



Digitale Objekterfassung

Digital object acquisition/ digital object recording

Modul 3 / WS 1. Fachsemester

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

Kontakt: Mona.Hess@uni-bamberg.de

Twitter: [@Mona3Dimaging](https://twitter.com/Mona3Dimaging)

Heutiger Tagesablauf

- 9:00 – 9:30 Anne Karl plant das Tutorium mit Ihnen, kurze Absprache zu Prüfungen (wann in den Semesterferien möchten Sie/ könnten Sie Prüfungen schreiben)
- 9:30 – 11:00 Vorlesung mit Pause
- 11:00 - 11:30 Ansehen der Ergebnisse von Geoslam
- 11:00 - 12:00 Pause
- 12:30 – 13:30 Anna Luib (Bauforschung KDWT) – Thermal Infrarot Kamera Bildgebende Verfahren

Bildgebende Verfahren

Inhalte dieser Vorlesung

- Einführung in bildgebende Verfahren
- Wellenoptik
- Optische Abbildung
- Abbildungsfehler
- ameratechnik und Sensoren
- Aufnahmesysteme
- Einführung in Thermographie
- Nachmittag - Gastvortrag Anna Luib

Einführung

Warum brauchen wir fotografische Grundlagen?

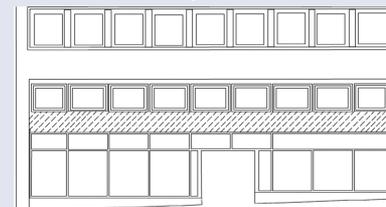
- Fotografische Bilder – Grundlage zur
 - 2D Modellierung (Zeichnungen)
 - 3D Modellierung (SfM)
- Informationen
 - Oberflächeneigenschaften
 - Farbe
 - Intensität/Graustufen
 - Proportionen



Originalbild



Entzerrtes Bild



Aus Entzerrung abgeleiteter Fassade



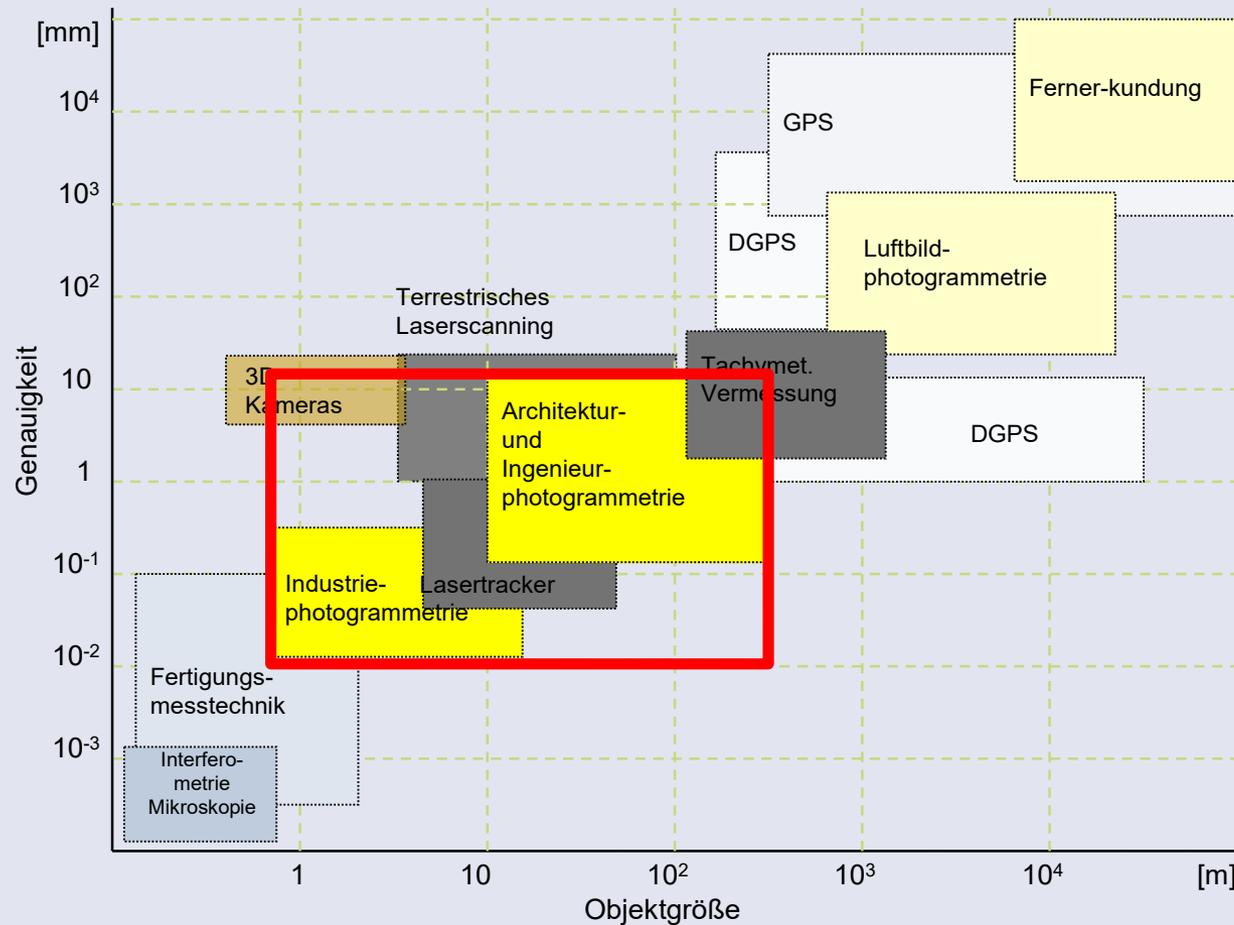
Entzerrung mit überlagelter Zeichnung



Physikalische Grundlagen: Elektromagnetische Strahlung

Strahlung	Wellenlänge	Sensoren	Anwendungen
Röntgen	10 pm – 1 nm	Röntgengerät	Medizinische Diagnostik, Materialprüfung
Ultraviolett (schwach)	200 nm – 380 nm		Fernerkundung, UV-Reflektographie
Sichtbares Licht	380 nm – 780 nm	CCD, CMOS, Film	Photogrammetrie, Fernerkundung,
Nahes Infrarot 1	780 nm – 1.1 µm	CCD, CMOS, Film	Photogrammetrie, Fernerkundung, IR-Reflektographie
Nahes Infrarot 2	1.1 µm – 2.5 µm		Fernerkundung
Mittleres Infrarot	2.5 µm – 50 µm	Thermalkamera	Thermographie, Materialprüfung, Bauwesen, Fernerkundung
Mikrowellen	1 cm – 10 cm	Radaranenne	Radargrammetrie, Fernerkundung

Genauigkeit von 3D-Messverfahren

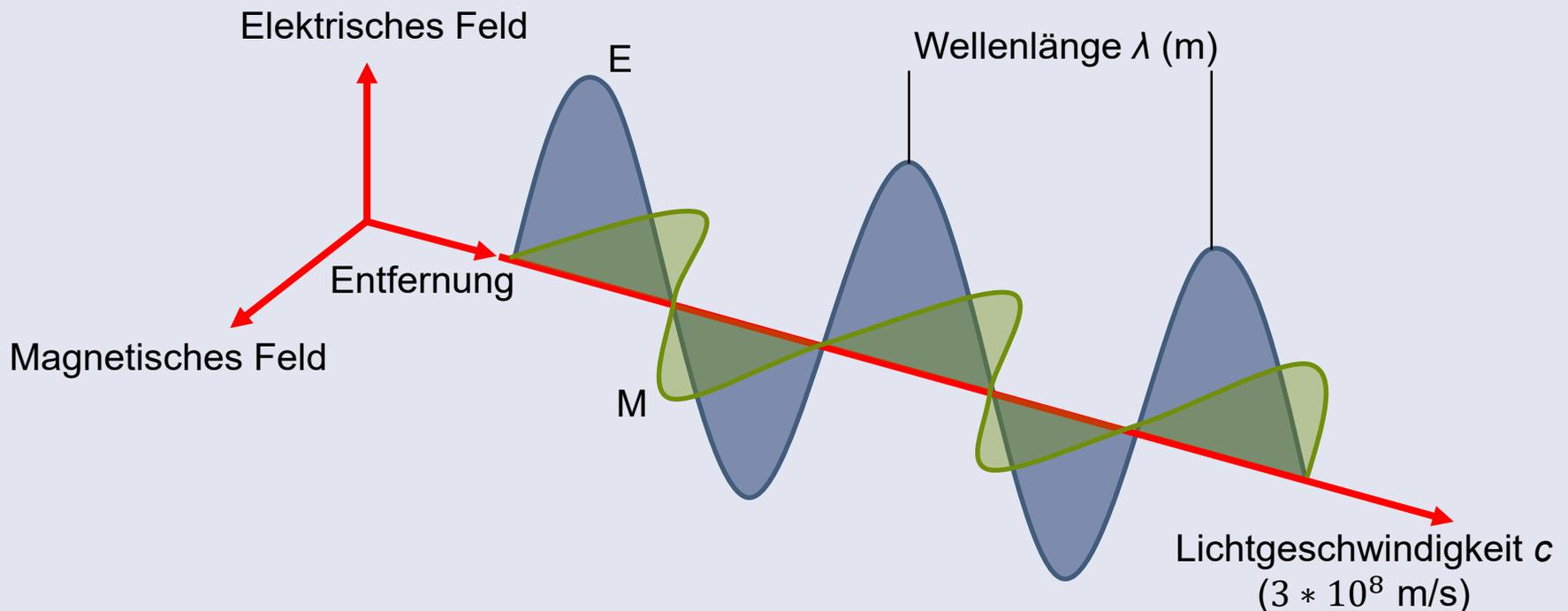


messverf1.ppt

Physikalische Grundlagen der Wellenoptik

Elektromagnetische Wellen

- Licht – elektromagnetische Welle



Strahlungsenergie

- Quantentheorie: Strahlung besteht aus Energiequanten (Photonen)
- Für eine Wellenlänge gilt:

