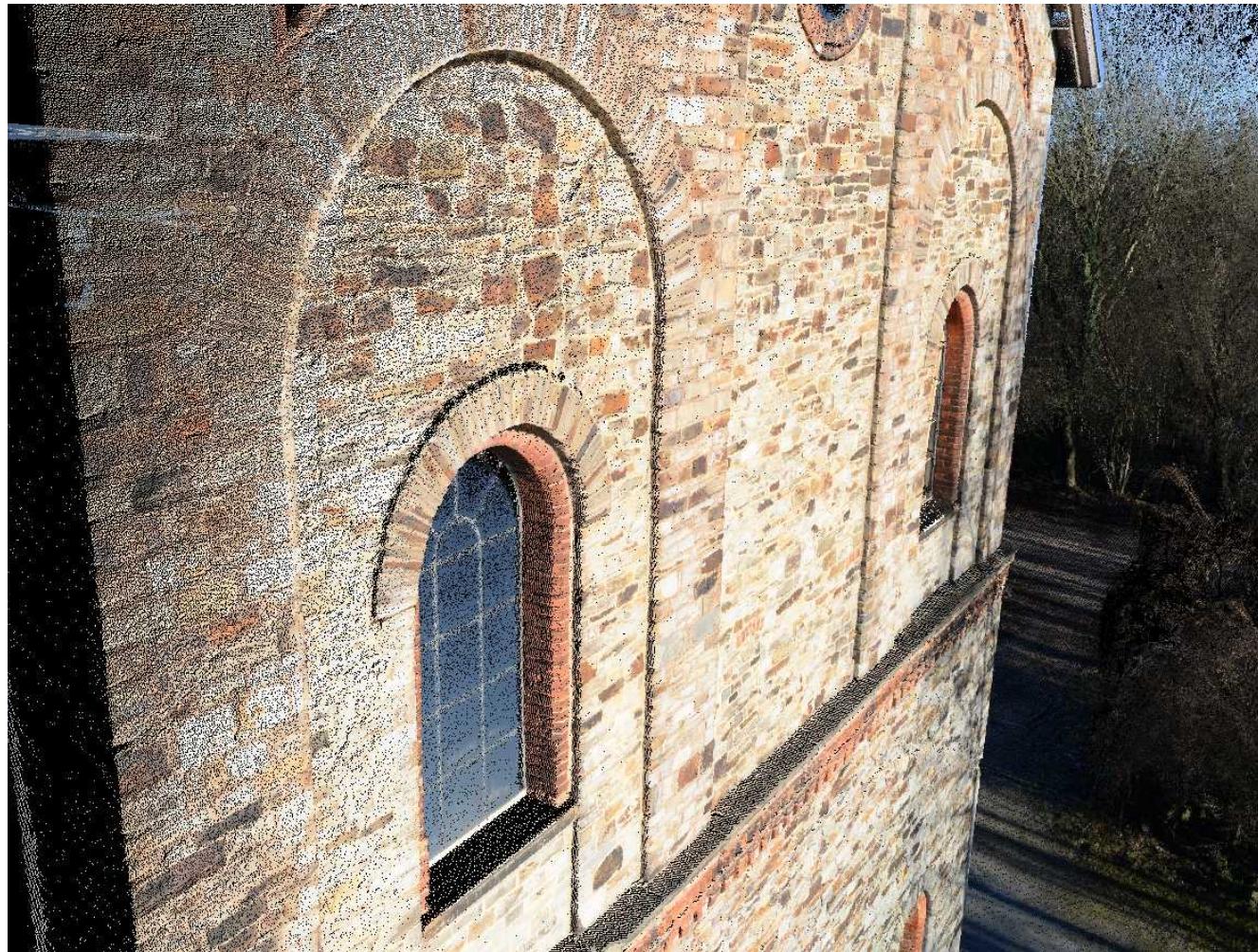
► Nachteile:

- Kosten (\geq 30.000 EUR, auch weit höher)
- Scanzeit für Rundumscan
 - (z.B. Z+F Imager 5010C 0,25min – 162min pro Scan
 - Ausnahme: Velodyne: 5-15 Hz, 1,3 Mio pts/s)

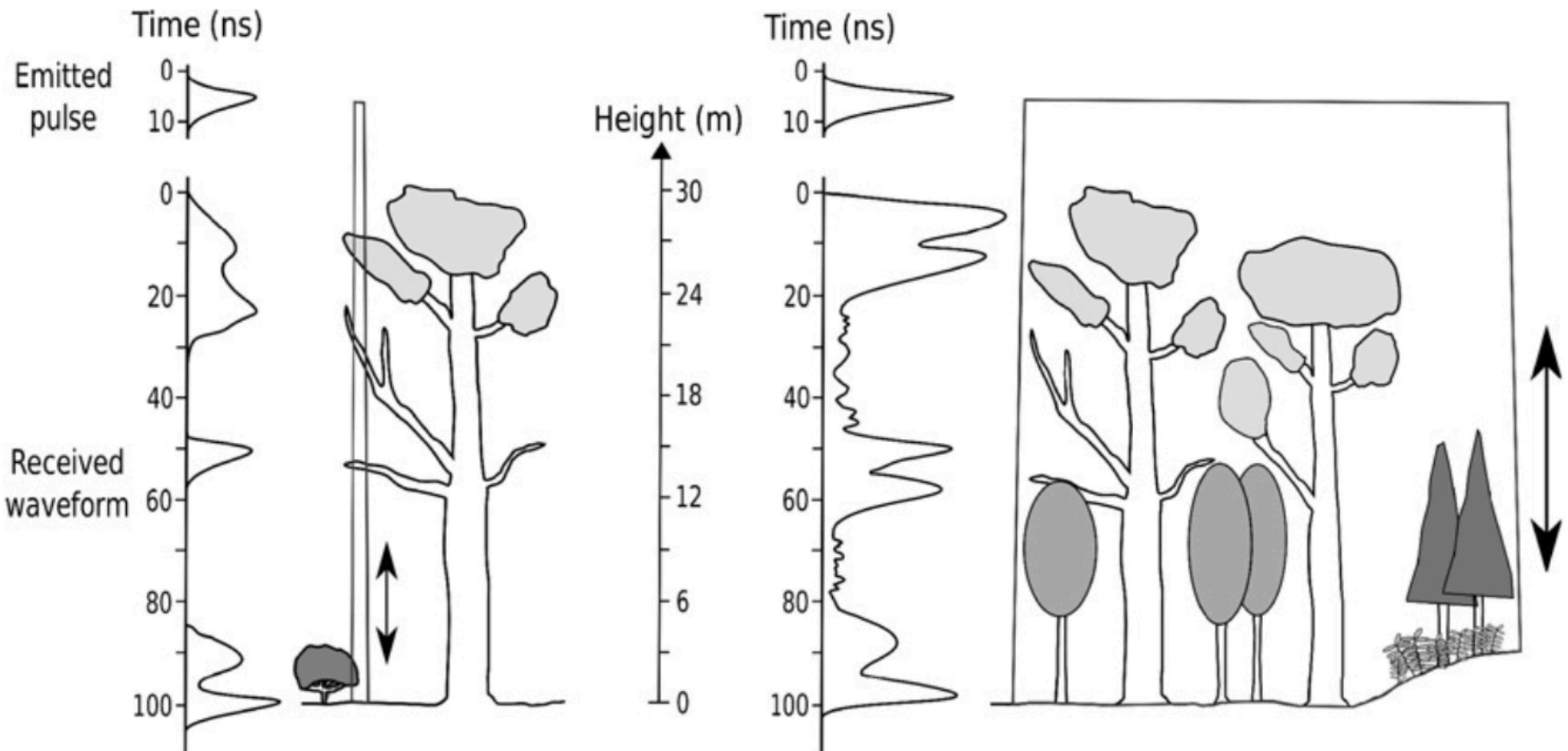
► Gewicht (> 5kg)



Professioneller Laserscanner (2)



