
Klausurfragen Digitale Bildverarbeitung

1.) Allgemeine Infos/ Fragen zu Bildverarbeitung:

Anwendung in Messtechnik, Qualitätskontrolle, Identifikation;

Unterteilung in Maschine-Vision (Bsp.: Gesichtserkennung → ist problematisch Trainig) und Industrieller BV (dort will man aus vielen Bytes eine kleine Info herausbekommen → Problem wie filtert man die Riesendatenmenge)

MACHINE VISION	Characteristics	Metrology (<i>Meßtechnik</i>) Quality control Identification / Recognition Restoration Visualization
	Components (outer imaging chain)	Sensor, Lens (capturing device) Illumination Evaluation unit Communication to the automation process
	Methods	Image capture Segmentation Registration / geometric mapping Projection Identification
	Technologies	Physics Electrical engineering Informatics Mathematics Bionics

2.) Was ist maschinelles Sehen? Was ist Bildverarbeitung?

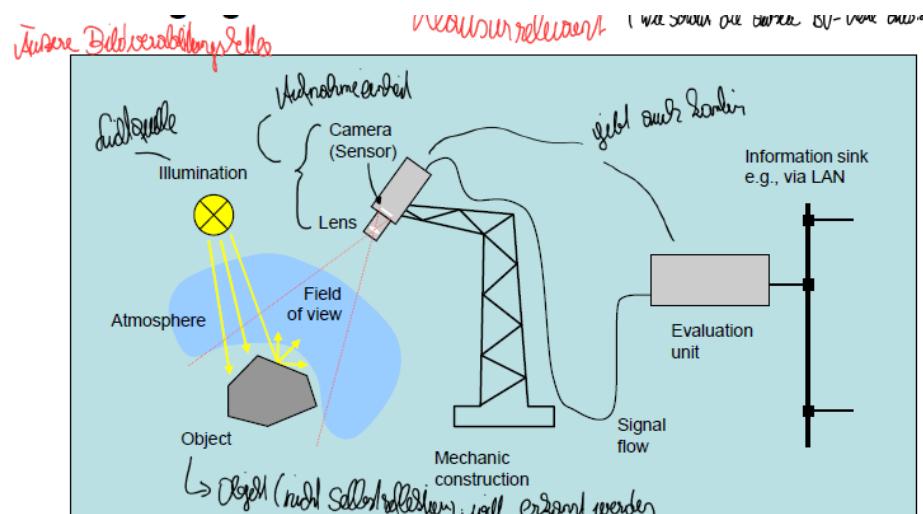
Mensch sieht Objektorientiert; Maschine sieht Pixelorientiert, also die Details (z.B. unterschiedliche Graustufen) und muss sich bis zum Objekt hinaufarbeiten (über Algorithmen etc..)

3.) Was ist die industrielle Bildverarbeitung?

Aus großer Informationsmenge des Bildes eine kleine Information herausfiltern, z.B. in der Messtechnik wird Bild einer Schraube gemacht und man ist aber nur am Kerndurchmesser interessiert

4.) Wie schaut die äußere Bildverarbeitungskette aus?

Folgende Skizze aufzeichnen:



System: PC based, extra illumination

5.) Was sind die gebräuchlichsten Übertragungsarten?

- USB 3.0 und höher 5.000-20.000 Mbit/s = 2000 Mbyte/s bei 5m Länge
 - Giger Ethernet ~ 1000 MBIT/s = 125 Mbyte/s bei 50m Länge

6.) Welche Systemkonfigurationen sind möglich? + Aufzählen Bsp. dahinter

- Separate Komponenten: (=STD + gebräuchlichste)

- Industrial standards, sensor mostly Sony, components ca. € 300,- - € 800,- +/-
 - Interface USB 3, GigE, CameraLink, CoaxPress
 - Mostly gray images, 1-5 MP (camera resolution exceeds optics) Standard
 - 3D-ToF, (consumer 3D-Kinect), light field cameras approaching best broad cameras approach?

- #### ➤ Intelligente Kameras

- Illumination + lens + sensor + evaluation unit in compact housing IP67
 - LAN-Interface for remote – configuration/result transfer

→ Klausur (rose): Was sieht man von intelligenten Kamerassen? Beinhaltet dies in einer sel

- Smart Sensoren, z.B. Barcode-Reader, Ticketlesegerät etc...

- ## ➤ Spezialanwendungen

- Panorama, HDR, Face Recognition/Identification, etc.
 - Raspberry Pi (Broadcom und GPU) with camera module – Linux, Python, OpenCV
 - NVIDIA Jetson Nano/Orin – ‘AI machine’

7.) Was versteht man unter intelligentem Kamerasystem

Kombiniert Beleuchtung, Objektiv, Sensor und Auswerteeinheit in einem IP67 Gehäuse und muss nur mehr an PC;SPS o.ä. angeschlossen werden

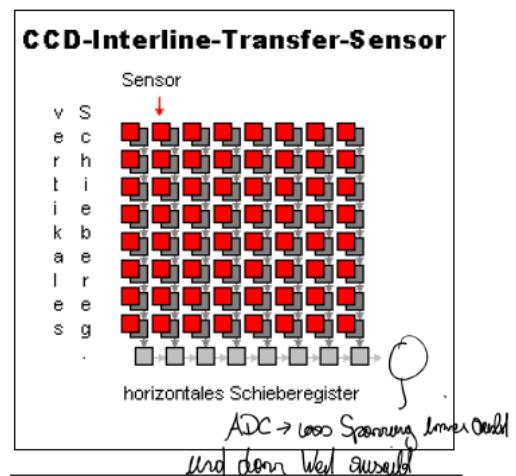
8.) CCD-Sensoren: Was heißt das und wie funktionieren diese?

CCD = charge coupled device, ladungsgekoppeltes Bauteil

Funktion: Matrix mit Kondensatoren, welche durch Licht geladen werden, die Helligkeit bestimmt die geladene Spannung, je größerer diese sind, desto lichtempfindlicher;

Wie funktioniert das/ Reihenfolge:

- Kondensator wird entladen
 - Beginn der Belichtungszeit → durch Photon wird Ladung aufgebracht
 - Stopp der Belichtungszeit
 - Bild wird ausgelesen: Über Schieberegister: Ladung wird von einer Kondensator in nächstem geschoben (von oben nach unten) → durch anlegen von Potential → 1x Versatz von oben nach unten → dann wird die untere Reihe immer eines weitergeschoben und nach rechts und dort über ADC- ausgelesen = Bottleneck!



CCD-Sensor (vision-doctor.com)

Effekt: Photon trifft auf Elektron und Energie wird genutzt um Elektron freiverden zu lassen => Elektronenlochpaar (nur bei Metallen) dieses e- sorgt dann für Spannung, je mehr e- frei, desto höher die Ladung des Kondensators → höhere Spannung → höhere Helligkeit

Belichtungszeit wird benötigt (liegt im ms-Bereich), aber bessere Bilder als Photodioden

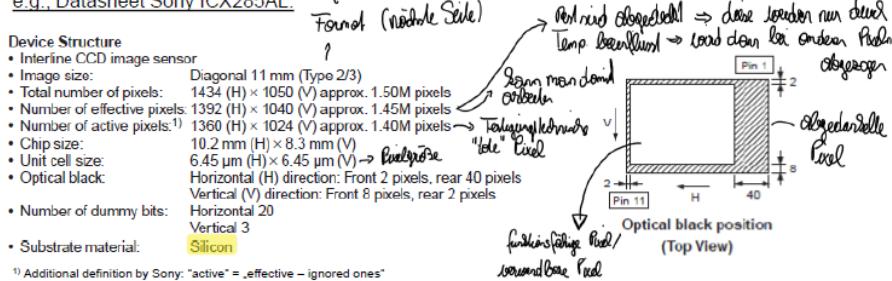
Überbelichtung → Blooming (Kondensator daneben wird beeinflusst und Ladung „fließt“ über)

9.) Datenblatt-Infos erklären → Chipgröße, Substratmaterial, Unterschied Pixel, STD-Auflösung

Resolution

- Number of **effective** pixel horizontal and vertical
 - Standard 1280 x 1024 (2592 x 1944) Pixel
 - There are covered (blind) pixel at the boundary of the sensor – are taken as reference signals for black color (temperature effect!)
 - **Pay attention:** Sometimes the figure of resolutions contains all pixels (including the blind ones).