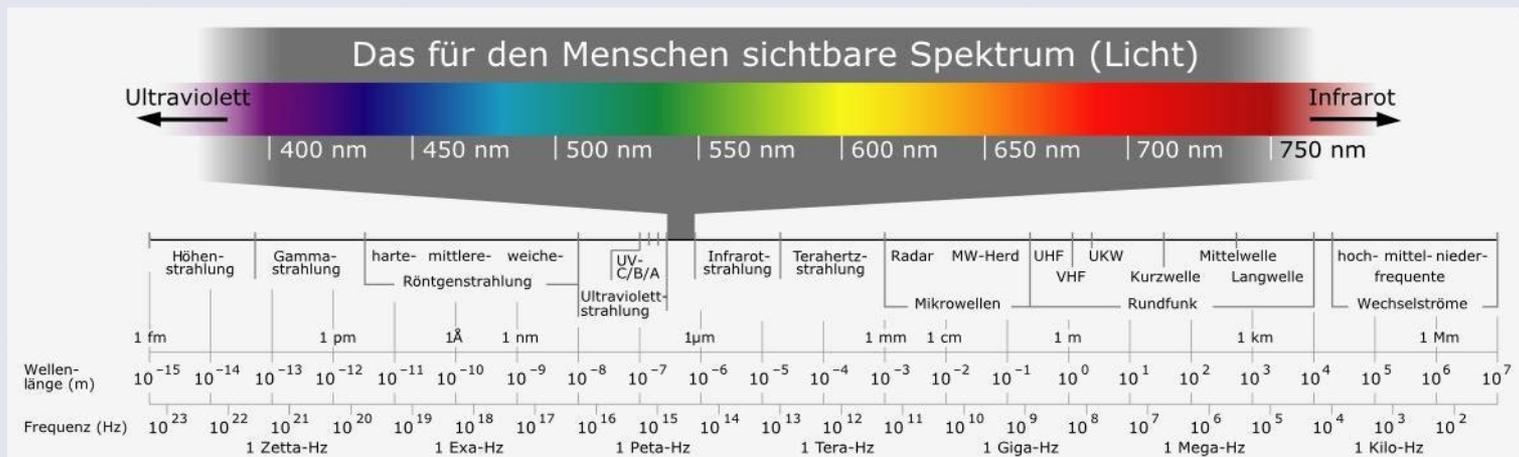
$$E = h * \frac{c}{\lambda}$$

h - Plancksches Wirkungsquantum ($6,62 * 10^{-34}$ Js)

λ - Wellenlänge

c - Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht

- Wellenlänge $\lambda \uparrow \rightarrow$ Energie $E_{Photon} \downarrow$
 - Höchste Energie – Gamma-Strahlung
 - Niedrigste Energie – Radiowellen



Eigenschaften des elektromagnetischen Spektrums

- Jeder Körper mit Temperatur T ($T > -273,15$ °C) ist die Quelle einer elektromagnetischen Strahlung
- Körper absorbiert und emittiert elektromagnetische Strahlung
- **Schwarzkörper**: absorbiert (und emittiert) 100% die Strahlung jeder Wellenlänge/Intensität, die ihrer Eigentemperatur entspricht
 - Absorptionsvermögen (a) = 1
 - Sendet elektromagnetische Strahlung als Wärmestrahlung
 - unabhängig von Oberfläche
 - unabhängig von Beschaffenheit
 - abhängig von seiner Temperatur
 - idealisierte thermische Strahlungsquelle (existiert nicht in der Natur)
 - Ähnliche Objekte in der Natur: Ruß (0,99), Platin Niello
- **Reale Körper**: Absorptionsvermögen < 1 (wirft von der auftreffenden Energie ca. 80-98% zurück)



Abbildung: <http://bg.cnalloys.com>

Strahlungsleistungsgesetze

- **Strahlungsleistung** - Energiemenge, die pro Zeitspanne t von elektromagnetischen Wellen transportiert wird
- **Kirchhofsches Strahlungsgesetz**: beschreibt Absorption/Emission des Körpers im thermischen Gleichgewicht bei gegebener Wellenlänge

$$P = P_s * a$$

P - Strahlungsleistung

P_s - Strahlungsleistung eines schwarzen Strahlers mit der gleichen Temperatur

a - Absorptionsvermögen des Körpers

- **Plancksches Strahlungsgesetz** : beschreibt elektromagnetische Energie der Wärmestrahlung eines Schwarzkörpers relativ zur Wellenlänge/Frequenz der Strahlung
- Strahlungsleistung einer Strahlungsquelle hängt von
 - Wellenlänge
 - Temperatur

Was passiert mit der Energie weiter?

- Energie der auftreffenden Strahlung $E_I(\lambda)$

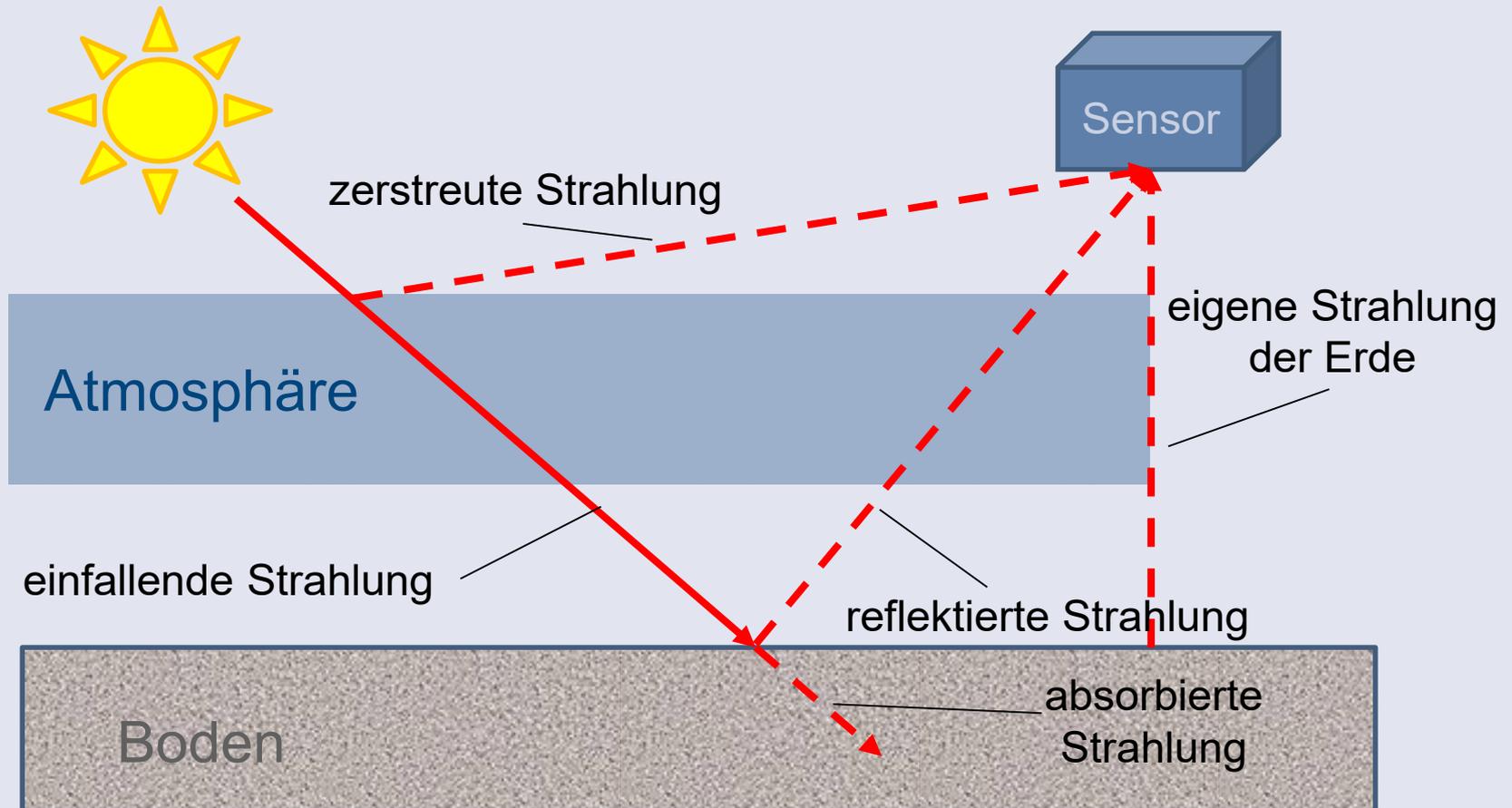
- Reflexion ($E_R(\lambda)$) - Zurückwerfen von Wellen
- Absorption ($E_A(\lambda)$) – Aufnehmen von Wellen
- Transmission ($E_T(\lambda)$) – Durchgang von Wellen