Echoanalyse



Beispiel



**ICE-Trasse N – IN
Höhe Denkendorf
Gitter 1m**

Beispiel

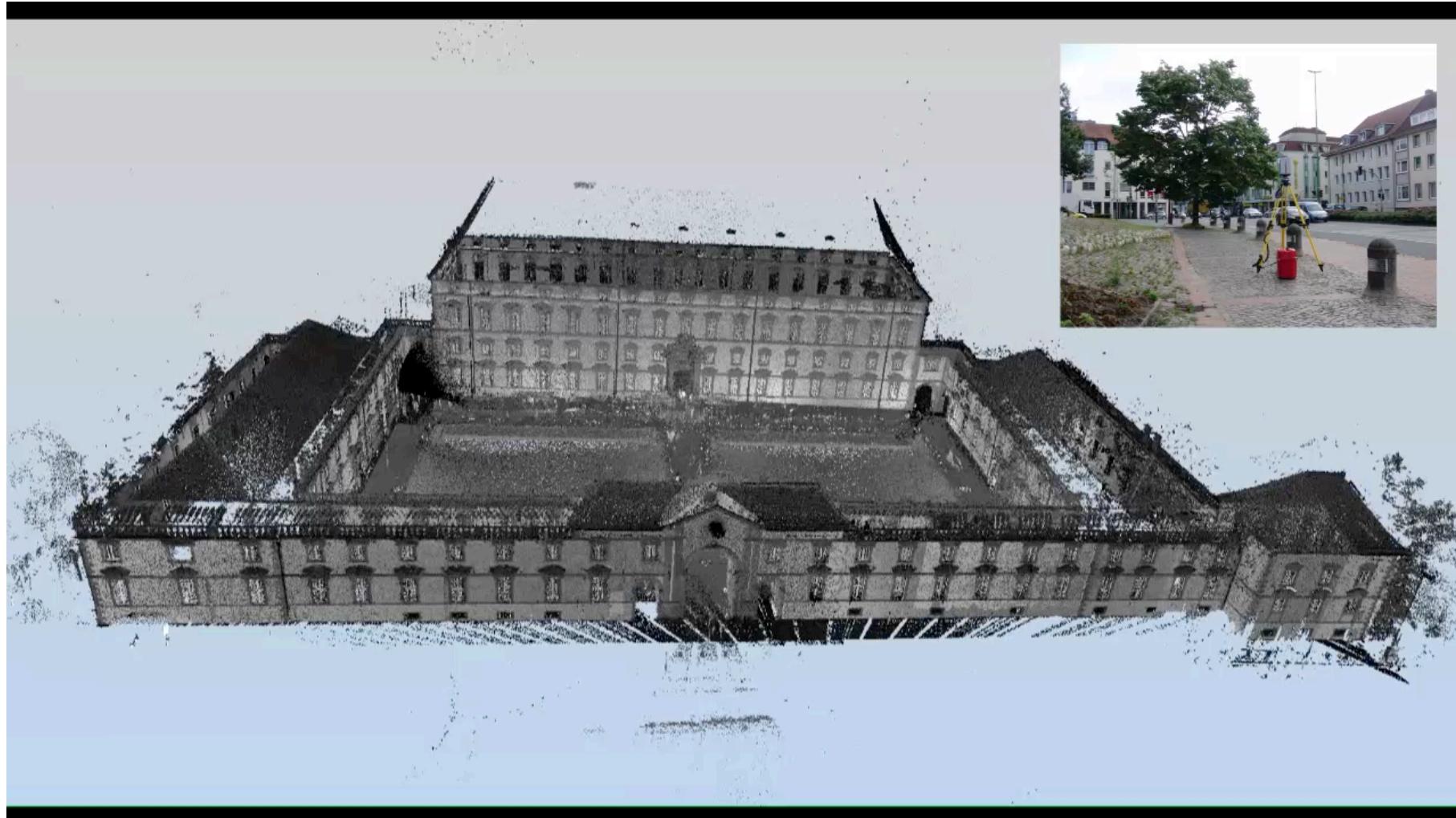


ICE-Trasse N – IN
Höhe Denkendorf
Gitter 1m

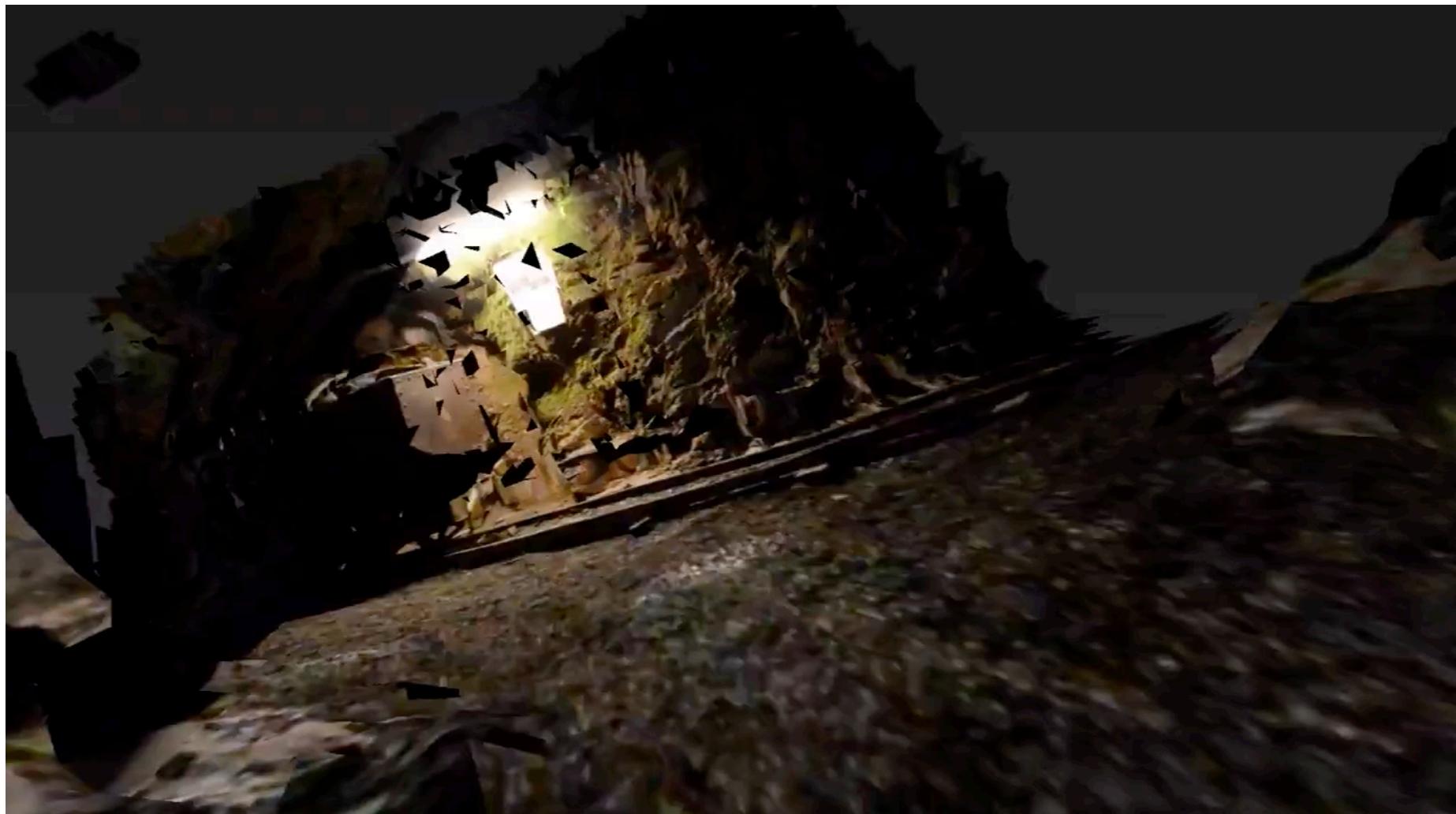
3D-Laserscanning: Modi

- ▶ Stop-and-Go
 - Üblicherweise mit einem oder mehreren Laserscannern
 - Kann nur die Koordinate messen, der Roboter muss zum Messen still stehen
 - Stabilisierung notwendig (keine Kompensation von Eigenbewegung)
 - Geringe Erfassungsrate, Umgebungsspezifische Scans
- ▶ Mobile LiDAR
 - Einer oder mehrere Laserscanner
 - Dynamische Erfassung der Eigenbewegung und Pose durch IMUs
 - Üblicherweise bei normaler Fahrgeschwindigkeit (Innenstadt ... Autobahn ... Flugzeug)
 - Hohe Erfassungsrate
 - Punktdichte und Erfassungsrate variiert mit der Geschwindigkeit und Objektentfernung
 - Sehr gute hochfrequente Bewegungsmessung erforderlich