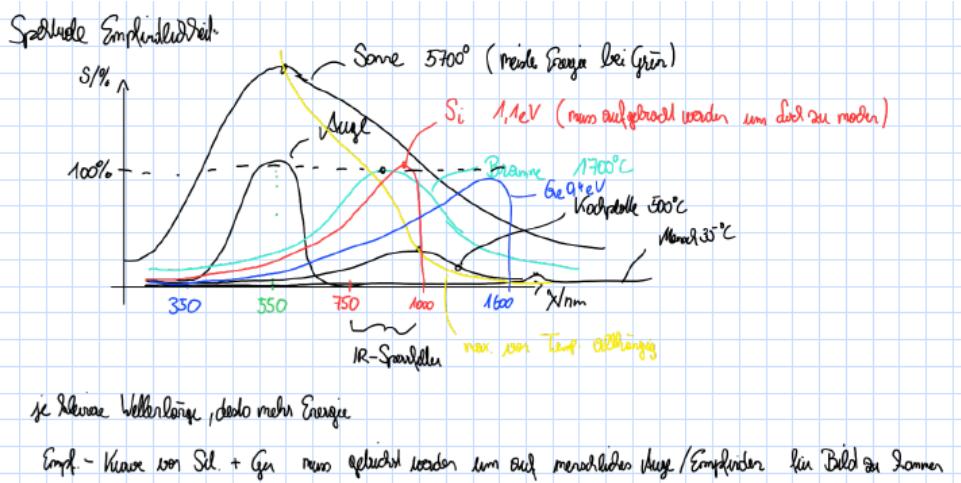
including the blind ones
Klausurfrage ?? (Datenblatt entnommen)
e.g., Datasheet Sony ICX285AL:

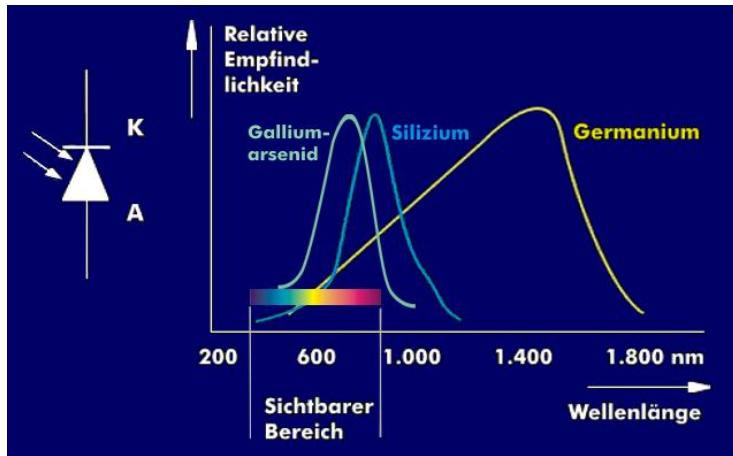


- Unterschied effektiver und aktiver Pixel? → aktive sind welche, welche funktionieren
 - Unterschied totale und effektive? → ein Teil der totalen wird abgedeckt um Temperaturkompensation durchführen zu können (= Schwazkompensation)
 - Diagonale = Format → Optik muss dazu passen
 - Pixelgröße wird angegeben
 - STD-Auflösung im Bereich 1-5MP in der Industrie

10.) Substratmaterial?

In der Regel aus Silizium oder Germanium; der Unterschied liegt in der spektralen Empfindlichkeit der beiden Materialien + auch wird auch bei Germanium weniger „Energie“ gebraucht, damit Photonen Licht in Spannung umwandeln können; Germanium eher im IR-Bereich verwendet





11.) Was versteht man unter Format?

Hinweis zur Größe des Sensors, wird in Zoll angegeben (kommt von früher → Größen sind nicht exakt in Zoll, da dort der Außendurchmesser des Glasrohres gemeint war => Sensor muss also kleiner gewesen sein!)

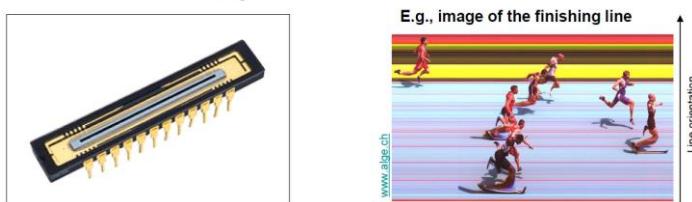
sehr klein

CCD format	Width	Height	Diagonal
1/4 "	3.2 mm	2.4 mm	4 mm
1/3 "	4.8 mm	3.6 mm	6 mm
1/2 "	6.4 mm	4.8 mm	8 mm
2/3 "	8.8 mm	6.6 mm	11 mm
1 "	12.8 mm	9.6 mm	16 mm

12.) Was ist eine Linienkamera?

Liest nur eine Reihe von Pixel aus → geht also viel schneller als bei CCD-Sensoren → sind also sehr rasch und sehr hohe Auflösung; Gibt es da sich eine Richtung sowieso bewegt und somit nur mehr immer eine Zeile ausgelesen werden muss + hohe Abtastrate; bsp. Scanner, Zielkamera Staffellauf

- Very high scan rate – 100,000 ips → 1.5 Gbyte/s.
Sehr hoch, sehr hohe Auflösung (Bsp. Scanner bei Drucker)

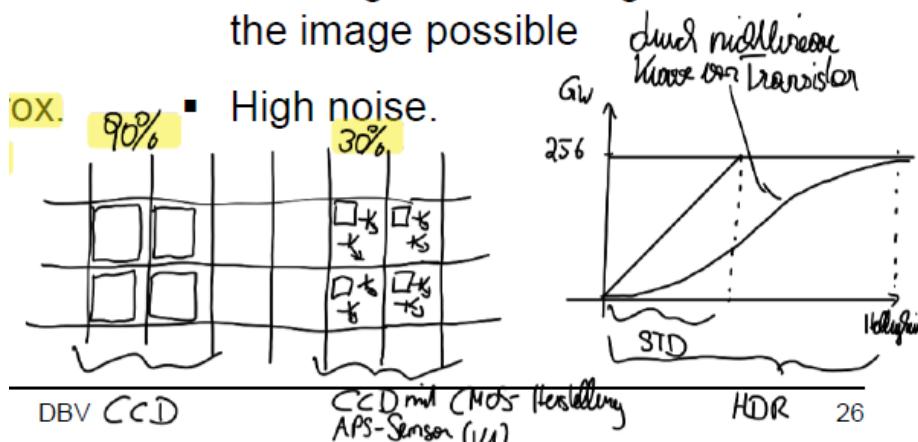


13.) Was sind CMOS-Sensoren?

Im Großen versteht man darunter 2 Arten:

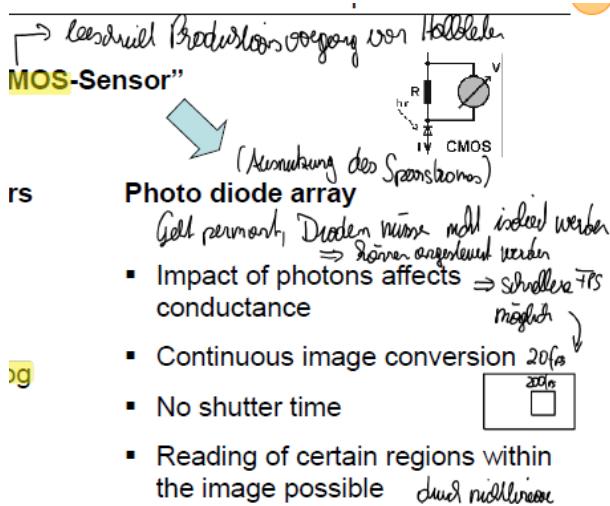
- CCD-Sensoren mit zusätzlichen Transistoren für Verbesserung Dynamik „APS“ active pixel sensor

Jeder Pixel enthält zusätzlich zum Kondensator ein oder mehrere Transistoren welche das rohe Analoge Signal beeinflussen, Sensorcharakteristik wird durch nichtlineare Kennlinie Transistor angepasst aber Füllfaktor wird geringer CCD ~ 90% und CMOS ~30%; „Dynamik Spreizen“



➤ Photodioden

Ist Array aus Halbleiterdioden, wo der Sperrstrom ausgenutzt wird; Photonen steuern den Sperrstrom
 → je mehr desto höher (keine Belichtungszeit notwendig!) → instant + es kann ein kleines Fenster ausgeschnitten werden → schneller Bildwechsel möglich)



14.) Was ist eine Event-Based Kamera?

Nur Änderungen bei Pixel werden registriert sobald sich Helligkeit ändert → sehr schnelle Erkennung von Änderungen in Sequenzen

- Does not take frame by frame but reacts on events (change in brightness) per pixel
- Static image – no events – no output
- Dynamic image – registers only changing events per pixel
- Down to 1200 events per second



(a) Our quadrotor performing a flip.

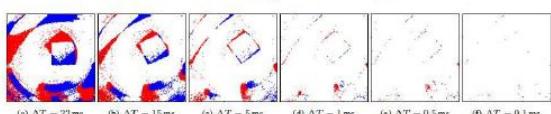


Fig. 12: Integrated events of the DVS over different time intervals. Blue and red indicate the polarity of the events.

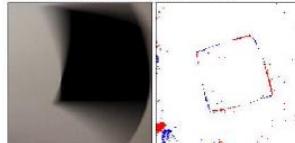


Fig. 13: Standard CMOS camera frames at 30 Hz during a flip (from left to right). Motion blur is clearly visible in all frames except the first and last one. The violet traces correspond to the LED lights of the OptiTrack cameras.
 Fig. 14: A quadrotor equipped with a standard CMOS camera and a DVS performing a flip. While the image of a standard CMOS camera suffers from high motion blur, a rendering of the DVS output shows that it can detect fast motion accurately. Blue and red indicate the polarity of the events (i.e., negative or positive changes of intensity).

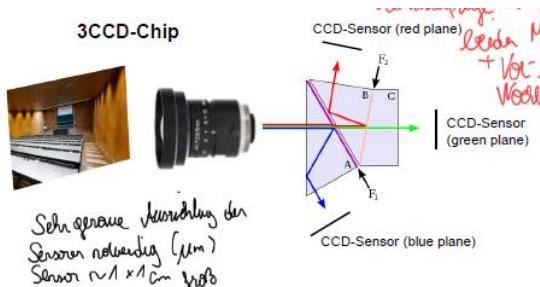


Fig. 13: Standard CMOS camera frames at 30 Hz during a flip (from left to right). Motion blur is clearly visible in all frames except the first and last one. The violet traces correspond to the LED lights of the OptiTrack cameras.