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

- Auf der Erde: Streuung in der Atmosphäre

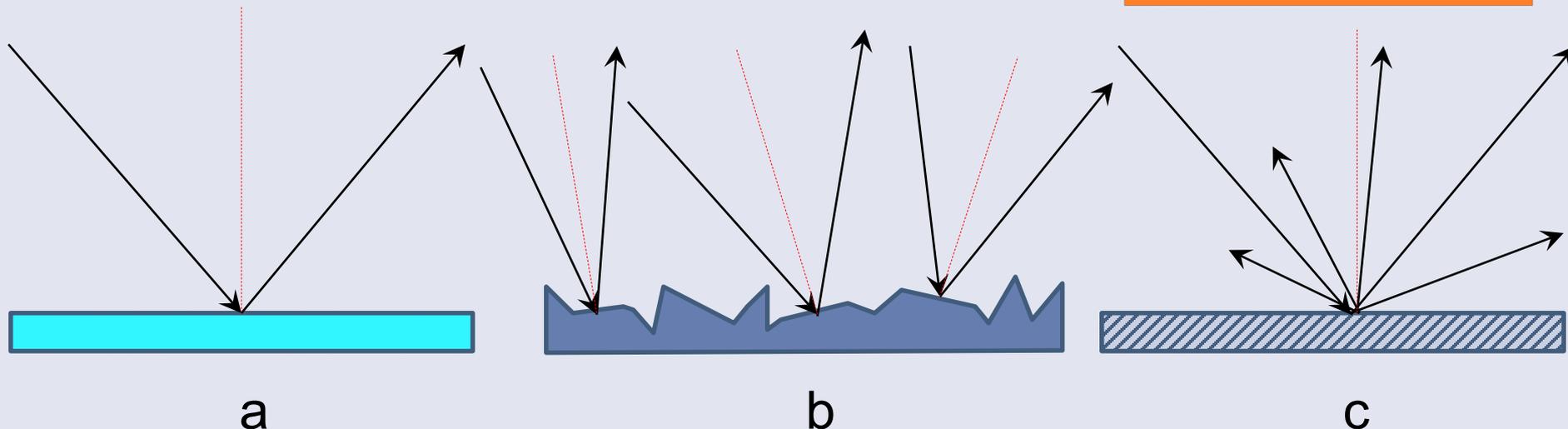
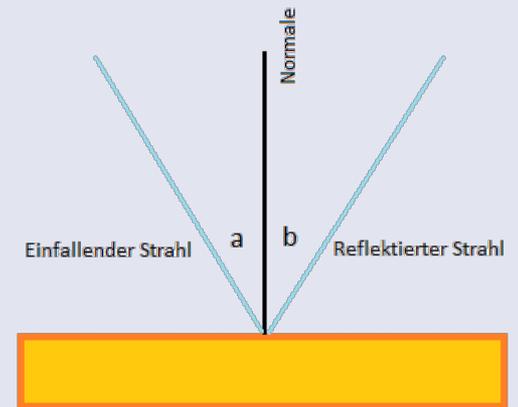
- **Rayleigh-Streuung** (bei Zusammenwirkung mit Teilchen $<$ als die Wellenlänge - N_2, O_2)
- **Mie-Streuung** (bei Zusammenwirkung mit Teilchen \approx zur Wellenlänge - H_2O , Aerosol)
- **Nicht-selektive Streuung** (bei Zusammenwirkung mit Teilchen $>$ als die Wellenlänge - H_2O)

Strahlung und Atmosphäre



Reflexion

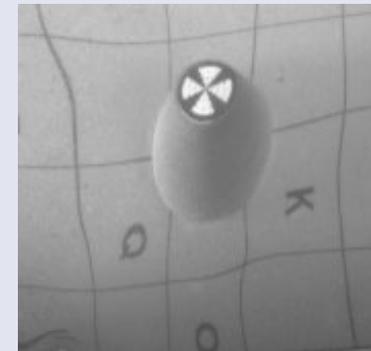
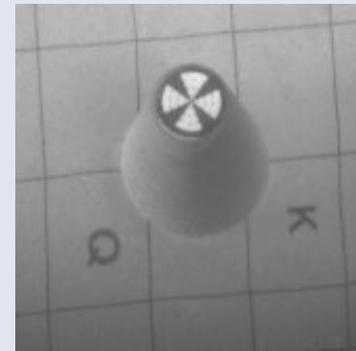
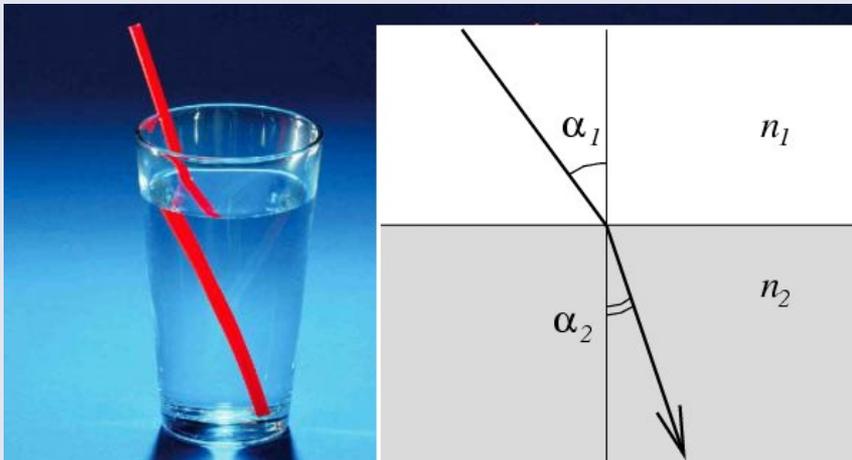
- **Reflexion** - Zurückwerfen von Wellen an einer Grenzfläche, an der sich der Wellenwiderstand oder der Brechungsindex des Ausbreitungsmediums ändert.
 - Spiegelreflexion (a)
 - Diffuse Reflexion (b)
 - Diffuse Reflexion mit Spiegelung (c)



Brechung

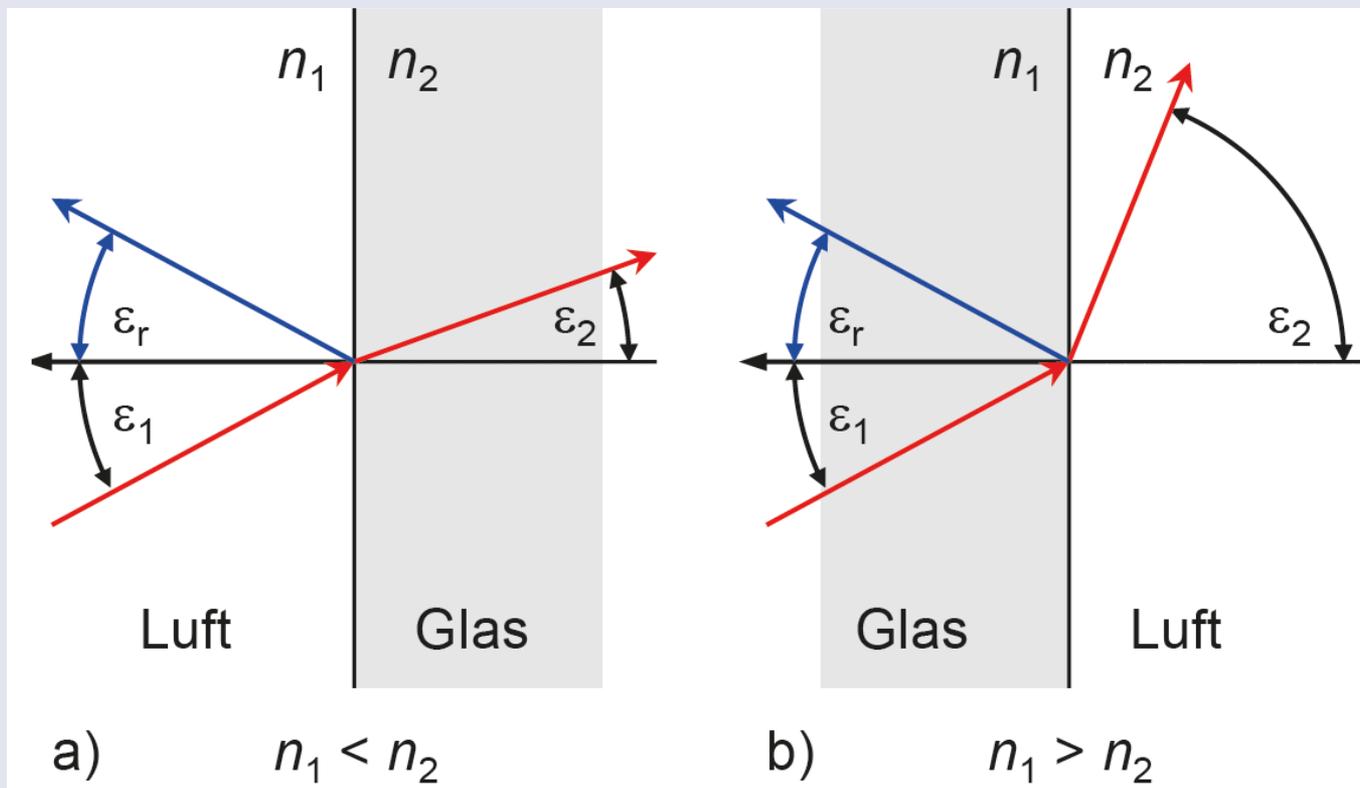
- **Brechung** - Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Welle durch eine räumlichen Änderung des Mediums
- **Brechzahl (n)** - Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Licht in zwei verschiedenen Medien

$$n = \frac{c_1}{c_2}$$



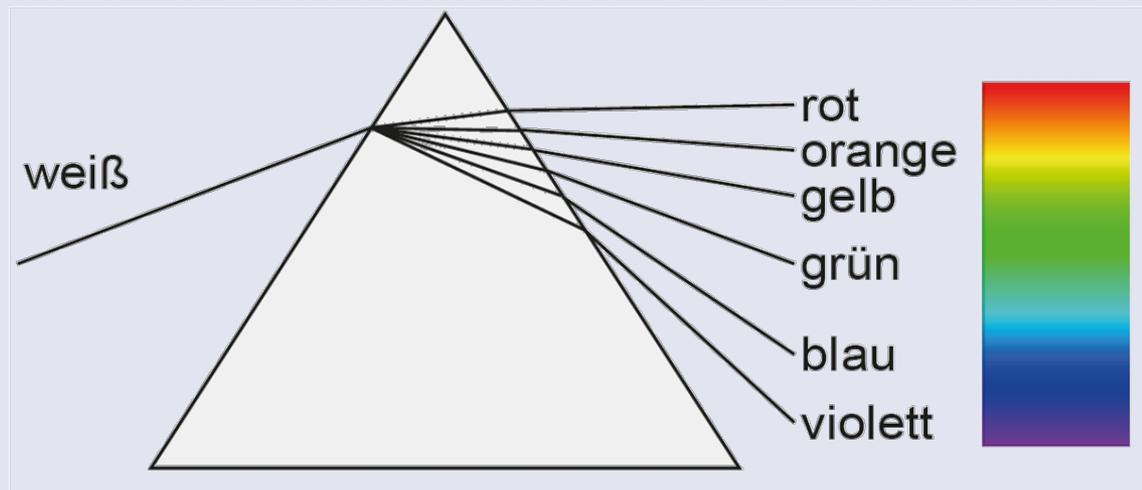
Brechungseffekte bei einer Aufnahme durch Wasser