Beispiel Stop-and-Go



Exkurs - Datenreduktion durch Meshes



Beispiel: Kinematisches Scanning



RGB-D Kameras

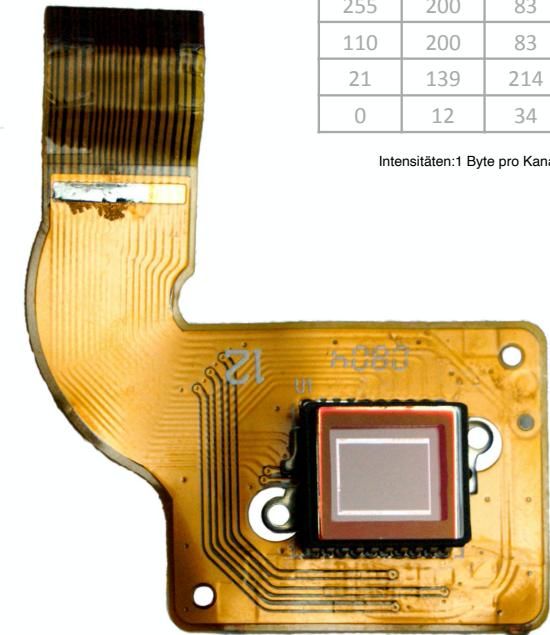
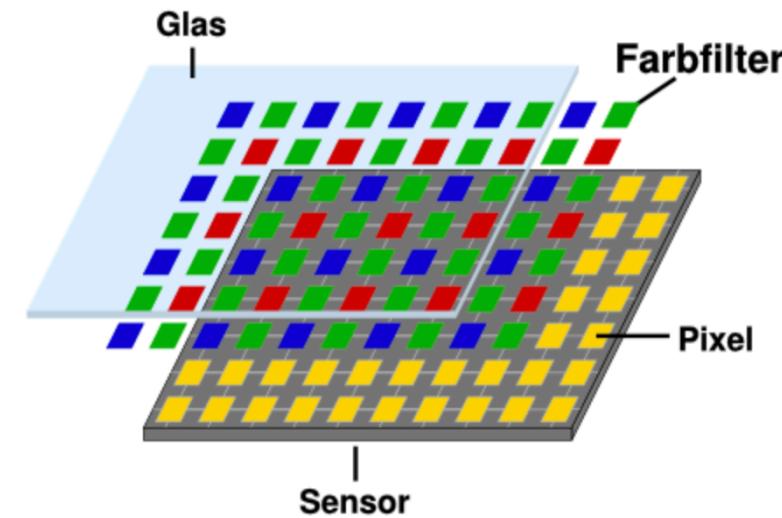
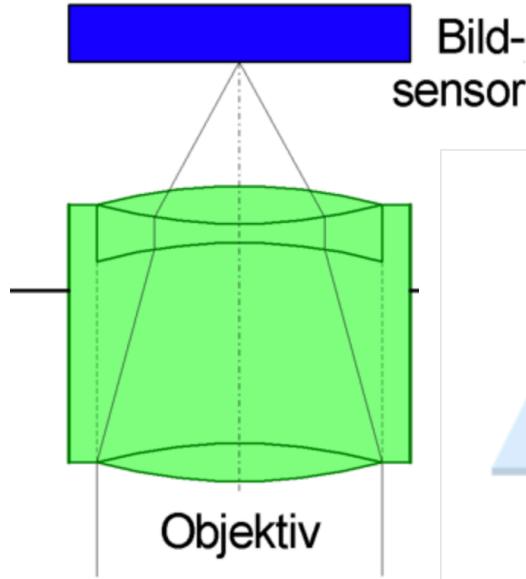




Gliederung

- 3. Sensorik
 - 1. Allgemeines
 - 2. Bewegungsmessung
 - 3. Ausrichtungsmessung
 - 4. Globale Positionsbestimmung
 - 5. Entfernungsmessung
 - 6. Kamerarund Kameramodelle
 - 7. Farbsensoren
 - 8. Ausblick

Digitale Kameras - Technisches



255	200	83	83
255	200	83	83
110	200	83	21
21	139	214	0
0	12	34	28

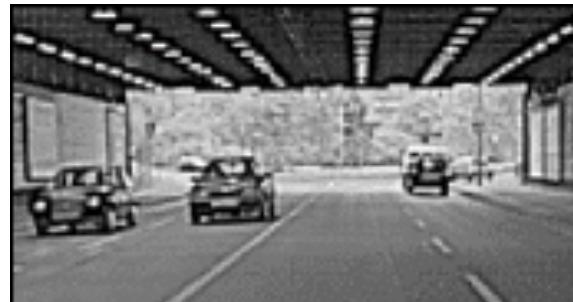
Intensitäten: 1 Byte pro Kanal

Quelle: <https://www.elmar-baumann.de/fotografie/techtutorial/sensoren-02.htm>.

Von C-M - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2150801>

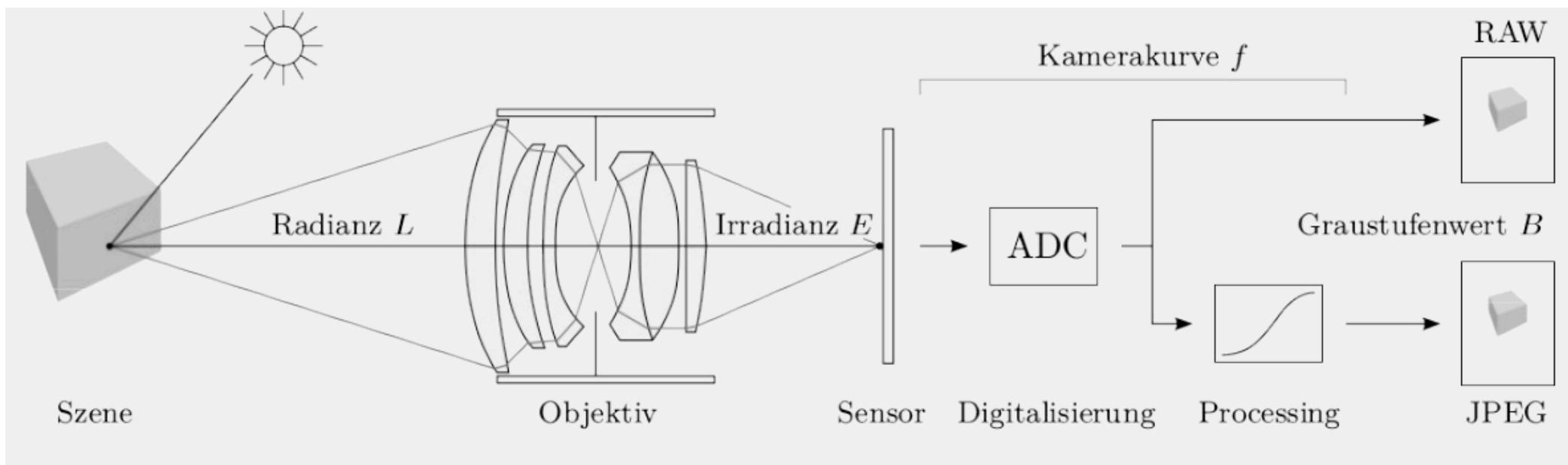
Digitale Chips - CCD vs. CMOS

- ▶ CCD
 - Bewährte Technologie
 - Teuer
 - Hoher Stromverbrauch
 - Blooming
 - Sequenzielles Auslesen der Daten
- ▶ CMOS
 - Neuere Technologie
 - Billig in der Produktion
 - Geringer Stromverbrauch
 - Pixelweises auslesen
 - Rauschen
 - Verzerrungen



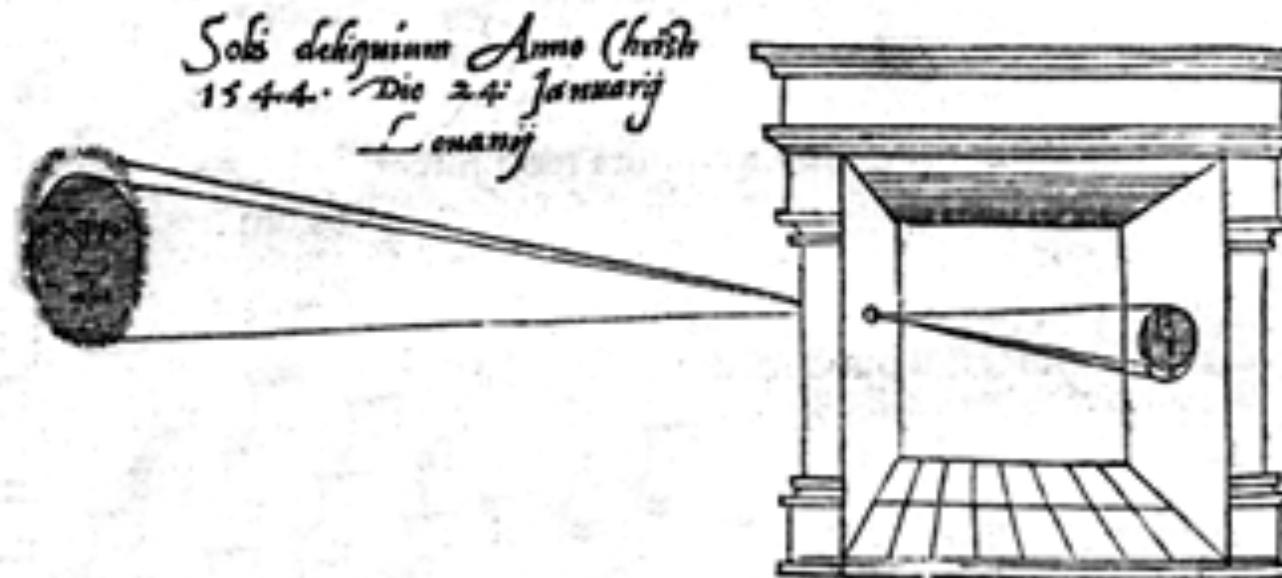
Digitale Kameras - Technisches

- Was genau passiert in einer Digitalkamera?