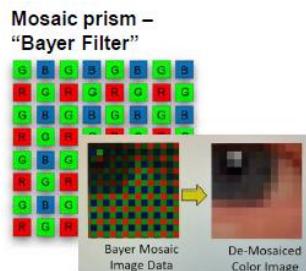
15.) Wie funktioniert die Farberkennung bei Kameras?

2 Möglichkeiten:

3CCD-Chips: sehr genaue Ausrichtung notwendig, wenige μm , Sensor ca. 1x1cm groß; 3 extra Sensor mit jedem für eigene Farbe durch Farbfilter, Licht wird durch Prisma so gebrochen, dass immer nur eine Wellenlänge ankommt; höhere Präzision durch die 3 Sensoren und bessere Auflösung + Helligkeitsverhalten, **teuer!**

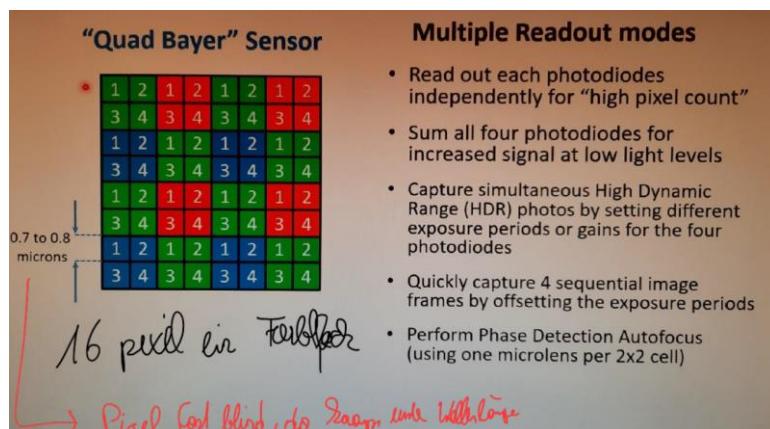


Mosaic prism oder Bayer-Filter: günstig, für jede Farbe wird ein eigener Pixel (die Farbe wird durch Filter gefiltert) benötigt → i.R. dann immer 4 Farbpixel zu einem Pixel zusammengefasst, Reduktion der Auflösung, 2x grüne pro zusammengefassten Pixel, da Mensch dort die beste Sensitivität hat, am meisten verwendet, günstig



16.) Was ist der Trend bei Sensoren?

Pixel werden immer kleiner und mehrere Pixel, dann für „eines“ zusammengefasst, bei Tag und Nacht können dann unterschiedlich viele Pixel zusammengefasst werden → besseres Helligkeitsempfinden:
Quad-Bayer Sensor:



17.) Wichtige Eigenschaften einer Kamera: (min. 3 genannt und dann Werte aufgezählt)

Auflösung: STD 1-5MP

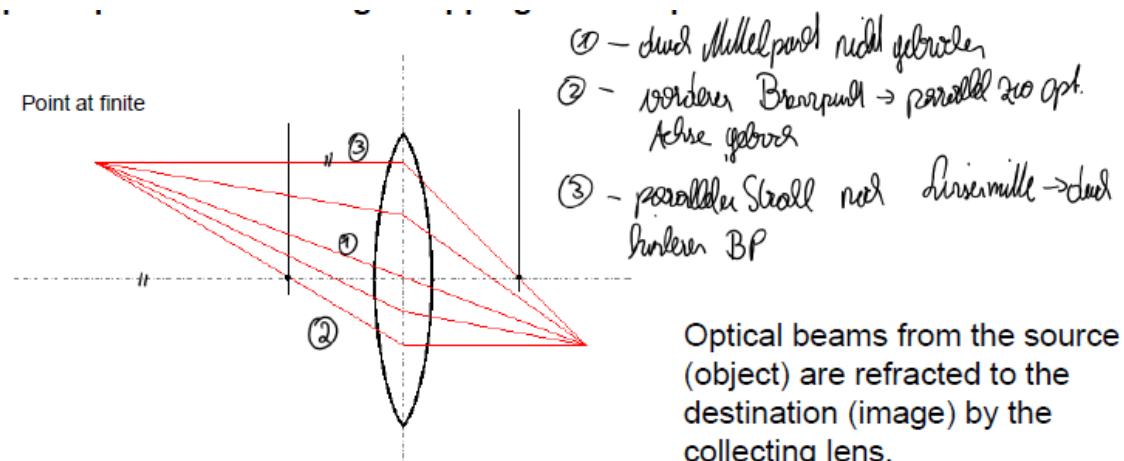
Camera features – specifications

- "The camera is the sensor of light; it delivers electrical signals (analog) or digital numbers representing the brightness of the scenery."
- **Geometry:** matrix / area scan (*Flächen*) camera, line scan (*Zeilen*) camera
 - ↗ mit Fläche (Film absp.) ↗ Scanfrequenz
- **Video signal:** analog, digital camera
 - ↗ Indirekt: digitale Signal mit analogen Signal übertragen (BAS)
 - Auflösung ?
- **Sensor type (& format):**
 - CCD, CMOS, photo diode array
 - BW, color
- special cameras - e.g., thermal imaging
 - 40 °C to 1.600 °C; delta T approx. 0,1 °C; € 20.000,- to € 50.000,-
- capturing procedure: Interlaced, non interlaced = progressive Scan
- Intelligent cameras:
Capturing device including evaluation device (CPU; Ethernet connected)
- Manufacturer: JAI, SONY, DALSA, KODAK, PULNIX, FLIR, COGNEX, ...
- Costs: € 500,- to € 2.000,- (€ 5,- to € 8.000,-)

Zahlen?

18.) Optischer Pfad bei dünnen Linsen?

Annahme: unendlich dünne Linse → Brechung in der Linsenmitte



Annahme: Licht wird bei dünner Linse nur in Linsenmitte gebrochen, Objekt kann durch 3 Strahlen gezeichnet werden (siehe oben)

19.) 5 Gründe, warum ein Bild nicht zu 100% scharf sein kann?

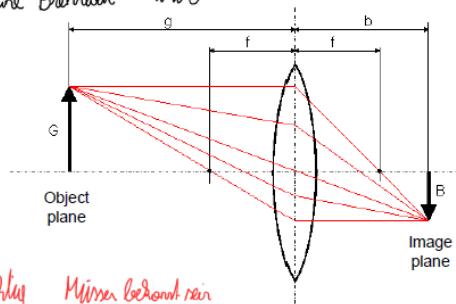
- Wellenlänge des Lichts werden anders stark gebrochen → rot schwächer als blau
- Optik eines Glases: Einschlüsse, Fehlstellen im Glas, Ungenauigkeiten
- Beugungseffekt von Wellen am Spalt, Loch (Rayleigh-Beziehung) → Formel
- Licht wird in Realität nicht in der Mitte sondern an Vorder- und Rückkante gebrochen => Unschärfe da Strahlen sich nicht in einem Punkt treffen! Nicht unendlich dünn!
- Linse ist nicht schön optisch gebaut → Inhomogenitäten in Linse und Unterschied Optisch dicht und optisch dünn

20.) Wichtige Linsengleichungen+ Größen? Resultierend gibt es dann ein Rechenbeispiel

Große Brennweite \rightarrow kleine Öffnungswinkel \Rightarrow Objekt erscheint groß Teleobjektiv

Optical path – law of image mapping – lens equation – focal distance

kleine Brennweite : WWO



Wichtig! Maßen bekannt sein

g ... Distance object to lens

b ... Distance lens to image

f ... Focal distance

G ... Size of the object

B ... Size of the image

F ... Blendenzahl

B/G = m

... Scale of mapping

Law of image mapping by René Descartes
(valid for thin lens)

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Optical path – model of THIN LENS

Messfeld Größe 20mm
f=500mm
Sensorgröße = 5mm } Reden bzgl. bei Klausur?

21.) Rechenbeispiel:

Messfeld hat eine Größe von 20mm und die Kamera ist 200mm entfernt, der Sensor hat eine Größe von 5mm \rightarrow Wie groß muss die Brennweite sein, um das Messfeld abilden zu können?

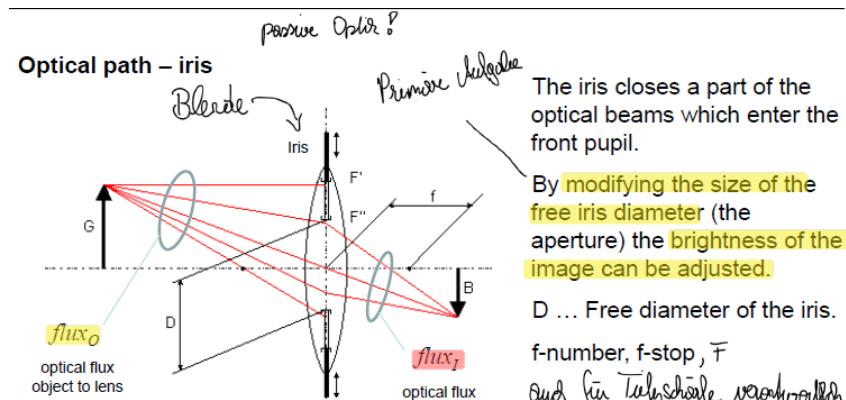
Zusatzfrage: z.B. f=23.5mm im Katalog gibt es f=16mm und f=25mm \rightarrow welche gewählt? Immer die nächst kleinere damit Messfeld daraufpasst

22.) Was ist eine Blende?