Brechung und Reflexion



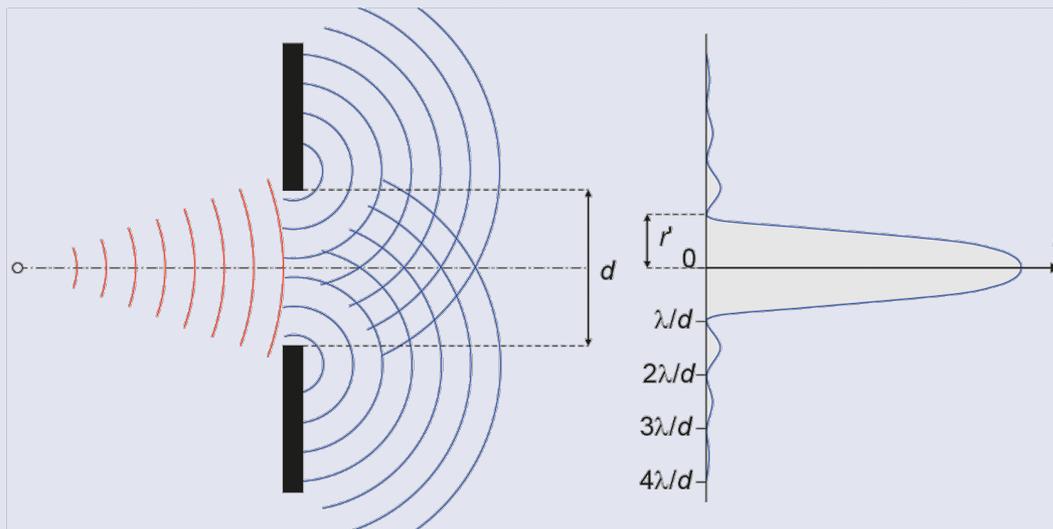
Dispersion

- **Weißes Licht** (sichtbares Licht) - Menge von Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen
- **Dispersion** - Zerlegung des weißen Lichtes in monochrome Komponente (Komponente mit gleicher Wellenlänge)



Beugung

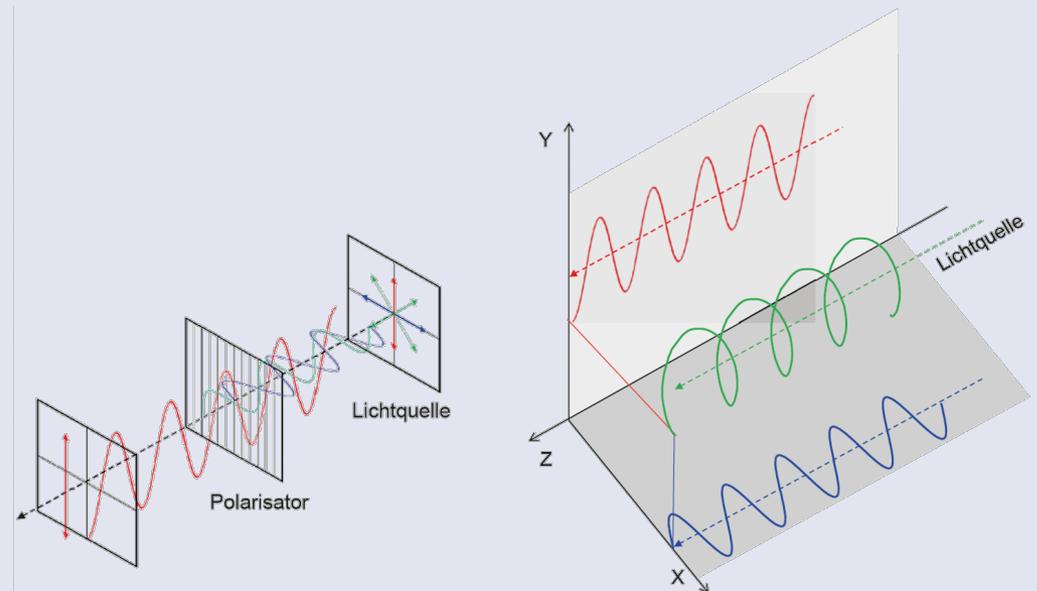
- **Beugung** – Ablenkung von Lichtwellen an einem Hindernis
- Folge: Überlagerung von Wellen (Intensitätsmaxima und -minima)
- In Photographie passiert beim Durchgang durch einen Spalt oder eine Lochblende



d – Spaltgröße
 λ – Wellenlänge
 I – Intensität

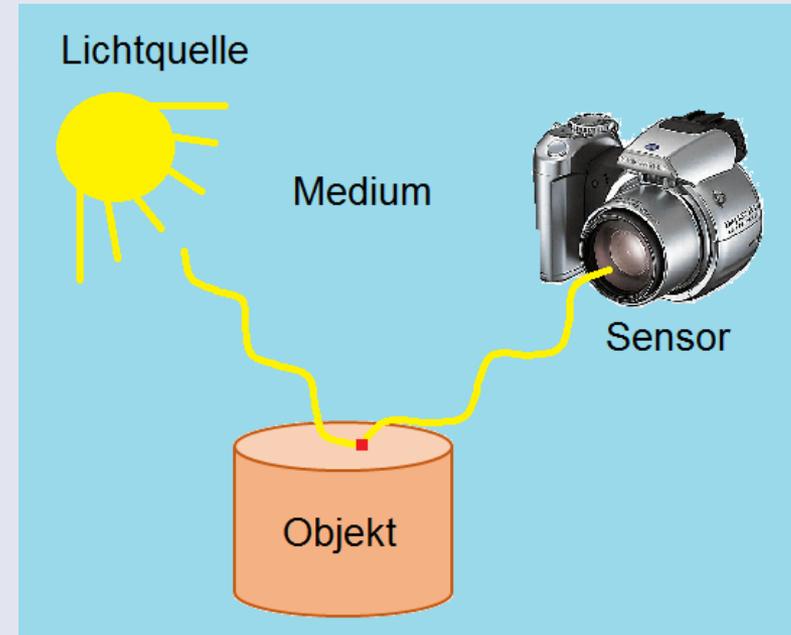
Polarisation

- Natürliches Licht – Transversalwelle (Schwingung \perp Ausbreitung):
- viele Schwingungsrichtungen mit
 - ungeordneten Amplituden
 - Phasenlagen
- Polarisierung – Ausbreitung in einer Richtung
 - Licht \rightarrow Polarisator (durchlässige Schicht aus parallel orientierten Makromolekülen)
 - Ergebnis: Sinusschwingung mit gleicher Phasenlage



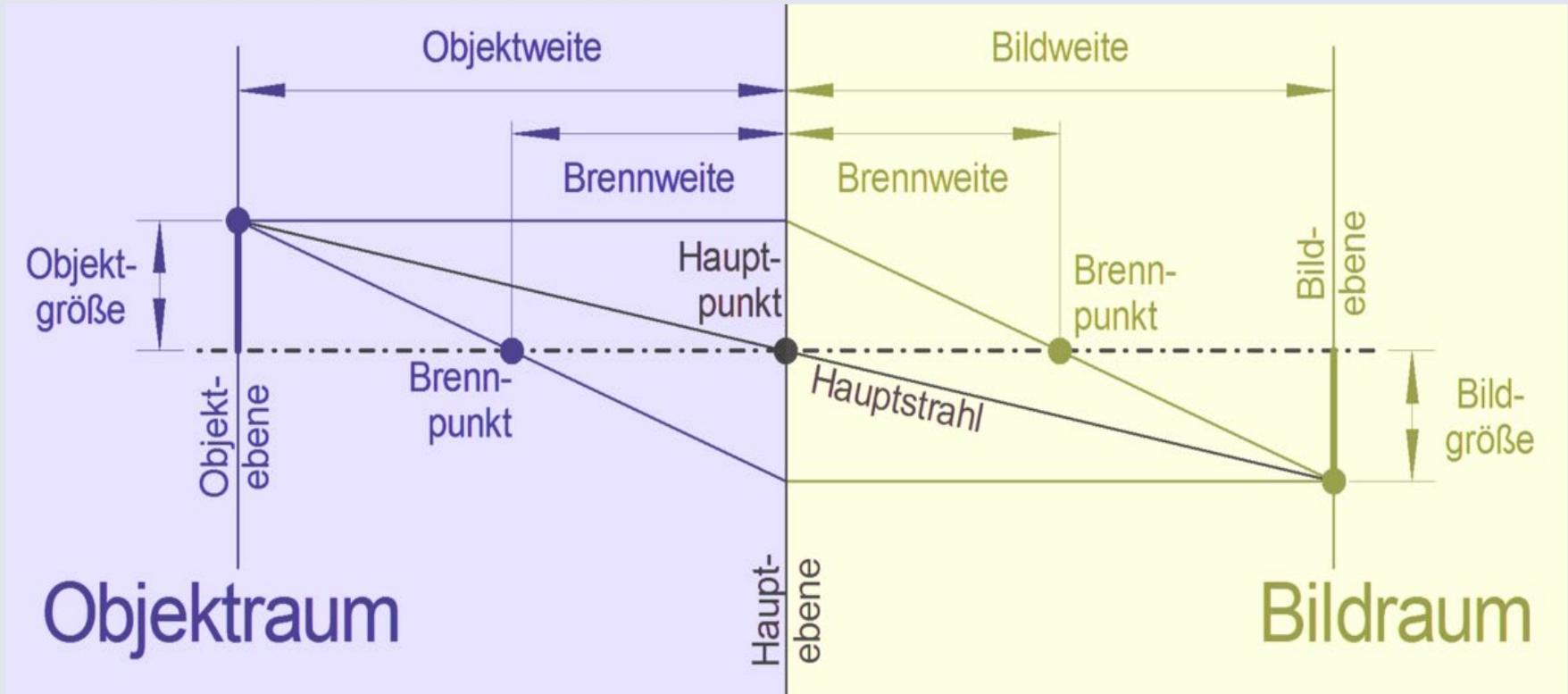
Strahlungsleistung in Photogrammetrie und Fernerkundung