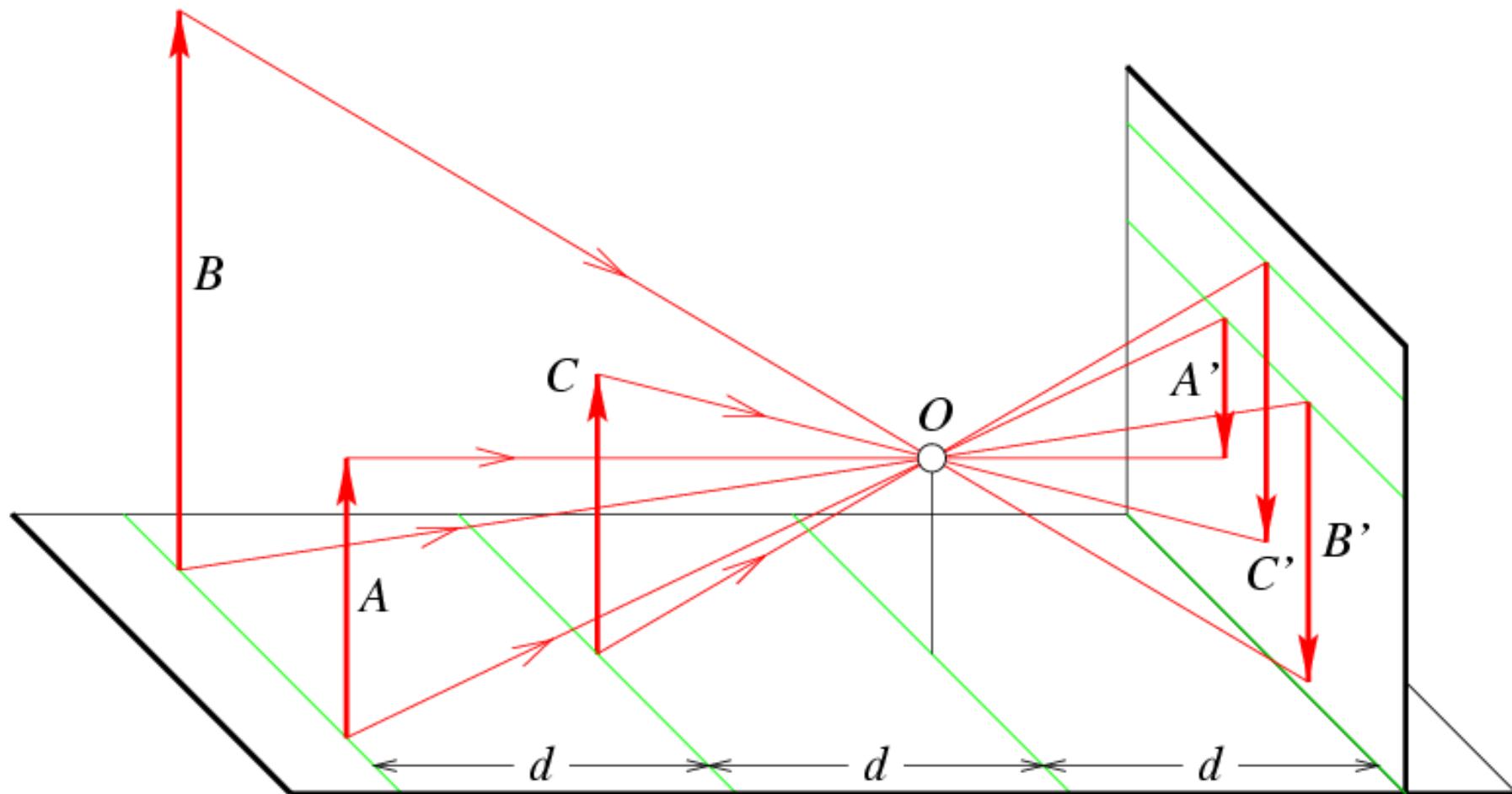
Lochkameramodell

illum in tabula per radios Solis, quam in cœlo contin-
git: hoc est, si in cœlo superior pars deliquiū patiatur, in
radiis apparebit inferior deficere, ut ratio exigit optica.



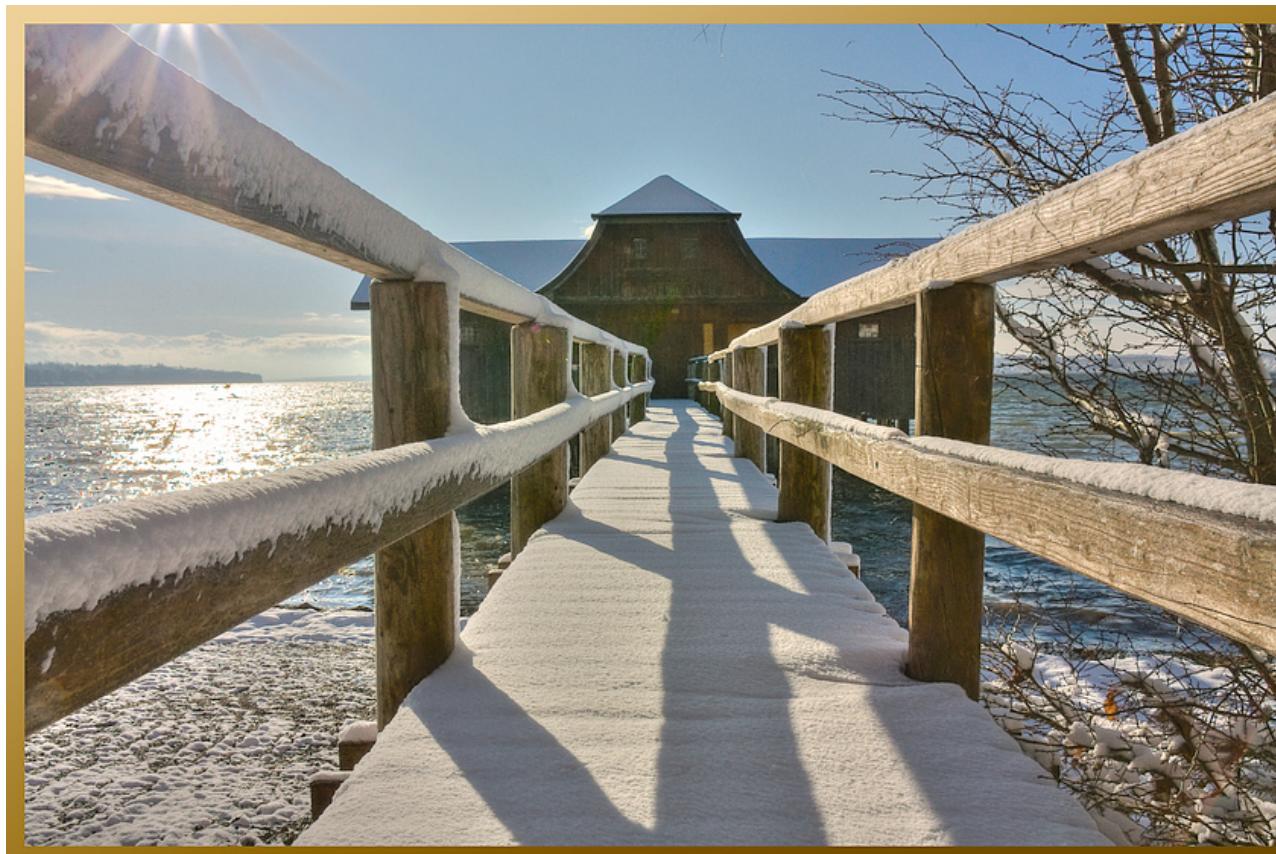
Sic nos exactè Anno .1544. Louanii eclipsim Solis
obseruauimus, inuenimusq; deficere paulò plus q̄ dæx-

Perspektivische Projektion (1)