Lamellen, welche geöffnet oder geschlossen werden können;

2 Effekte einer Blende:

- Anpassung von Helligkeit \rightarrow Gleichungen müssen bekannt sein + ungefähre Auflistung der Größen



The iris closes a part of the optical beams which enter the front pupil.

By modifying the size of the free iris diameter (the aperture) the brightness of the image can be adjusted.

D ... Free diameter of the iris.

f-number, f-stop, F

Auch für Tiefenschärfe verantwortlich

Variante 1:

$$f - \text{number} = \frac{f}{D} \dots \text{by geometry}$$

Variante 2:

$$f - \text{number} = \sqrt{\frac{\text{flux}_O}{\text{flux}_I}} \dots \text{by optical flux}$$

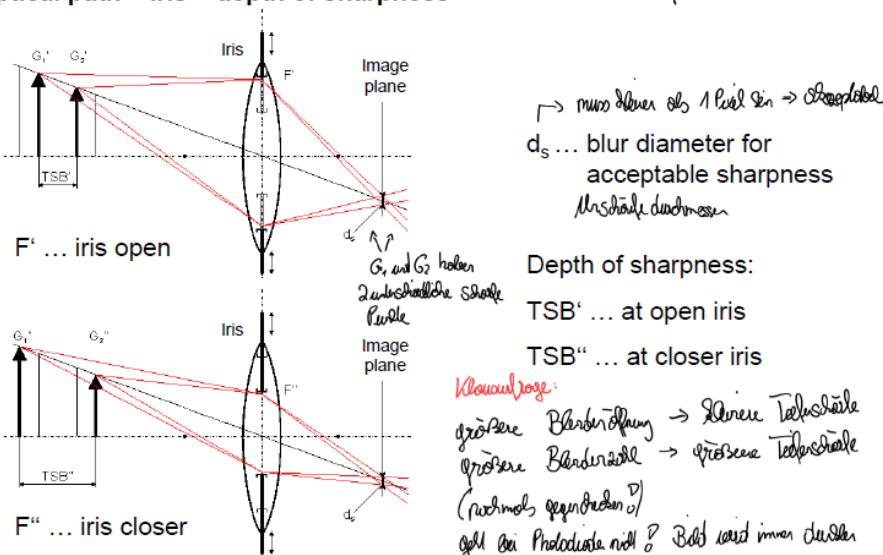
\hookrightarrow keine Blendenzahl < 1 möglich (es kann nicht mehr herauskommen als herein kommt)

f-number values: between 1.0 and ∞ (typical 1.0; 1.2; 1.4; 1.8; 2.0; ...; 8.0; 11.0; 16.0; 32.0)

- Tiefenschärfe

Optical path – iris – depth of sharpness

Tiefenschärfe: Fokuspunkt + Hintergrund scharf
Scharf



Depth of sharpness:

TSB' ... at open iris

TSB'' ... at closer iris

Klausurfrage:
größere Blendenöffnung → kleinere Tiefenschärfe
größere Blendenzahl → größere Tiefenschärfe
(nach oben geöffneten D)
gilt bei Photodiode nicht? Bild wird immer dämmig

Wie scharf kann der Hintergrund dargestellt werden? Im Vergleich zum Objekt, wie kann der Abstand sein

23.) Welchen Zusammenhang haben Tiefenschärfe und Blendenzahl/ Blendenöffnung:

Tiefenschärfe vs. Blendenzahl: Große Blendenzahl → große Tiefenschärfe

Tiefenschärfe vs. Blendendurchm: Großen Blendendurchm. (= kleine Blendenzahl) → kleine Tiefenschärfe

Klausurfrage:

größere Blendenöffnung → kleinere Tiefenschärfe

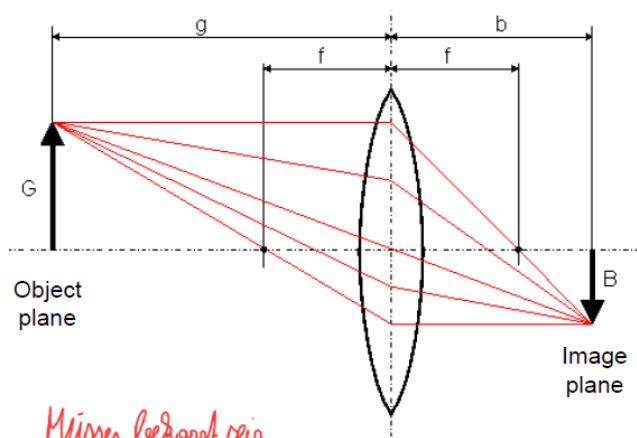
größere Blendenzahl → größere Tiefenschärfe

(nach oben geöffneten D)

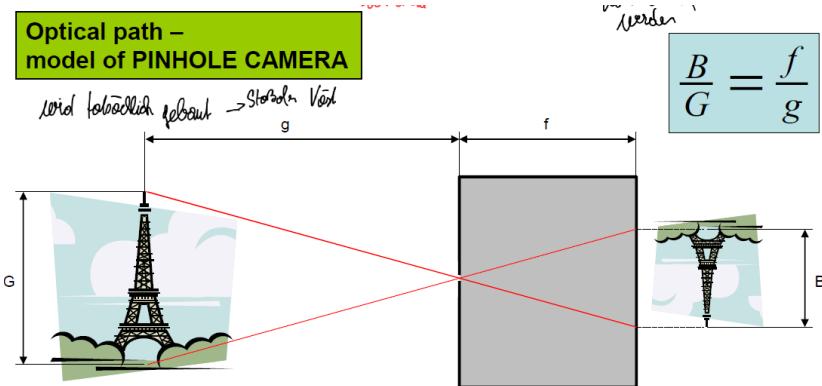
gilt bei Photodiode nicht? Bild wird immer dämmig

24.) Zeichne beide Modelle der Kamera auf:

Dünne Linse:



Lochkamera: (wichtig auch Gleichung → kann auch für das Rechenbeispiel vorkommen):



- Pinhole – at the back side of the box there is a semitransparent material – the object can be seen at this image plane
- Pinhole ← compared to iris which is very close nur 1 Schotter
→ depth of sharpness is very big
kleine Brennweite ab ausgenutzt → Meldung auf Sensor

$f \ll g \rightarrow$ gleiche Ergebnisse wie bei dünner Linse

25.) Zusammenhang Schärfe mit Blendenzahl?

Der Zusammenhang ist über die Lochbeugung = Rayleigh-Gleichung gegeben:

$$\text{SpotSize}[\mu\text{m}] \approx 1.3 \times f - \text{number}$$

muss gekennzeichnet werden

"Möglichkeit"

Punktgröße im Abstand von der Blende

AMPLES

26.) Rechenbeispiel zu Rayleigh-Beziehung? Auswirkung Blende auf Schärfe?

Pixelgröße bekannt + Blendenzahl → kann noch scharf gesehen werden? → Berechnung der Spotsize über die Rayleigh-Gleichung →

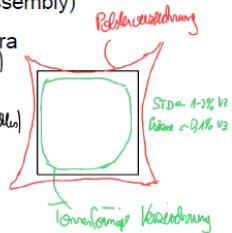
Spot < Pixel keine Auswirkung auf Schärfe
Spot > -/- Auswirkung auf Schärfe

04966666

27.) Objektiveigenschaften?

Lens features - specifications

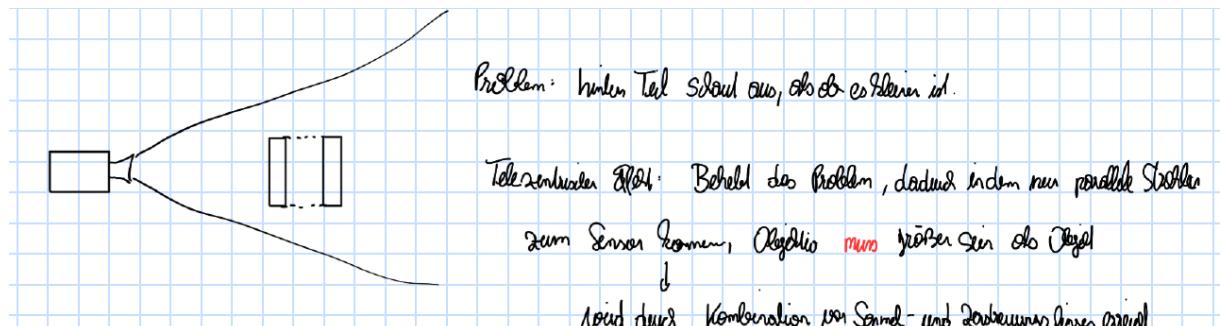
- „The lens projects the scene to the sensor plane.“
- Features for selecting the lens:
Focal distance, mechanical mounting, sensor format, *Sehr wichtig!*
minimal f-number, distortion, mechanical stability
- Mechanical mounting: C-Mount / CS-Mount (camera assembly)
- Sensor format: Has to fit to the CCD format of the camera
- Tele centric lens (*für mengeleichte Gläsern von*
→ takes parallel beams from the object only
Objektiv)
- Narrow lens / spacer ring / macro lens
→ reduction of the minimal distance to the object
- Fisheye / extra wide angle
belly
- Manufacturer: COSMICAR, PENTAX, SCHNEIDER-KREUZNACH, ZEISS, ...
- Costs: € 300,- to € 2.000,- (tele centric up to approx. € 8.000,-/€ 20.000,-)



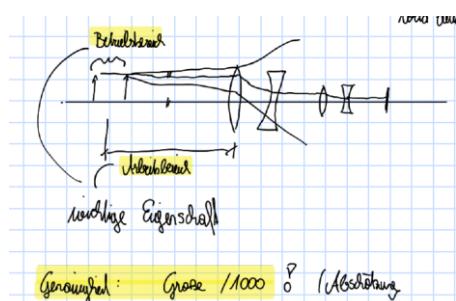
Was sollte da zumindest aufgelistet werden: Brennweite + Montage + wichtig für welches Sensorformat gebaut

Sehr wichtig → immer die kleinste f-number, Blendenzahl angegeben!