- Abbildung:
 - Farbe
 - Helligkeits/Intensitätswert
 - Objektgeometrie
 - Erkennbarkeit
 - Schärfe



Optische Abbildung

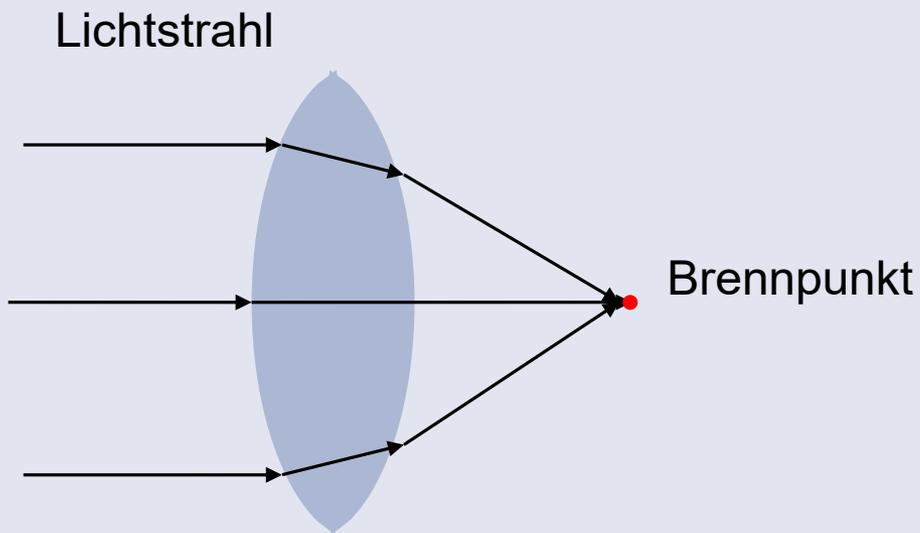
Abbildungsmodell für dünne Linsen



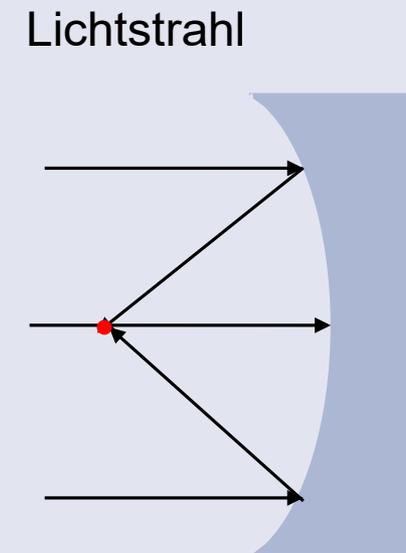
Geometrische Parameter

- Strahlensätze: Sätze aus Elementargeometrie zur Berechnung von Längen und Strecken
 - Abbildungsparameter
 - Innere Kameraparameter (innere Orientierung IO)
- Man unterscheidet:
 - **Hauptstrahl**: Objekt – Schnittpunkt optischer Achse mit Hauptebene – Objekt in der Bildebene
 - **Brennstrahl**: Objekt – Brennpunkt – Hauptebene – parallel zur optischen Achse
 - *Brennpunkt – Punkt des optischen Systems, in dem sich alle parallel der optischen Achse anfallenden Strahle schneiden
 - **Parallelstrahl**: Objekt - parallel zur optischen Achse – Hauptebene – weiter als bildseitiger Brennpunktstrahl

Lichtdurchgang in der Linse

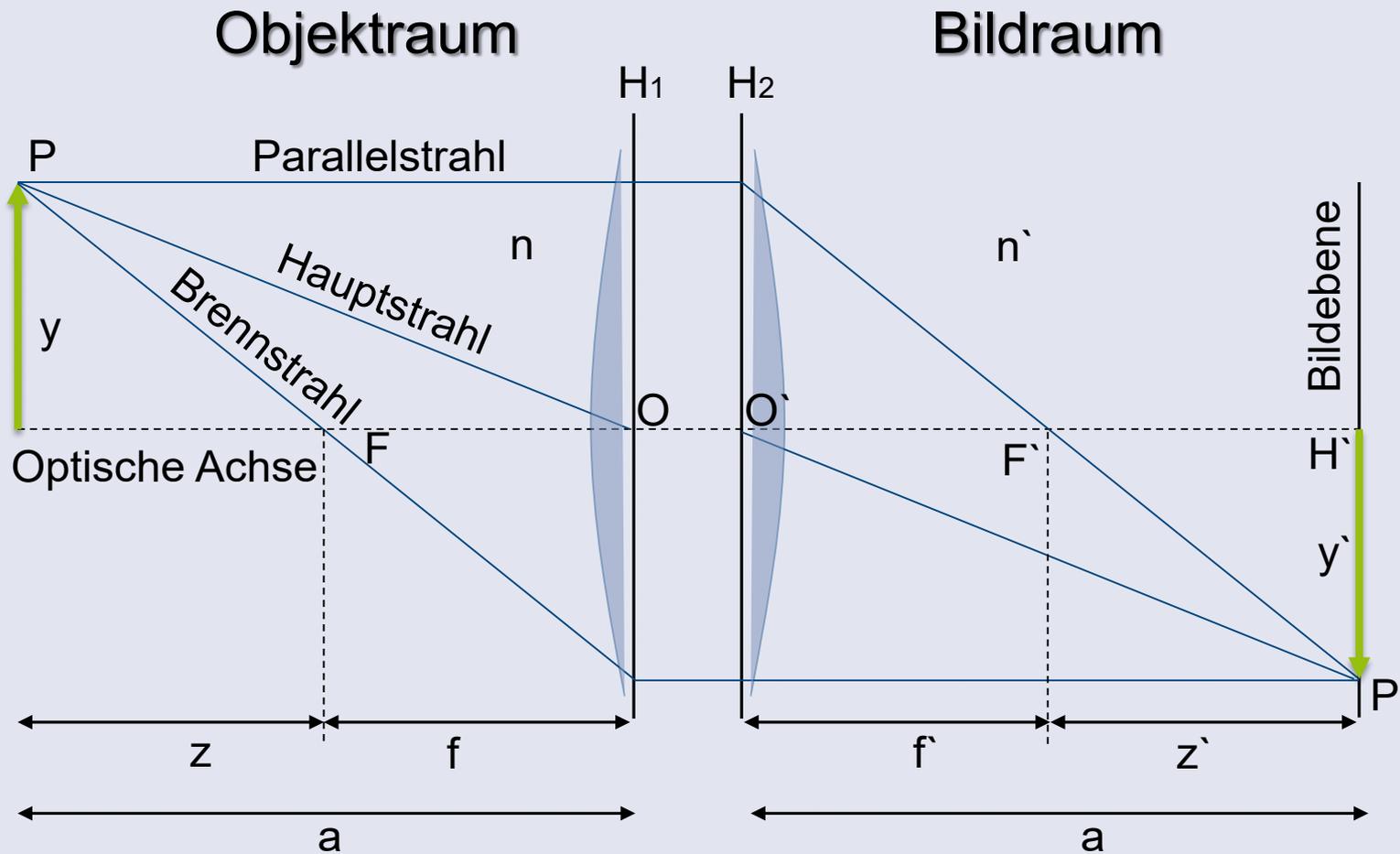


(bi)konvexe Linse



plankonkave Linse

Linsengleichung



$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{n}{a'} + \frac{n'}{a} = \frac{n'}{f'}$$