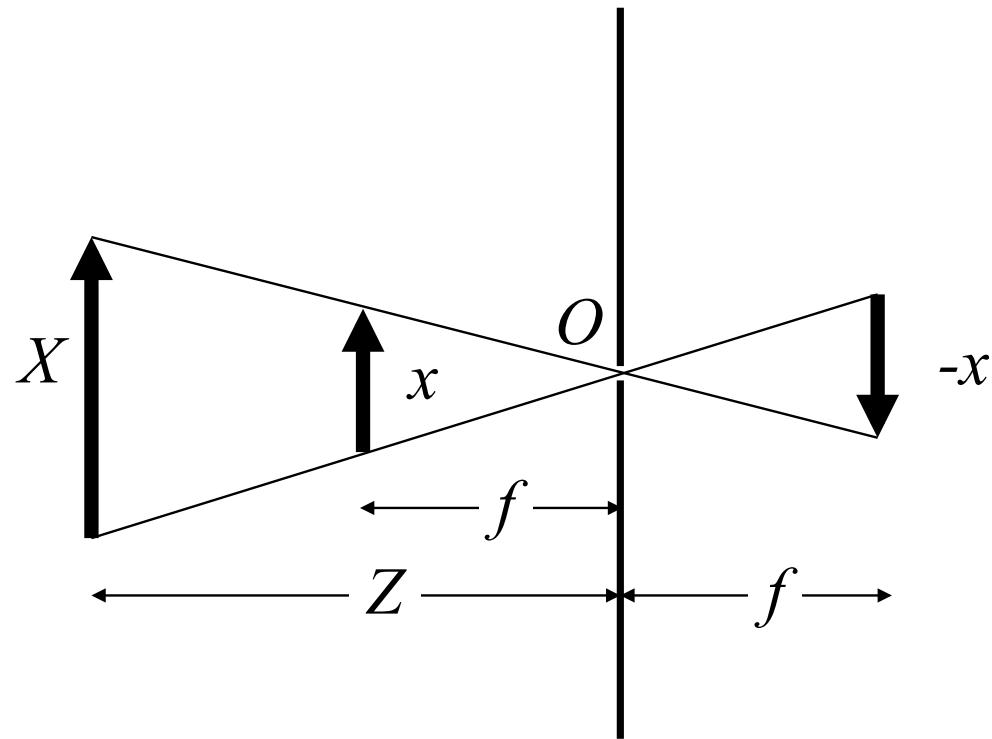


Perspektivische Projektion (2)

- ▶ Linien im Bild können sich in einem Fluchtpunkt schneiden
- ▶ Auch parallele Linien schneiden sich



Perspektivische Projektion (3)

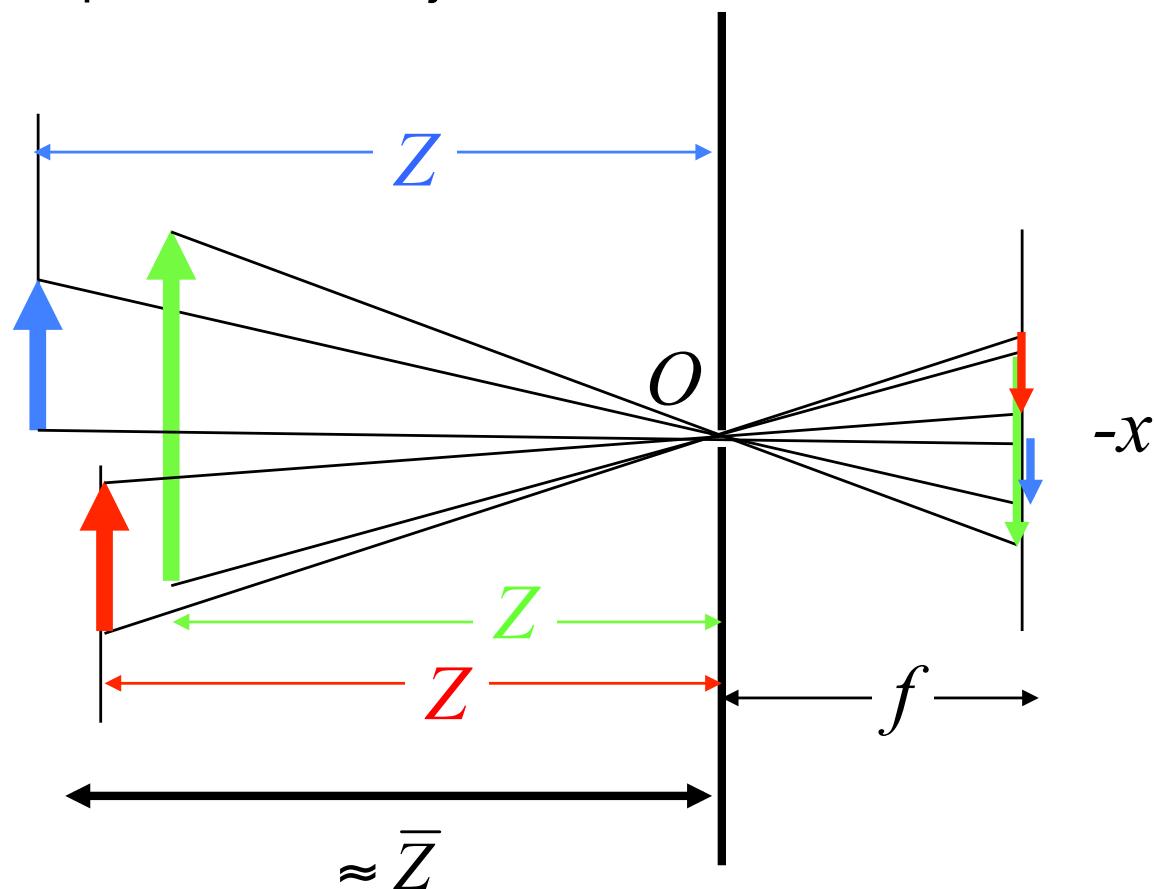


$$x = X \frac{f}{Z} \quad y = Y \frac{f}{Z}$$

Perspektivische Projektion (4)

- Schwache perspektivische Projektion:

$$\begin{aligned}x &= \text{const } X \\y &= \text{const } Y\end{aligned}$$

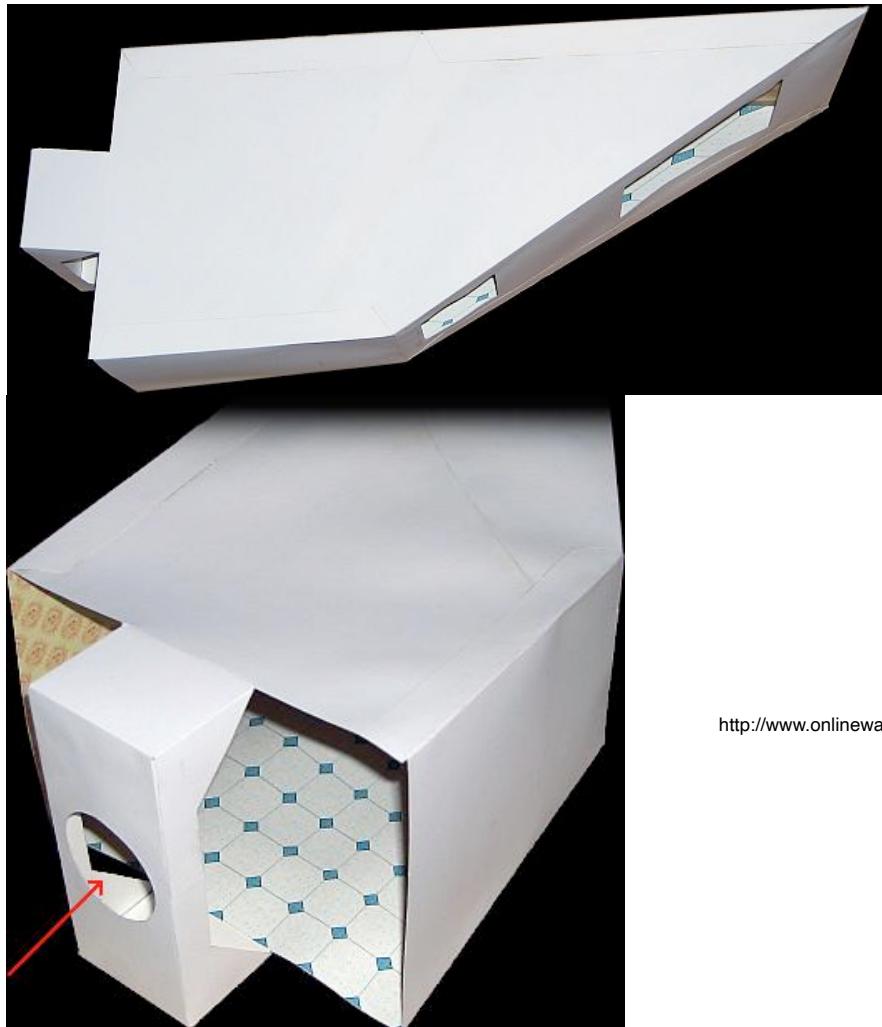


$$\begin{aligned}x &\approx X \frac{f}{Z} \\&= \text{const} \cdot X\end{aligned}$$