28.) Wie funktioniert das Telezentrische Objektiv?

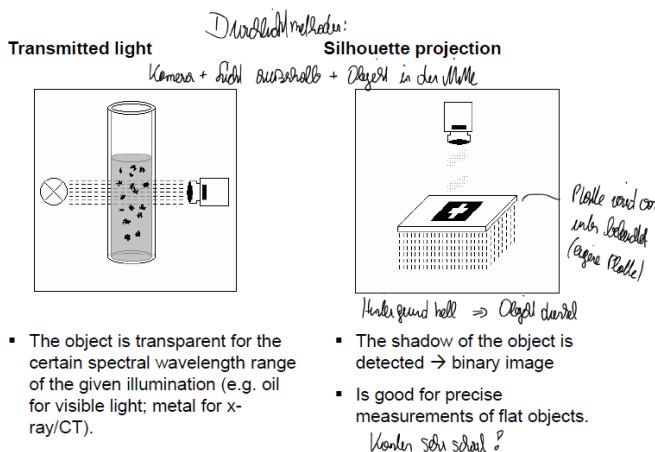


Nur parallele Strahlen zu Objektiv => Objektiv größer als Objekt



29.) Welche 7 Beleuchtungsmethoden gibt es + Anwendungsgebiete? + Aufzeichnen

Durchlichtmethoden:

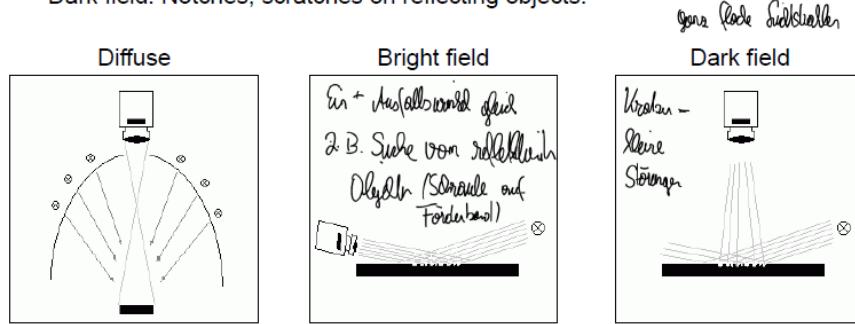


Transmitted → Fremdkörper in Öl, usw...

Silhouette → scharfe Kante für Stanzteile o.ä.

Auflicht Methoden: Kamera + Licht auf gleicher Seite + Objekt ggü.

- The surface features of the object are essential:
reflection, roughness, color
- Diffuse illumination: **No shadows** *Reine Schatten!*
- Bright field: Appearance of reflecting objects within a dark ambience
- Dark field: Notches, scratches on reflecting objects.



Diffus: Umriss + Oberflächenstrukturen + tiefe Oberflächen Fehler wie Lunker erkennbar

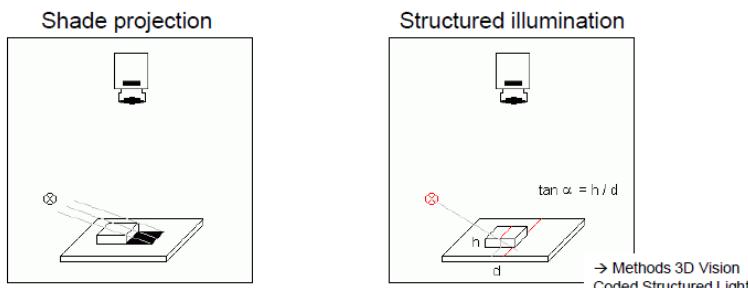
Hellfeld: Suche von reflektierenden Strukturen auf Oberfläche, z.B. Schraube auf Förderband

Dunkelfeld: Kratzer, Störungen in Oberfläche

Spezialanwendungen: (strukturierte Beleuchtung) → Strukturiert für Vermessung auch Schattenprojektion

- Shade projection: *Licht + Hintergrund gleiche Farbe*
while gray levels of objects and background are similar
- Structured illumination:
outline and features of 3D objects are measured

Klasseaufgabe: 3-D-Aufzeichnung aufzeichnen + für welche Anwendung besonders geeignet



Shade:

Structured: Messung von 3D-Objekten → Coded Structured Light

30.) Welche Lichtquellen gibt es mit welchen Eigenschaften + Kompensation negativer Eigenschaften?

Leuchtstoffröhre:

Quecksilberdampf wird zur Emission von Lichtemissionen angeregt (UV-Licht) und auf Innenseite Beschichtung, welche durch UV-Licht fluoresziert → wandelt als UV-Licht für Menschen sichtbares Licht um

Fluorescent tube

100% Schwingung der Helligkeit

bright, homogeneous light, brightness oscillates by 100 Hz

→ HF power supply unit, sync, 3 phase (Synchronie gegen Oszillation)

↳ Menschen können nicht das spüren

Halogen bulb

NT: Helligkeitsschwankungen, Behebung: höhere Frequenz, Synchronisation oder 3 Phasen

Halogenlampe:

Wolframdraht wird erhitzt und emittiert Licht = Temp.-Strahler; liefert ein kontinuierliches Spektrum

Halogen bulb

↳ Menschen können nicht das spüren

powered by controlled DC → precise metrology (Sehr genau dosieren)

using IR/vis.-reflectors – just visible light goes to object } IR-Licht geht direkt auf den

→ no extra heat → "cold light source" (Kaltlichtquelle) } Leitfaden zu Objekt → Objekt

noch nicht viele freien

Light emitting diode LED

Sehr genaue Einstellung, aber viel Wärme! → IR-Licht muss kompensiert werden durch Filter und nur IR-Licht ausgefiltert und restliches Licht über Lichtleiter zu Objekt => keine Wärme!

LED:

Diode, was Licht emittiert, gut für Impulse, Variation von Wellenlänge

Light emitting diode LED

high life cycle (15,000 h – 30,000 h); short pulses; IR-LED

Laser: monochromatisches Licht, der geom. Parallel geführt wird

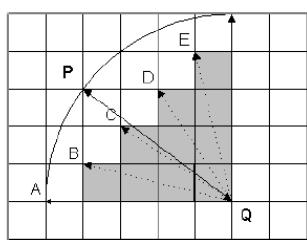
LASER

structured light; mostly red

31.) Diskrete Koordinatenabstand Methoden + Unterschiede + Formeln:

- Distances

Welche Arten von Entfernung + Tabelle



② Nur für Strecke lösbar → Strecken ungenauer Angaben

→ 1-2 Radarsysteme lösbar
→ schneller

Jeweils o. Pg. Kategorien

Euclidean distance

$$D_{\text{Euclid}}(P, Q) = \sqrt{(Q_x - P_x)^2 + (Q_y - P_y)^2}$$

D...const. => circle Q -> P

~20 Radarzyhlen lösbar

Block-Manhattan-distance

$$D_{\text{block}} = |Q_x - P_x| + |Q_y - P_y|$$

D...const. => stairs Q -> A, B, C, ...

1 Abstand in x-Richtung + 1 Abstand in y-Richtung

Chess board-distance

$$D_{\text{chess}} = \max(|Q_x - P_x|, |Q_y - P_y|)$$

Euclid → sehr genau aber langsam + rechenintensiv

Anderen Beiden → schneller, ungenauer ab reicht meist für statistische Methoden

32.) Diskrete Koordinaten Nachbar: (Eigenschaften + Unterschied)

- Adjacency (Connectivity)

2 Definition:

Zentraler Punkt \rightarrow 1 Objekt, wenn
gerne zwei Edelpunkt vorhanden
Bsp. oben \rightarrow 1 Objekt

(X-1,Y+1)	(X,Y+1)	(X+1,Y+1)
(X-1,Y)	(X,Y)	(X+1,Y)
(X-1,Y-1)	(X,Y-1)	(X+1,Y-1)

Connectivity 8
8er Nachbarschaft

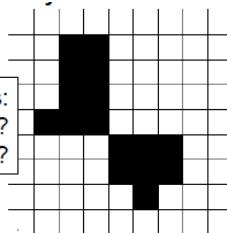
Both black regions:
 beide
 einer
 viele
 Or two objects?

Nur eins ist Nachbar, was gemeinsam

Kante hat
Bsp. oben \rightarrow 2 Obj.

(X,Y+1)
(X,Y)
(X,Y-1)

Connectivity 4



8er Nb: Müssen sich nur Eckpunkt teilen; 4er Nb: Müssen sich Kante teilen

Einteilung, wann welche verwendet wird kann selbst getroffen werden bzw. muss festgelegt werden!
(z.B. 4er Nb: wenn die Trennung von Objekten sehr wichtig ist, Bsp. Bild von Blut \Rightarrow Unterscheidung roter Blutkörperchen für Zählung \Rightarrow 4er NB = strengere Regel)

33.) Welche Klassen von Operatoren gibt es?