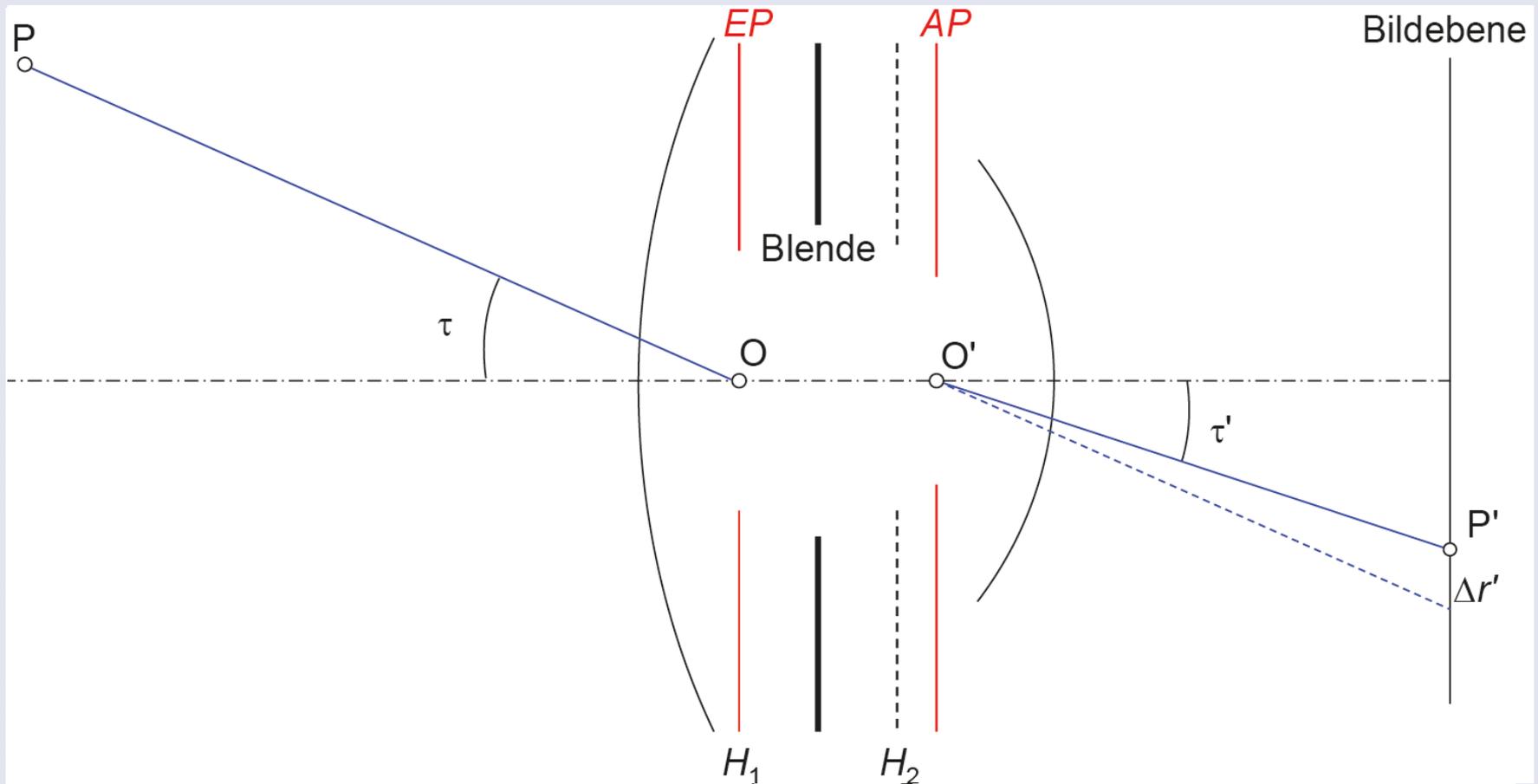
$$z * z' = -f'^2$$

Kameraparameter

- **Brennweite** (Kamerakonstante) - Abstand zwischen der Hauptebene einer optischen Linse oder eines gewölbten Spiegels und dem Fokus (Brennpunkt)
- **Bild- und Objekt/Dingweite** - Abstand zwischen dem von einer optischen Linse oder einem Spiegel erzeugten Bild und der bildseitigen Hauptebene entlang der optischen Achse
- **Bildhauptpunkt** – Lotfußpunkt vom Projektionszentrum auf die Bildebene eines Messbildes
- **Blende** – bündelbegrenzendes Element eines optischen Systems zur Regelung der Lichtmenge und Schärfentiefe
- **Blendenzahl** (k , mit d' – Durchmesser der Eintrittspupille)

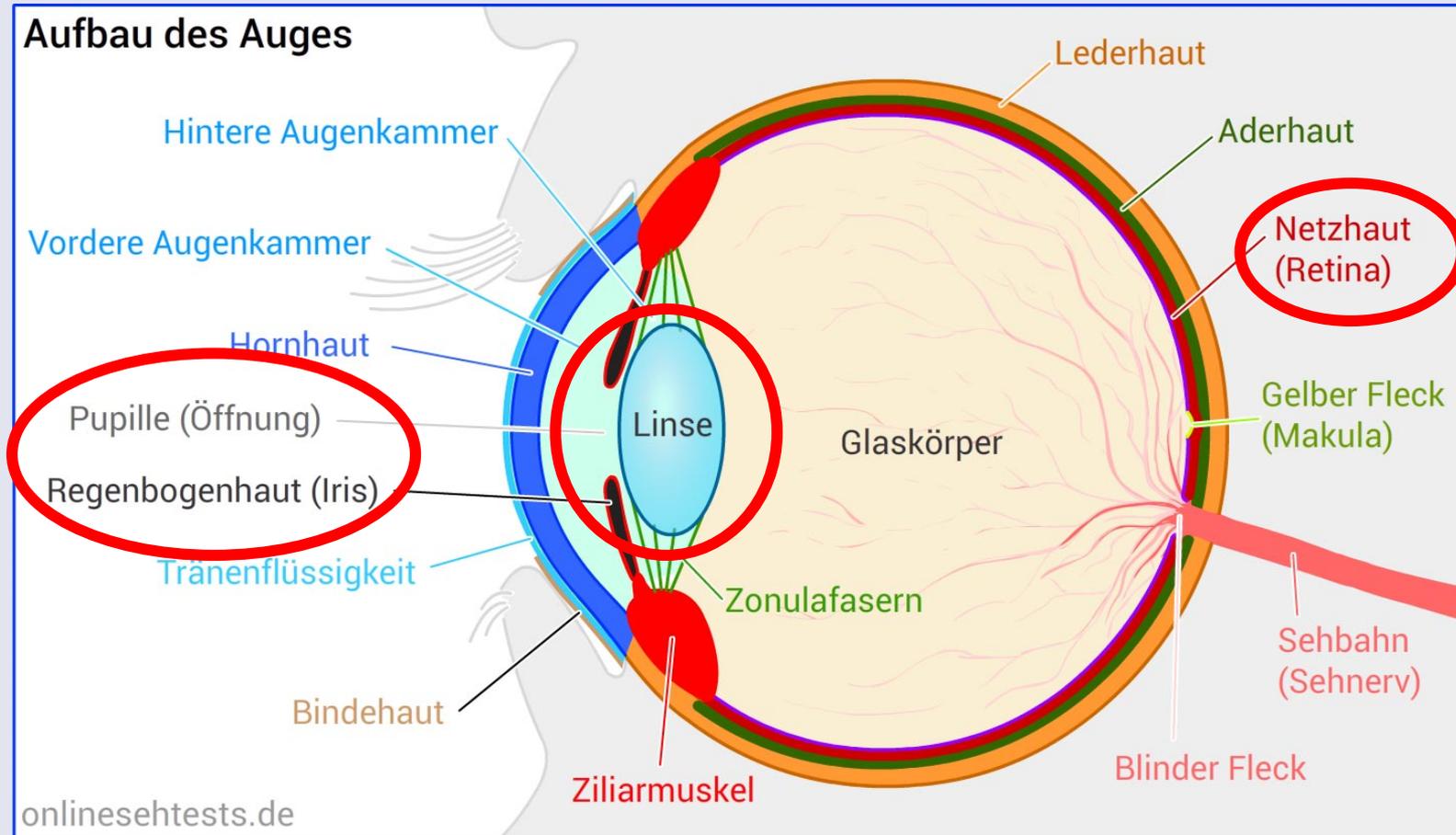
$$k = \frac{f'}{d'}$$

Objektivkonstruktionen



Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele , Luhmann, T. (2017)
Nahbereichsphotogrammetrie. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.

Auge als Sensor



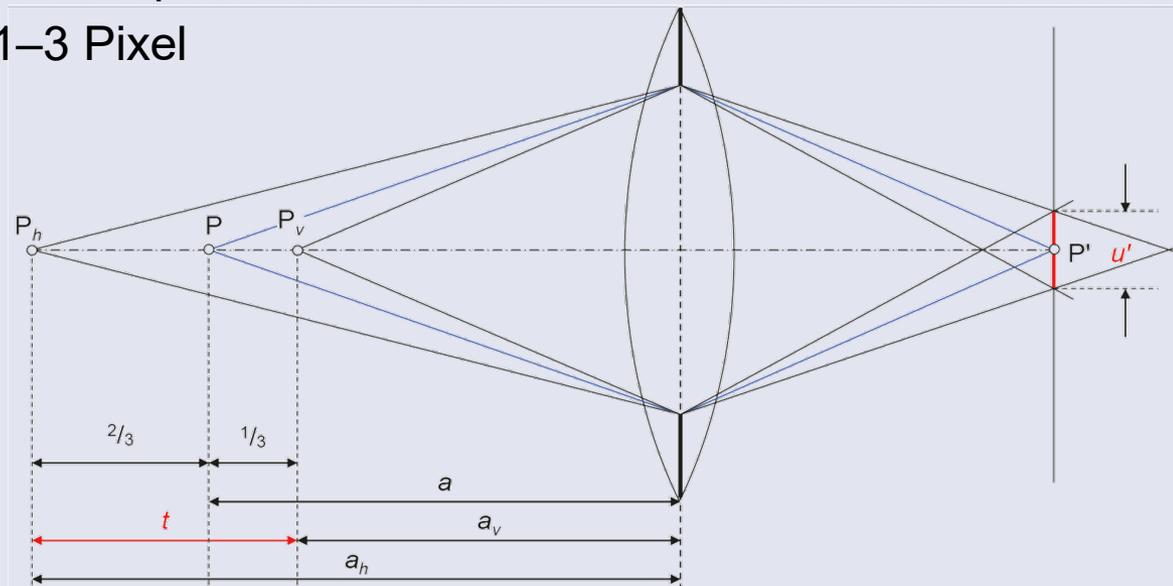
Scharfabbildung

- Was ist „scharf“?
 - Auge: Durchmesser des Zerstreungskreises (Unschärfekreis) u' unter einer Auflösungsgrenze liegt
 - Analoge Kamera: $u' \approx 20\text{--}30 \mu\text{m}$
 - Digitale Kamera: $u' \approx 1\text{--}3$ Pixel
 - $u' = f' * \Delta\alpha \approx \frac{1}{2000} s'$

- $\Delta\alpha = 0,03^\circ$
- s' - Bilddiagonale

Scharfe Dingweite

- $a_v = \frac{a}{1+K}$; $a_h = \frac{a}{1-K}$
- $K = \frac{k(a-f)u'}{f'^2}$



Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele , Luhmann, T. (2017)
 Nahbereichsphotogrammetrie. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.