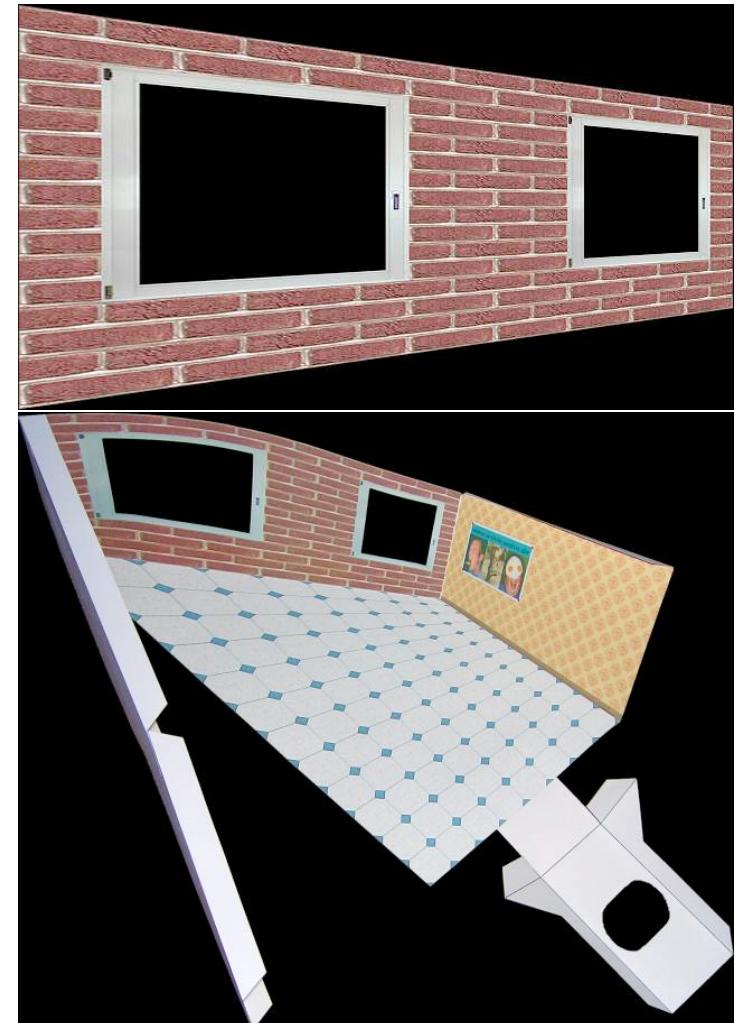
Perspektivische Projektion - Fun (1)



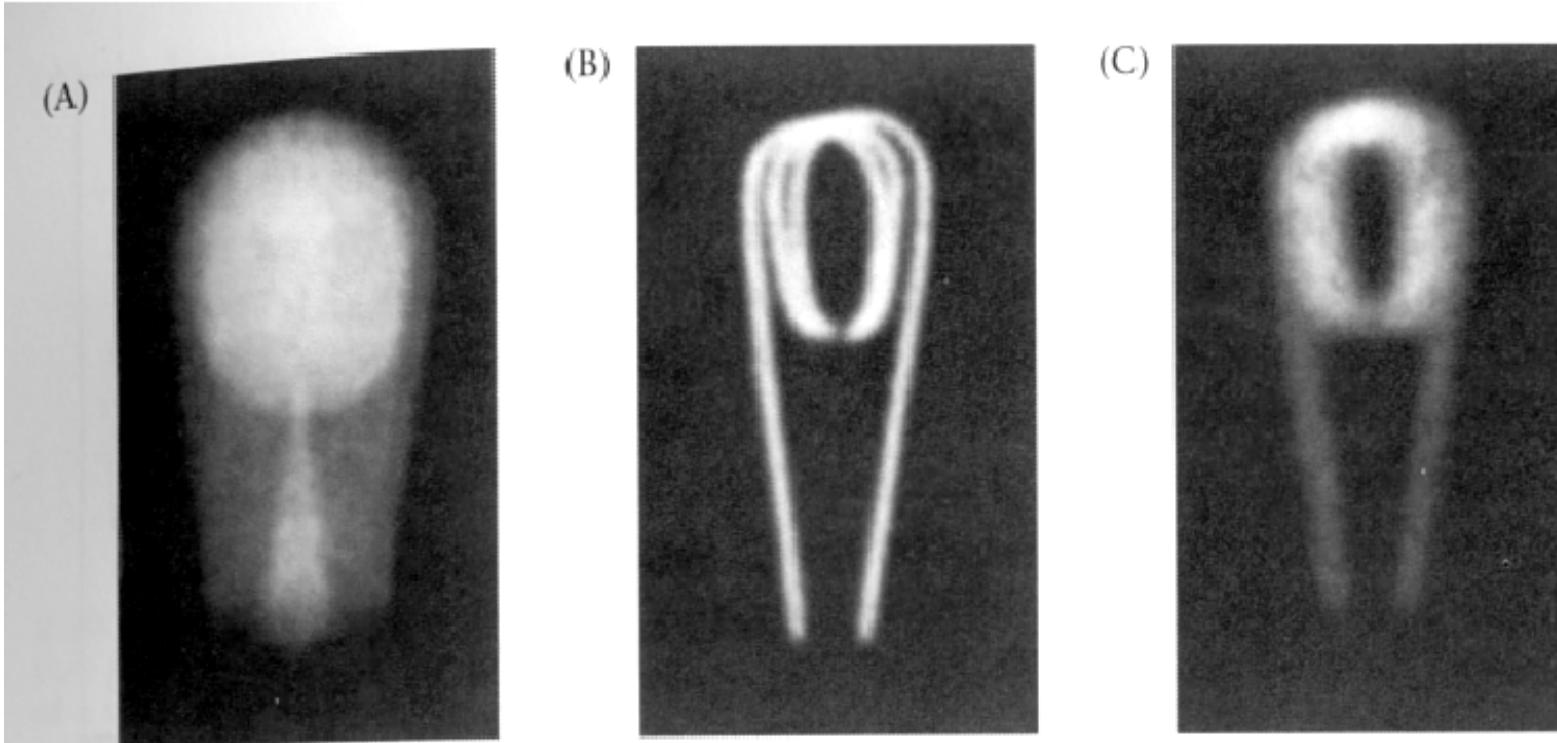
Perspektivische Projektion - Fun (2)