- Geometrische: Transaltion, Rotation
- Lokale, Homogene: Look-Up table, Kantenfilter, Filter, etc...
- Globale: Fourier-Transformation

34.) Geometrische Operatoren

Affine mapping

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}$$

Translation

shifting in X- resp. Y-direction
 \rightarrow neue Verschiebung

Rotation, scaling

twisting resp. stretching
 \rightarrow Verzerrung

Frage \rightarrow Problem? Grauwerte bei Schrägen?
 \rightarrow Verzerrung

Problem: One pixel will be mapped to several pixels in the transformed image

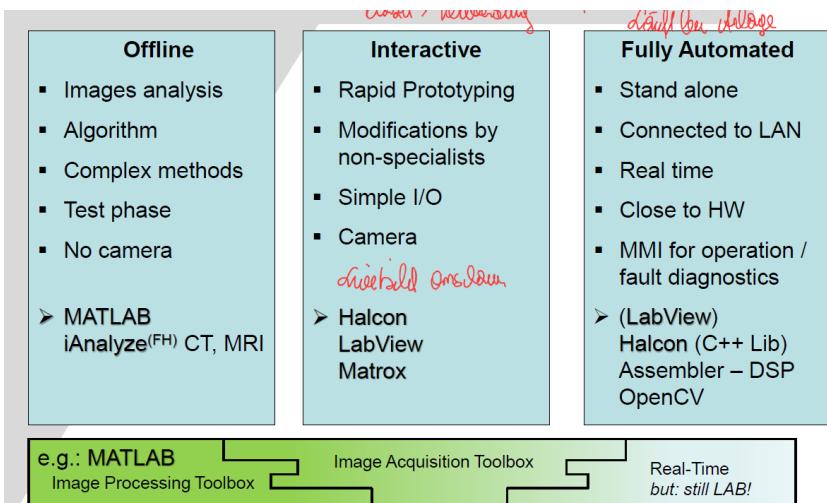
Original Transformed

Leads to misinterpretation of features of the objects (place, size, orientation).

Probleme: wie soll mit Graustufen bei Schrägen umgegangen werden \rightarrow Verzerrung/ Stufenmuster entsteht

35.) Welche Softwarekategorien gibt es?

Bsp. auflisten + welche Software gibt es + Erklärung



36.) Welche Methoden zur Bildbearbeitung gibt es?

- Segmentation
- Morphology
- Filter

37.) Segmentation

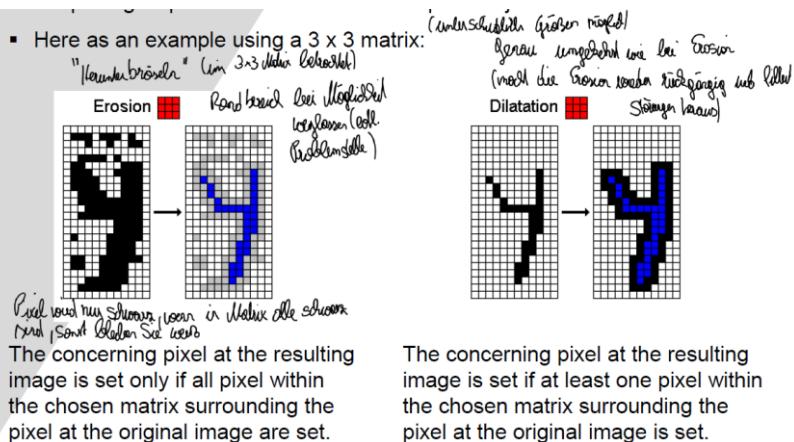
Filterung mittels Schwellenwerten (= Threshold) = Binärfilterung

Definition by threshold - Binary image
Interested object is either black or white → Toleranz Grenzwert (= Binärschwellen)
Problem: Information Lücken erhalten gehen → mögliche Fehler



38.) Morphologie

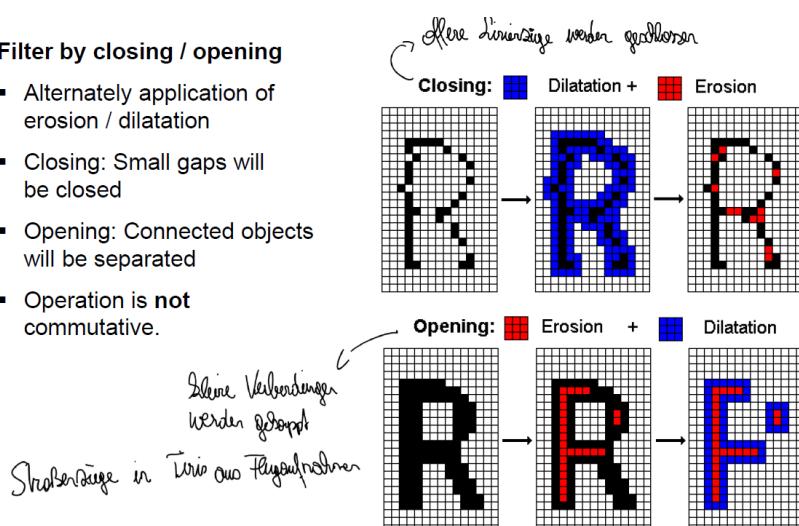
Gibt Erosion und Dilatation, Beseitigung von Störungen oder Schließen von Objekten:



Diese werden dann zusammengefasst zu Closing und Opening:

Filter by closing / opening

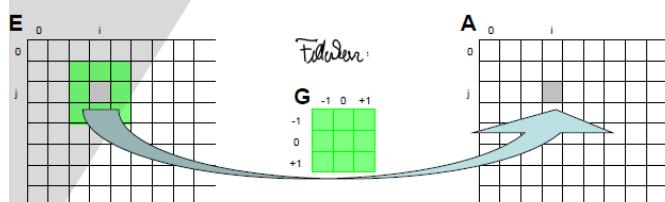
- Alternately application of erosion / dilatation
- Closing: Small gaps will be closed
- Opening: Connected objects will be separated
- Operation is **not** commutative.



39.) Faltungsfilter

Pixelgröße wird festgelegt und dann mittels Faltungskern darübergelegt, Vorteile: gleiche Mathematik egal welcher Filterkern

Convolution (e.g. $G[3 \times 3]$) ergibt im Prinzip den Mittelwert der Matrix
 $A_{i,j}$ -pixel gets the summation of $E_{i,j}$ -pixel within neighborhood by weighting factors G



$$\text{"Faltungskern"} \rightarrow \text{einen gleich nur Pausende Zeilen füllt}$$

40.) Filterkerne der Filter (müssen bekannt werden)

Convolution filter kernels

- Same algorithm – different weighting factors – different results

Meanfilter – smoothing:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Glättung, je stärker Kern
umso mehr
Tiefpassfilter

Prewitt – edge extracting:

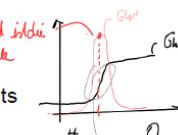
$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

extracting edges vertical (vertikal nach rechts)
Grauwert Kontrast
vertikale Kontrast

Gauss:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

smoothing overall – attenuating details



Laplace – contour extracting:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Orientierung unabhängig
Markiert eine Bereichs-Felder
• Texter im Hintergrund sind da
• dunkle Kontrast → da Gradient sehr hoch sein

für Bsp. siehe Matlab

→ Examples in Matlab (ConvFilterMatlab.zip)

41.) Welche Arten von 3D-Vision gibt es:

Stereography (= parallax method) *Stereoskopie*

Terms

Estimation of resolution in depth

Coded Structured Light - Triangulation

Time of Flight - TOF

\rightarrow Entfernung muss bekannt sein

Messgenauigkeit: $\frac{1}{100} \cdot \text{Größe für Abstand}$

42.) Stereoscopy

- Man braucht 2 Kameras (auch bewegliche Objekte möglich => Synchronisation beider Kameras notwendig)
- Struktur muss auf Bilder vorhanden sein sonst Mehrdeutigkeiten => Probleme

4 Stufen:

2 Kameras nötig

Stereography

▪ Steps for evaluation the depth:

1. Define a structure element at the first image (*Strukturelement im linken Kamerafeld definiert*)
2. Detect the concerning structure element within the other image
 - Template matching (detection of similar image regions)
 - Correlation of gray levels within one line
 - Single spots: Detection of the COG (center of gravity (*Flächen-schwerpunkt*)) within both images (*Strukturelement rechts suchen*)
3. Detect the disparity (displacement of one object within the two images)
4. Evaluate the distance to the object by means of the geometrical data (focal distance, baseline, size of pixel, angle of detection, disparity).