Schärfentiefe

- Schärfentiefe (t) – Bereich, in dem die Punkte scharf abgebildet sind

$$t = a_h - a_v = \frac{2u'k(1 + \beta')}{\beta'^2 - \left(\frac{u'k}{f'}\right)^2}$$

β' - Abbildungsmaßstab ($\beta' = \frac{a'}{a} = \frac{n \cdot a'}{n' \cdot a} = \frac{z'}{f'}$)

- Schärfentiefe wird erhöht, wenn
 - Aufnahmeabstand \uparrow
 - Brennweite (Kamerakonstante) \downarrow
- Optimierung der Schärfentiefe:
- Aufnahmeabstand = hyperfokale Distanz (b)

$$b = \frac{f'^2}{u'k}$$



VS



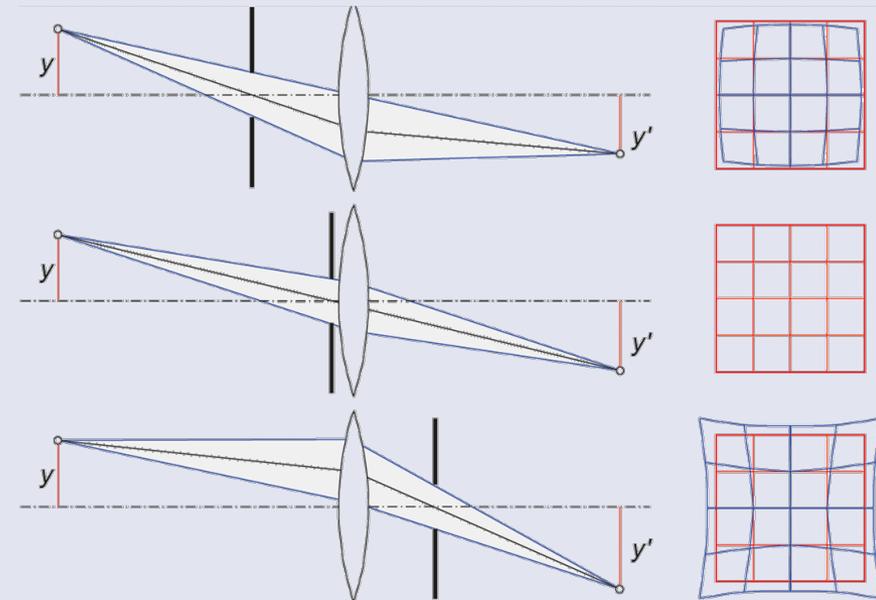
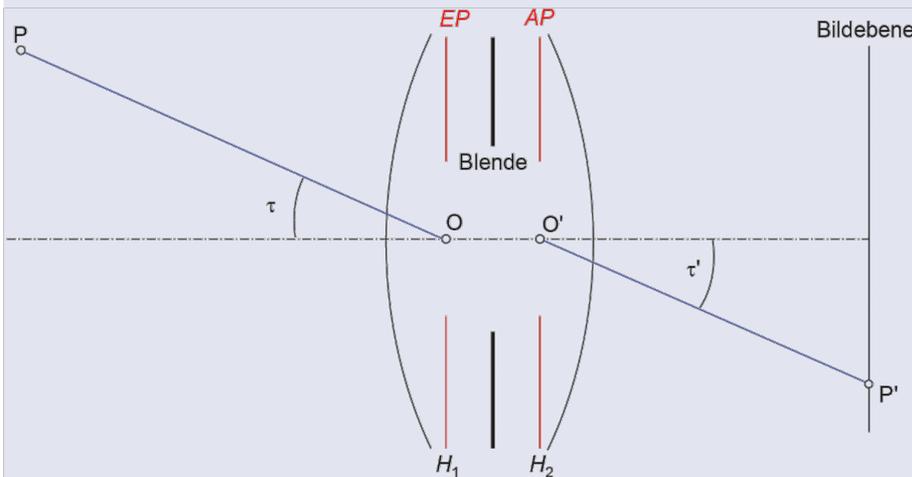
- | | | |
|------------------|---|-----------------------|
| • Blende | = | • Iris |
| • Blendenöffnung | = | • Pupille |
| • Objektiv | = | • Linse |
| • Bildsensor | = | • Netzhaut |
| • Monitor | = | • Abbildung im Gehirn |

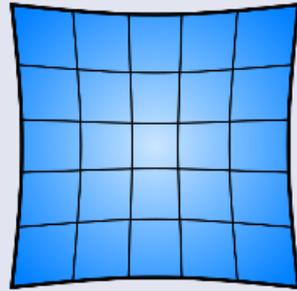
- **Abbildungsdimension**
- **Bildweiteänderung**
- **Lichtempfindlichkeit**
- **Lichtverhältnisse**
- **Scharfeinstellung**

Abbildungsfehler

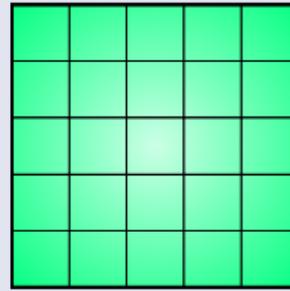
Verzeichnung

- Verzeichnung (optische Verzerrung) – geometrischer Abbildungsfehler wegen der Objektivsymmetrie
 - Idealfall $\tau = \tau'$
 - Realität $\tau \neq \tau'$

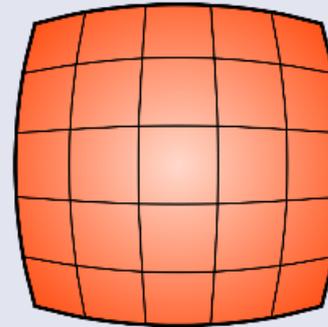




kissenförmige
Verzeichnung



verzerrungsfreie
Abbildung



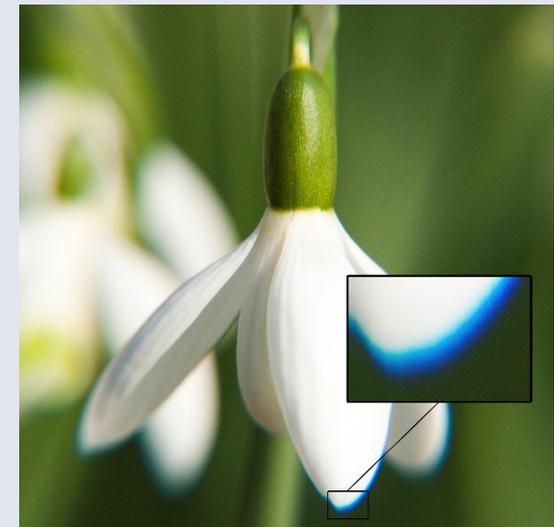
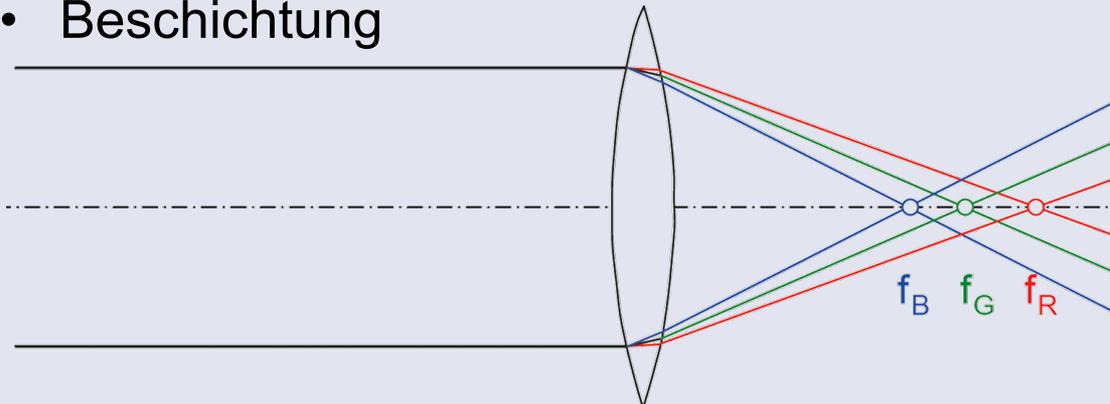
tonnenförmige
Verzeichnung



Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele , Luhmann, T. (2017) *Nahbereichsphotogrammetrie*. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.

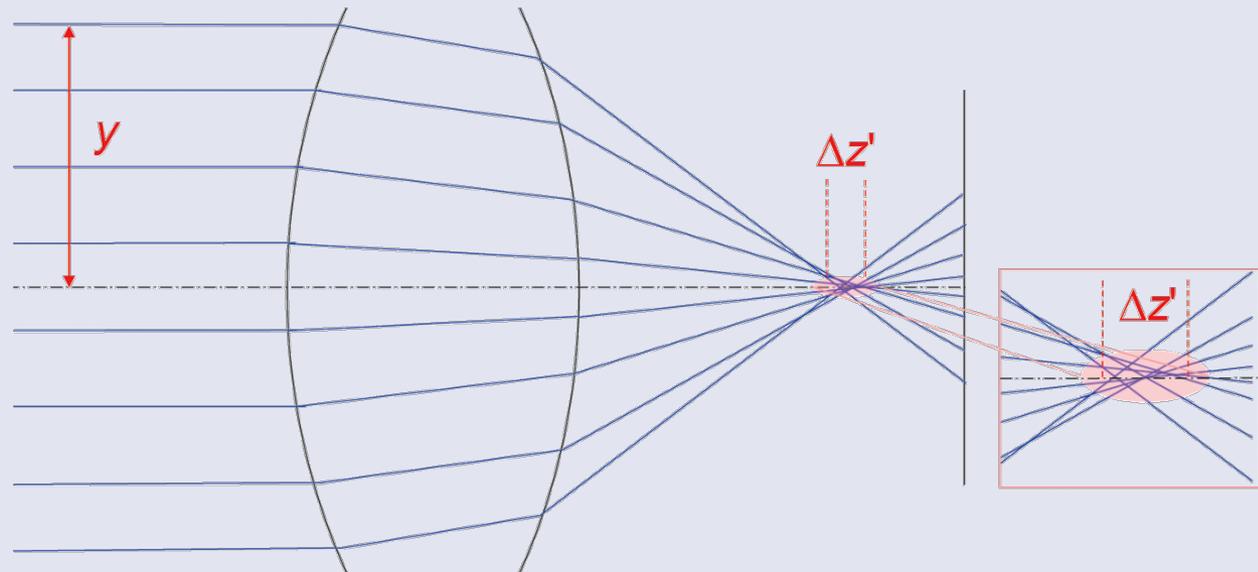
Chromatische Aberration

- Chromatische Aberration – radiometrischer Abbildungsfehler wegen der wellenlängenabhängigen Dispersion im Objektiv.
 - Weißer Objektpunkt - in unterschiedlichen Bildweiten abgebildet.
 - Keine optimale Fokussierung möglich
 - Farblängsfehler: jede Wellenlänge besitzt eigenen Brennpunkt.
- Optimierung
 - Unterschiedliche Linsentypen
 - Beschichtung