<http://www.onlinewahn.de/raum.htm>

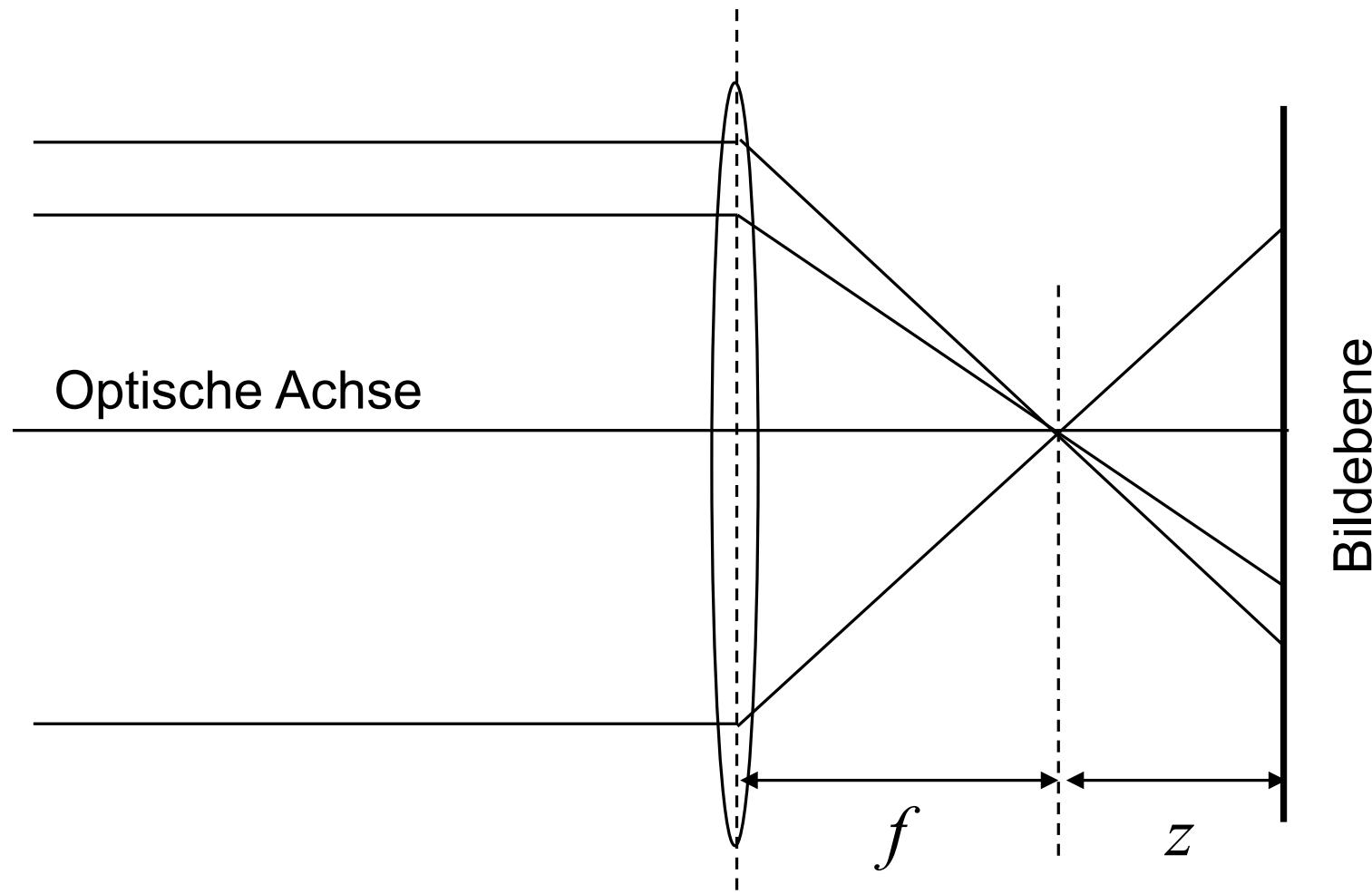


Grenzen der Lochkamera

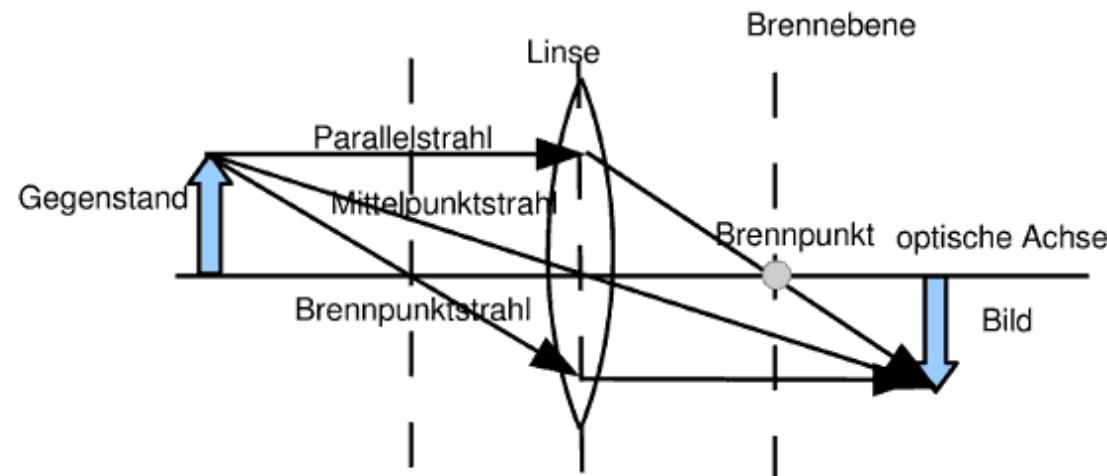


2.18 DIFFRACTION LIMITS THE QUALITY OF PINHOLE OPTICS. These three images of a bulb filament were made using pinholes with decreasing size. (A) When the pinhole is relatively large, the image rays are not properly converged, and the image is blurred. (B) Reducing the size of the pinhole improves the focus. (C) Reducing the size of the pinhole further worsens the focus, due to diffraction. From Ruechardt, 1958.

Dünne Linse (1)



Dünne Linse (2)

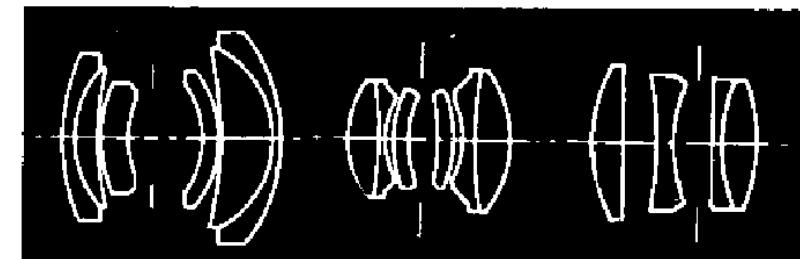


Abweichungen von diesem Modell nennt man **Aberrationen**.

- ▶ Bisher wurden drei Annahmen gemacht:
 - Alle Strahlen von einem Punkt werden im Fokus gebündelt
⇒ Annahme: Großer Abstand / kleine Winkel
 - Alle Bildpunkte liegen in einer Ebene
 - Die Vergrößerung $m = b / g$ ist konstant

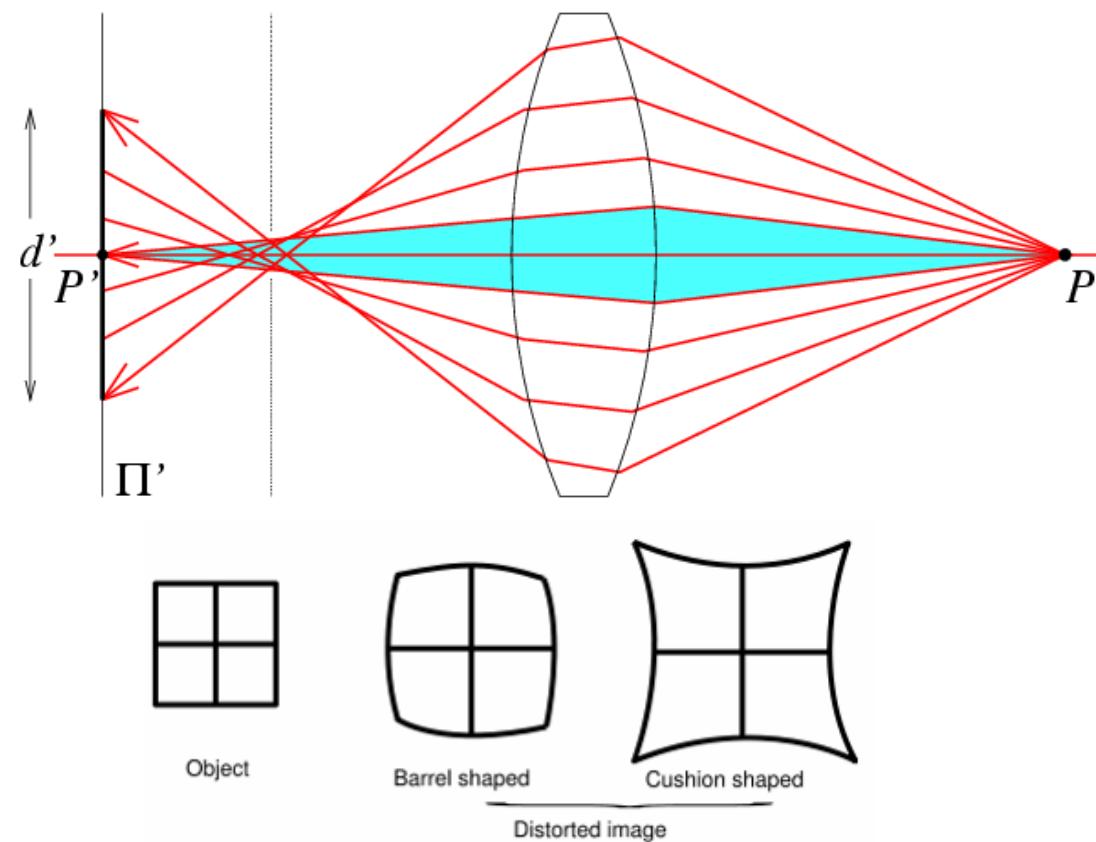
Aberrationen

- ▶ Es gibt zwei Typen von Aberrationen: geometrisch und chromatisch
- ▶ Geometrische Aberrationen:
 - Sphärische Aberration
 - Astigmatismus
 - Koma
 - Verzeichnung
- ▶ Chromatische Aberrationen:
 - Die Beugung an der Linse ist abhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichts
- ▶ Durch geeignete Linsenanordnungen können Aberrationen minimiert werden
- ▶ Mit geeigneten Fehlermodellen können die Abweichungen auch “auskalibriert” werden