Berechnung:

Stereography

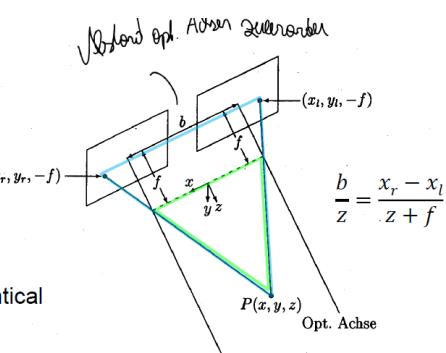
▪ Standard geometry:

Pinhole camera model

f ... focal distance

b ... base line

- Both imaging planes are identical
- Both optical axis are parallel
- Lines of the stereo images are parallel to the base line



$$\frac{b}{z} = \frac{x_r - x_l}{f}$$

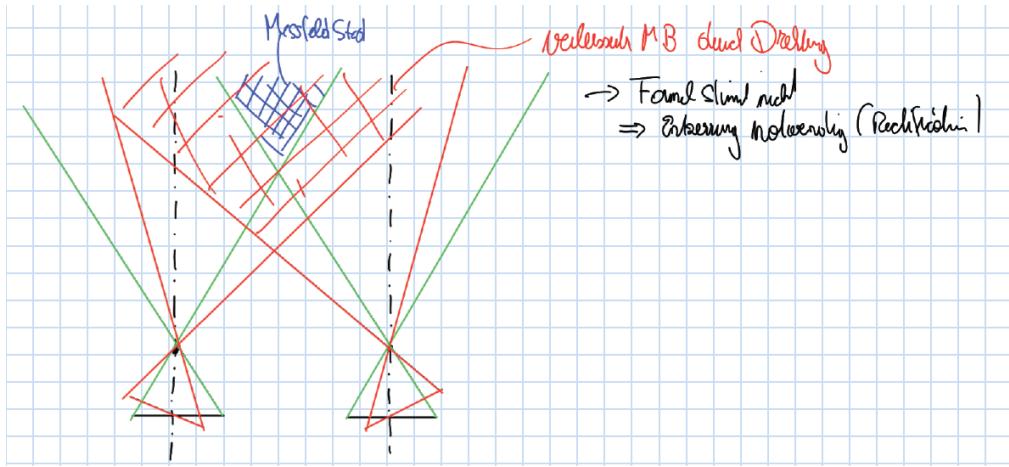
Absatz kann berechnet werden:

$$z = \frac{-b \cdot f}{b + x_l - x_r}$$

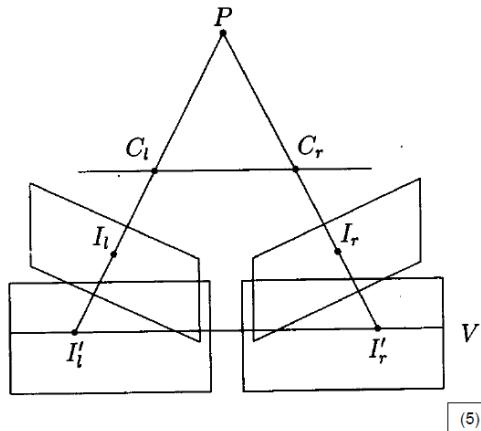
(5)

43.) Probleme?

Eingeschränktes Messfeld \rightarrow Drehung der Kameras => Formel oben nicht mehr gültig \rightarrow Entzerrung notwendig (Rectification „virtuelles Ausdrehen“)



Projection of the image planes I to the virtual plane V



44.) Epipolar Geometrie

Epipolar geometry:

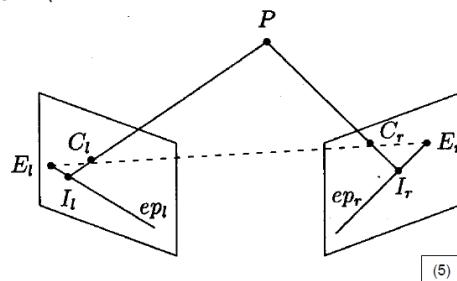
Klausur Bezugswinkel

Powerful restriction for possible object relations → huge reduction in computing time

Point P moves at ray $PC_l \rightarrow$ remains at the same image point I_l at the left image \rightarrow moves at the line $E_r I_r$ at the right image

Detecting disparity the line ep only has to be followed

Erleichtert Suchraumgrenzen in 2nd Kamera



[Epipolar geometry – Wikipedia](#)

45.) Abschätzung Tiefenschärfe bei Stereographie?

Estimation of the depth resolution:

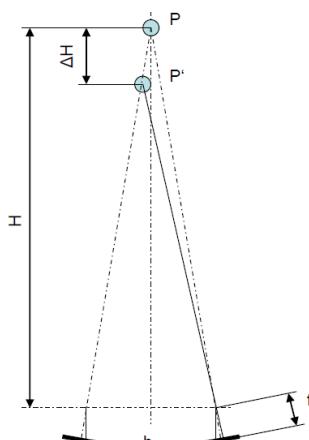
The depth resolution is the minimal distance ΔH which a point has to move in the direction of the beam of one camera to cause a shifting at the other camera by the pixel distance P_x .

Wos Auf sich in der rechten Kamera, wenn P_x vorkommt?

$$\Delta H = \frac{P_x \cdot H^2}{f \cdot b}$$

\rightarrow je weiter weg desto ungenauer ist Stereoscopy
Precondition: $b \ll H$, $P_x \ll f$, and $\Delta H \ll H$. (also $\Delta H \ll b$)

$\Delta H \Rightarrow$ dann erhältlich werden, wie lange dann man fahren, bis sich in 2nd Kamera 1 Pixel die Position unterscheidet



46.) Rechenbeispiel zur Tiefenschärfe bei Stereografie

	Distance to the object	Baseline	Focal distance	Size of Pixel	Depth resolution
Stereoscopically measuring device	10 m	100 mm	60 mm	5.6 μm	0.1 m
Human eye	10 m	65 mm	20 mm	3 μm	0.23 m
Astronomy	300 Ly	300e6 km	20 m	1 μm	142 Ly

47.) Wichtige Begriffe in der Stereografie?

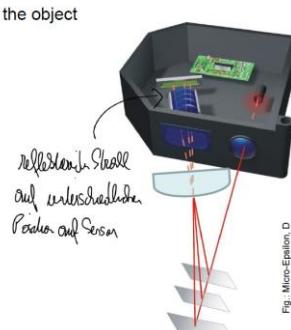
- Pinhole camera model
- Baseline
- Standard geometry
- Disparity
- Rectification of the real geometry
- Epipolar geometry
- Depth resolution. → Reden bsp. möglich

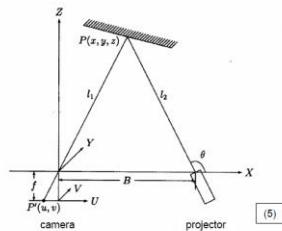
K

48.) Kodierter Lichtansatz:

- Projection of beams of light – point at the object
- Projection of planes of light – line at the object
- Coded structured light
- Projection binary pattern
- Triangulation using two cameras
- Calibration.

1-dimensional über Punkt

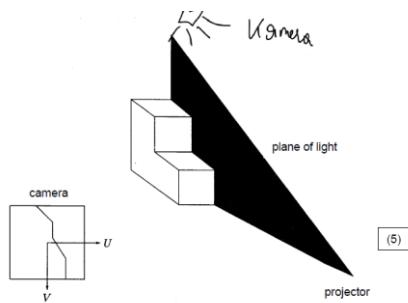




- Capturing the point of light at the object
 - by means of a line scan camera (up to 8096 pixel) or
 - by means of a PSD (position sensitive device) – each ms a value
- Generation of images by scanning the object in x- and y-direction.

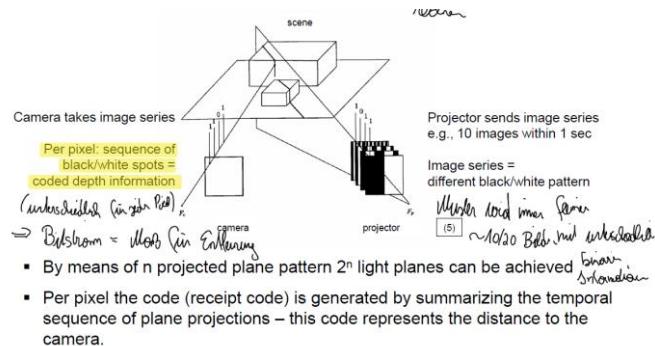
Gibt auch Lichtschnittverfahren:

Ebene/ Strich wird projiziert und von oben betrachtet → Gerade Linie wird versetzt:

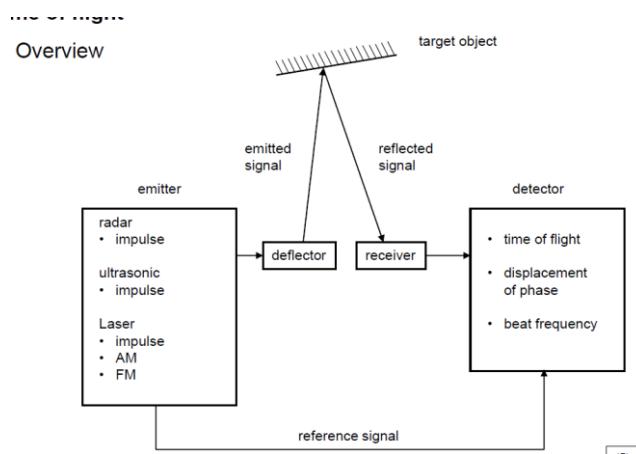


- Light sectioning method (*Lichtschnittverfahren*)
- Generation of images by scanning the object cross the light sectioning plane respectively.

Gibt noch Triangulation: (braucht Zeit zum Rechnen!)