Beispiel: Sphärische Aberation (1)

- ▶ Lichtstrahlen nicht-parallel zur optischen Achsen werden nicht exakt im Fokus gebündelt
- ▶ Die Brennweite sinkt in den äußeren Bereichen einer Linse



Kamerakalibrierung (1)

- ▶ Sphärische Aberration:



Weitwinkel



Tele

- ▶ Tonnen und Kissenverzerrung

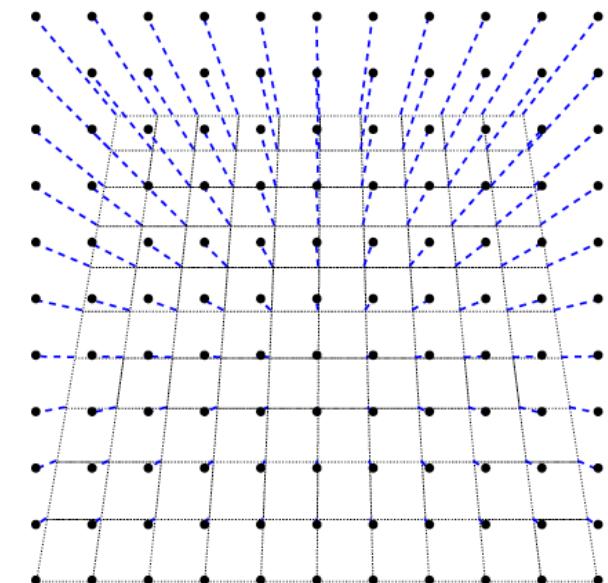
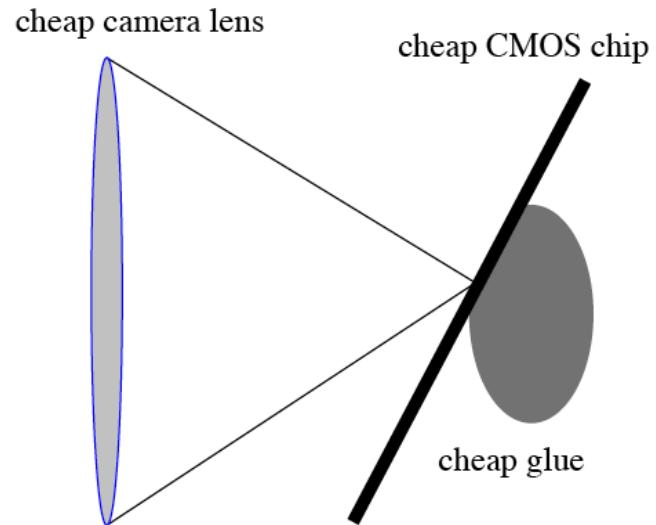
Kamerakalibrierung (2)

- Modell für radiale Verzerrung

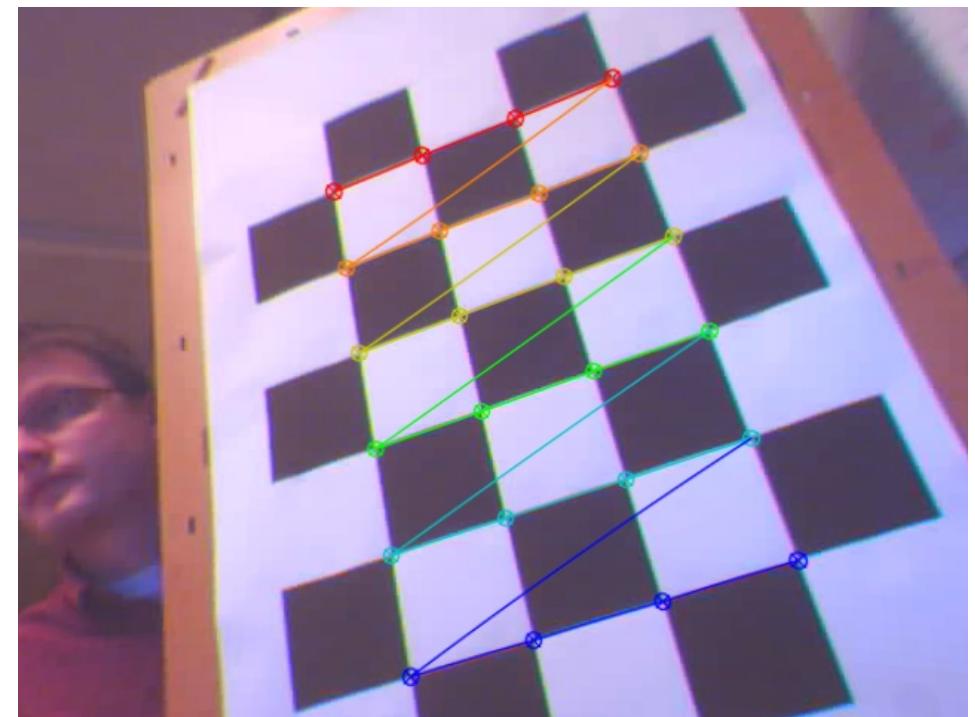
$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \end{pmatrix} (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4)$$

Abstand von der Bildmitte

- Tangentiale Verzerrung:

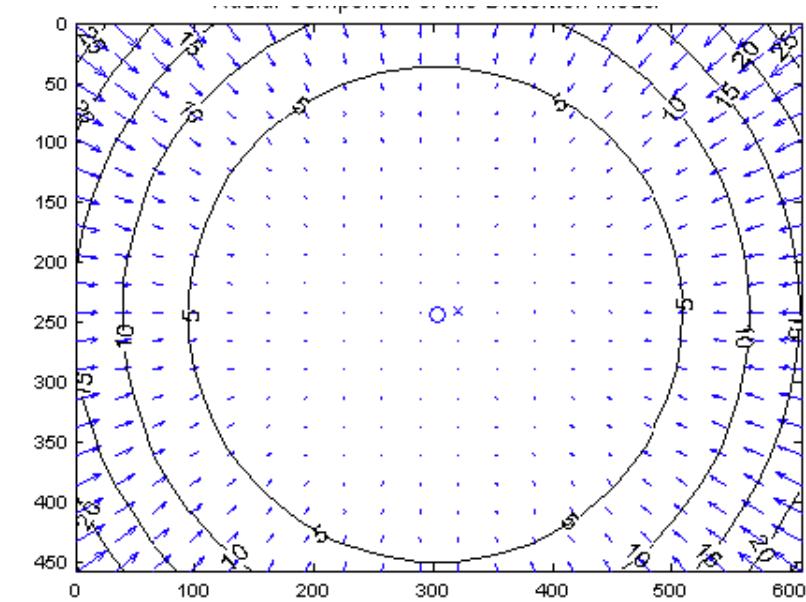


Kamerakalibrierung in OpenCV



Wie das geht? - 3D Sensordatenverarbeitung

Kamerakalibrierung in OpenCV



Pixel error	= [0.1174, 0.1159]	
Focal Length	= (657.303, 657.744)	+/- [0.2849, 0.2894]
Principal Point	= (302.717, 242.334)	+/- [0.5912, 0.5571]
Skew	= 0.0004198	+/- 0.0001905
Radial coefficients	= (-0.2535, 0.1187, 0)	+/- [0.00231, 0.009418, 0]
Tangential coefficients	= (-0.0002789, 5.174e-005)	+/- [0.0001217, 0.0001208]



[Albrecht 2007]

Zusammenfassung Kamerakalibrierung

- ▶ Kamerakalibrierung erlaubt es, die folgenden Parameter zu bestimmen:

- ▶ *Extrinsisch:*

- *Rotation* ϕ, φ, ψ
 - *Translation* T_x, T_y, T_z

- ▶ *Intrinsisch*

- *Brennweite in Pixeleinheiten* f / s_x
 - *Verhältnis der Pixelgr.*: $a = s_x / s_y$
 - *Bildmitte* o_x, o_y
 - *Verzerrungskoeffizienten* $k_1..$

- ▶ Es gibt verschiedene Modelle zur Modellierung von Aberrationen
- ▶ Ermittlung der Modellparameter durch Ausgleichsrechnung / Fitten der Messwerte
- ▶ Je komplexer das Modell, um so mehr Messungen werden benötigt

Intrinsische Parameter beschreiben die Modellparameter der jeweiligen Kamera. **Extrinsische** beschreiben die Orientierung der Kamera in einem übergeordneten Koordinatensystem.

Stereokameras