49.) Laufzeitmessung TOF



Allgemein + Auflösung im Standard:

Collimating ability (*Bündelungsfähigkeit*)

Speed of propagation (*Ausbreitungsgeschwindigkeit*)

Reflection property by the target object

Flare angle (*Öffnungswinkel des Strahls*) determines lateral resolution
durch den Winkel, der zu einem Punkt

Time resolution of the electronics (detection time of flight)

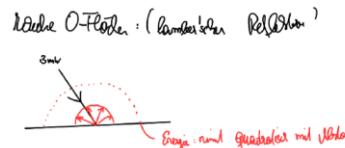
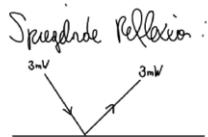
determines depth resolution:

- e.g. sonic: $v = 330 \text{ m/s}$ $\rightarrow 1 \text{ cm depth} \rightarrow 60 \mu\text{s time resolution}$
- e.g. light: $v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ $\rightarrow 1 \text{ cm depth} \rightarrow 67 \text{ ps time resolution.}$

\nearrow
 \approx Grenze des Möglichen

nur Distanzmessung nicht unter 1 cm möglich \rightarrow Amplitudenmodulation

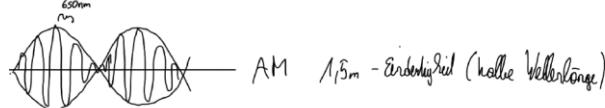
- Radar
- Ultrasonic sensor
- Laser sensor.



Laser-Emitter: Durch Empfänger und Receiver \rightarrow Signal überlagert und durch Interferenz Abstand ermittelt \rightarrow Problem nur relative Änderung kann registriert werden (als Änderungen im Bereich einer halben Wellenlänge) \rightarrow Behebung durch Amplitudenmanipulation:

Time of flight – Amplitude modulation

- No Laser pulse but continuous Laser
- Light power is modulated sinusoidally by a frequency f_{AM}
- Displacement of phase of the transmitted and received signal is measured
- Range of unambiguousness (*Eindeutigkeitsbereich der Distanz*) half the wavelength of f_{AM}
- Example: $f_{AM} = 17.75 \text{ MHz}$ \rightarrow Range of unambiguousness 8.45 m; determination of the displacement of phase by 12 bit \rightarrow resolution of depth 2.0 mm; capturing takes seconds.



AM 1.5 m - Erreichbarkeit (halbe Wellenlänge)

3 m Durch mehrere Frequenzen \rightarrow keine Nullstreuung möglich

Time of flight – Frequency modulation

- Light power is modulated triangular or sinusoidally by frequency f_{FM}
- The frequency of the reflected signal differs from the frequency of the actual transmitted signal – beat frequency Δf by heterodyne (*Schwebungsfrequenz durch Überlagerung*)
- To avoid the exact detection of the frequencies f_{FM} and Δf reference signals are taken.

Über Schwebungsfrequenz \rightarrow doppelt (aber nicht so gut wie Amplitudenmodulation)

Restliche Fragen sind zu projektiven Geometrie! (PDF-Datei!)

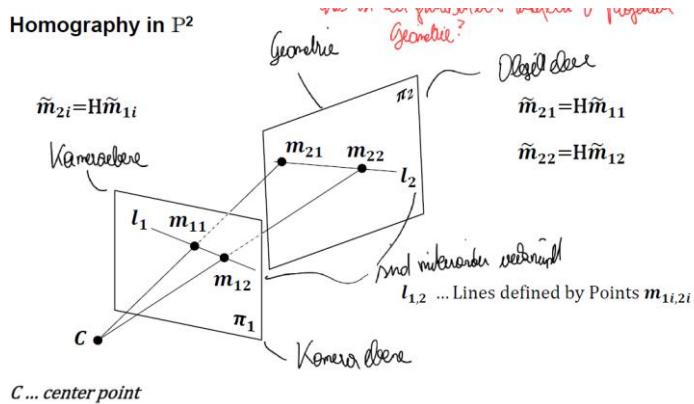
50.) Welche Messart ist am besten geeignet?

Geometrie Kotflügel → kodierte Lichtansatz (besitzt keine Strukturelemente)

Drohne Topografie → Stereoskopie

51.) Wie ist der grundsätzliche Aufbau der projektiven Geometrie?

Homography in P^2

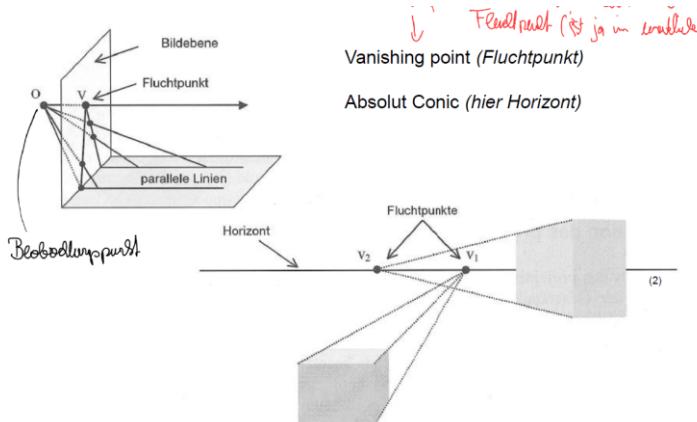


C ... center point

$$\tilde{l}_2 = \tilde{m}_{21} \times \tilde{m}_{22} = H\tilde{m}_{11} \times H\tilde{m}_{12} = H^*(\tilde{m}_{11} \times \tilde{m}_{12}) = \det(H) H^{-T} \tilde{l}_1$$

$$\tilde{l}_2 = H^{-T} \tilde{l}_1$$

52.) Was ist der Fluchtpunkt und was der Horizont?



Fluchtpunkt = Punkt in dem sich Linien schneiden in der Perspektive, was in der Realität aber parallel wären

53.) Hierarchie der Transformationen?

Euclidean → Affine → Projective

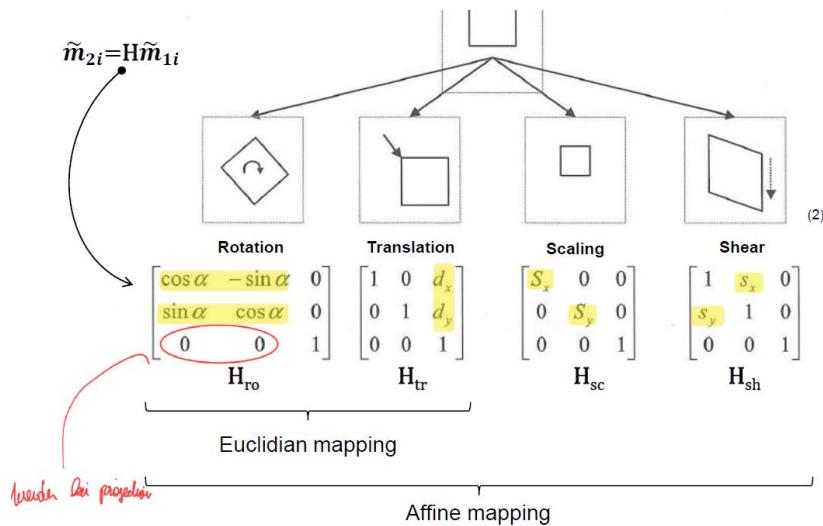
Euclidean: Coordinate transformation, Rot + Trans

Affine: Additionally scaling / shearing of the image contain

Projective: additionally tilt of the image plane

Transformationen	Matrix	Freiheitsgrade 2-D	Freiheitsgrade 3-D
Euklidisch	$\begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$	3 (x, y, w)	6
Affin	$\begin{bmatrix} A & b \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$	6	12
Projektiv	$\begin{bmatrix} A & b \\ v^T & v \end{bmatrix}$	8	15

→ Parallelversatz



54.) Kalibrierung der Kamera?



Pinhole camera model

- External transformation
- Perspective transformation
- Internal transformation

Externe: Weltkoordinaten, Stativ

Abbildung/ Perspektive: Brennweite

Interne: Pixelgröße, Lage der opt. Achse....

55.) Fragen zum Paper

- Ergebnis: erfolgreiche Kalibrierung der Kamera (sowie ein Vorschlag, wie diese Kalibrierung durchgeführt werden kann) + statistische Methode für Extraktion der Daten aus dem Lichtschnitt wurde gemacht → sowie Anpassung und Nachbesserung der Messdaten; bei gemessenen Beispiel ergab die Messung eine Streuung von 4.17 µm bei der Messung
- Komponenten: Kamera + Laser + Messobjekt (Stativ)
- Welche Methoden: perspektivische Projektion mit Lichtschnittverfahren und der perspektivischen Korrektion der 3d Lichtschnitt-verfahren; des Weiteren werden die Messdaten mittels eines linearen Systems homographischer Daten gelöst unter der Verwendung von der Singulärwertzerlegung und der Methode der kleinsten Fehlerquadrate
- Vorgehensweise:
 - Kalibrierung des Messkopfes über eine Kalibriervorrichtung, wo mehrere Ebenen mit Messpunkten vermessen und berechnet werden → affinen Koordinaten des pixelbasierten Lichtschnittprofils
 - Teile sollen sich mit der Laserebene des Messkopfes überschneiden, durch Berechnung des COG des aufgenommenen Profils → pixelbasierte Repräsentation der Eckenregion
 - Affines Lichtschnittdarstellung berechnen und Profil „smoothen“
 - Data-Segmentation ausführen um essentielle Daten zu erhalten
 - Fitten der extrahierten Daten mit der kleinsten Fehlerquadrate