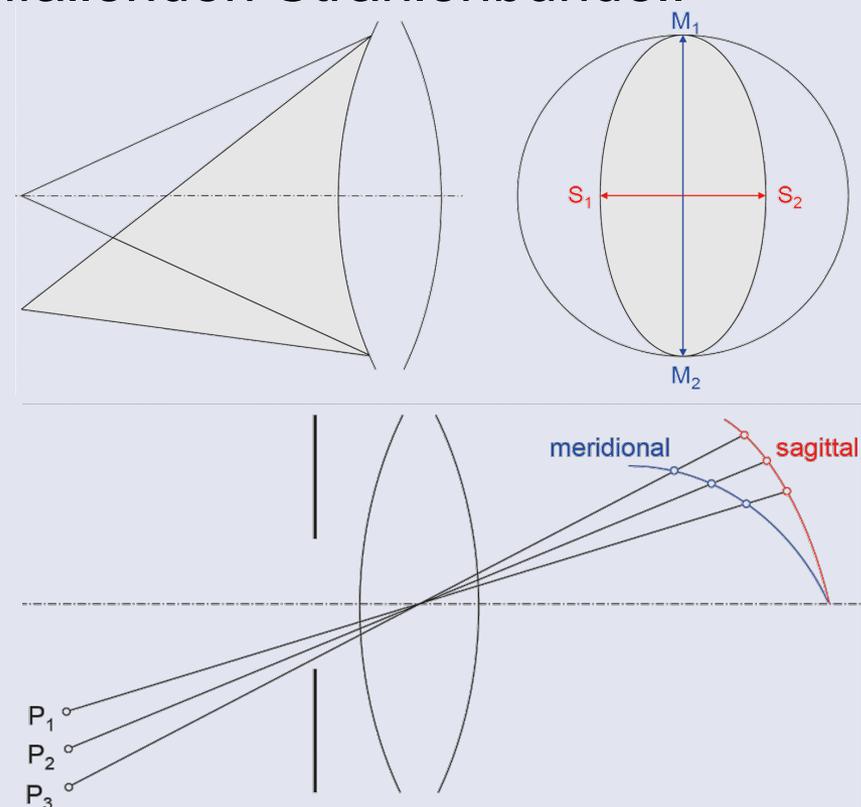
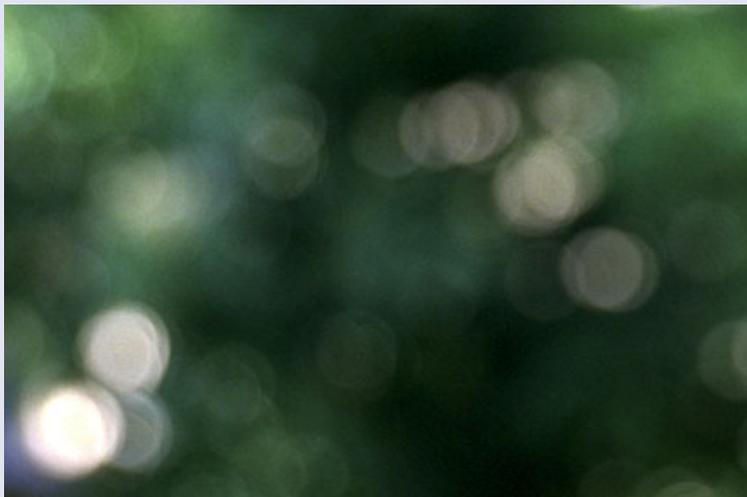
Sphärische Aberration

- Sphärische Aberration (Öffnungsfehler) – geometrischer Abbildungsfehler, der in der Verschiebung des Bildpunktes in z' -Richtung wegen der vom unterschiedlichen Blickwinkel fallenden Strahlen besteht.
- Optimierung
 - Abblenden
 - hochqualitative Objektive



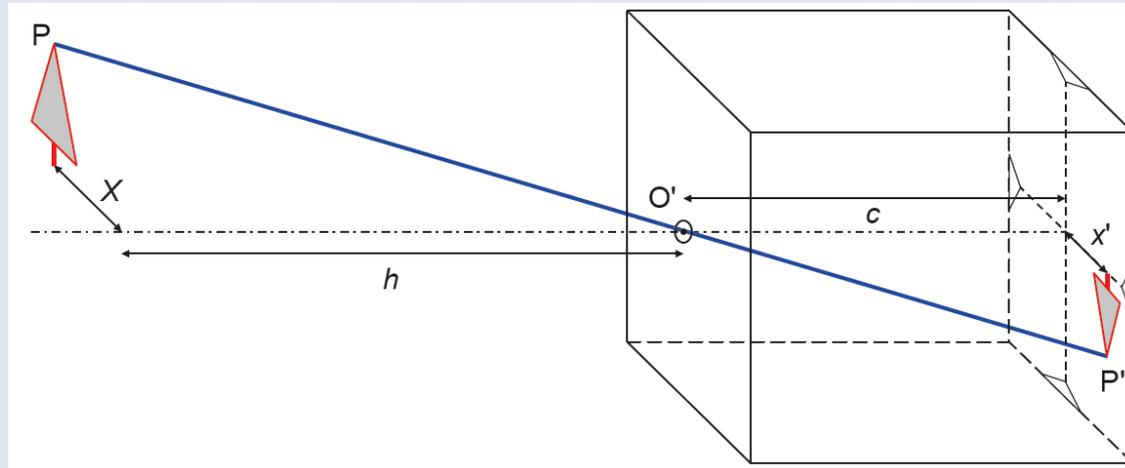
Astigmatismus

- Astigmatismus (Bildfeldwölbung) – Abbildungsfehler wegen der abseits der optischen Achse einfallenden Strahlenbündel.
- Optimierung
 - geeignete Linsenkrümmungen
 - Kombinationen von Linsen



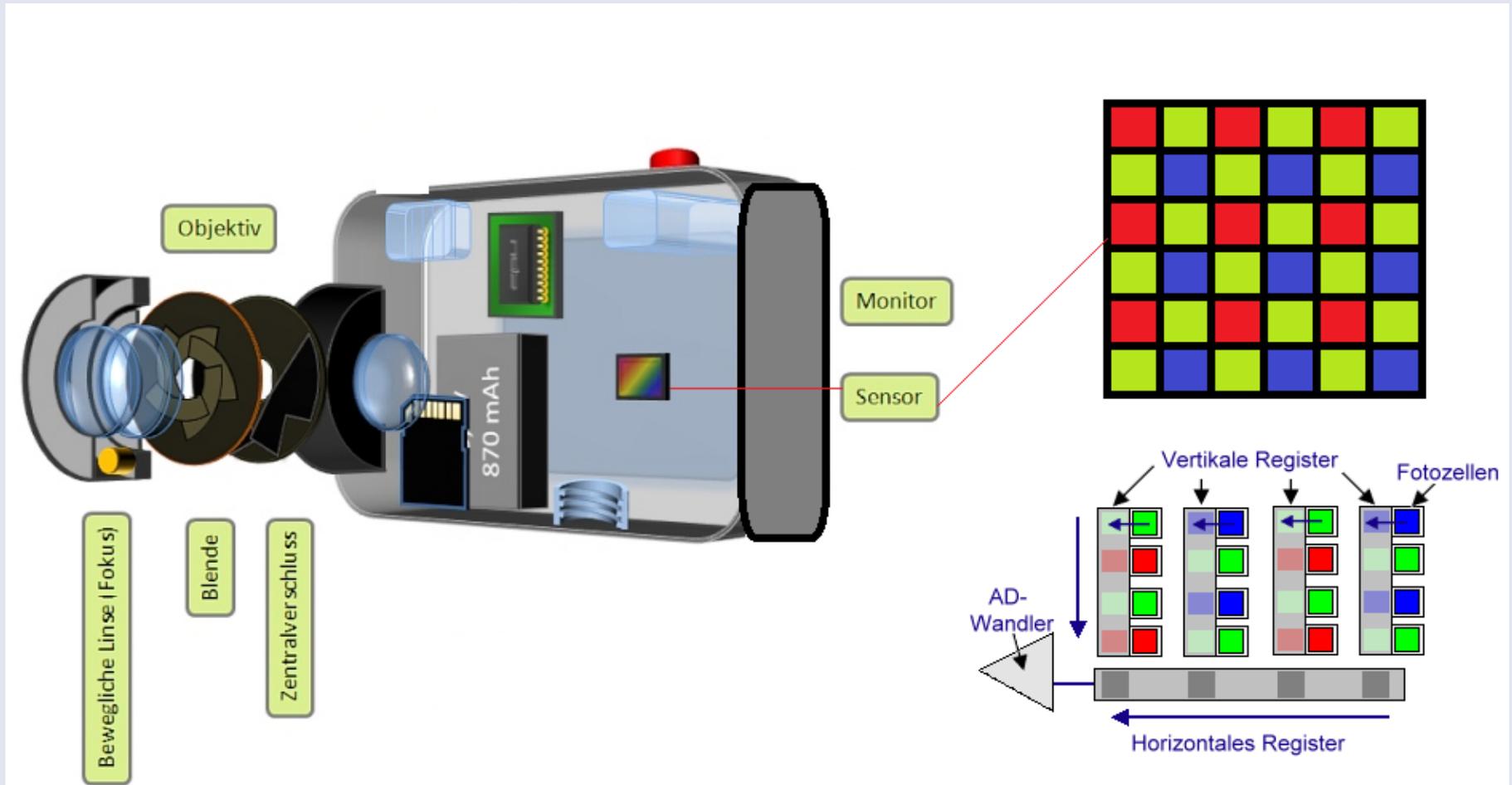
Kameratechnik und Sensoren

Modell einer Lochkamera (pinhole camera)



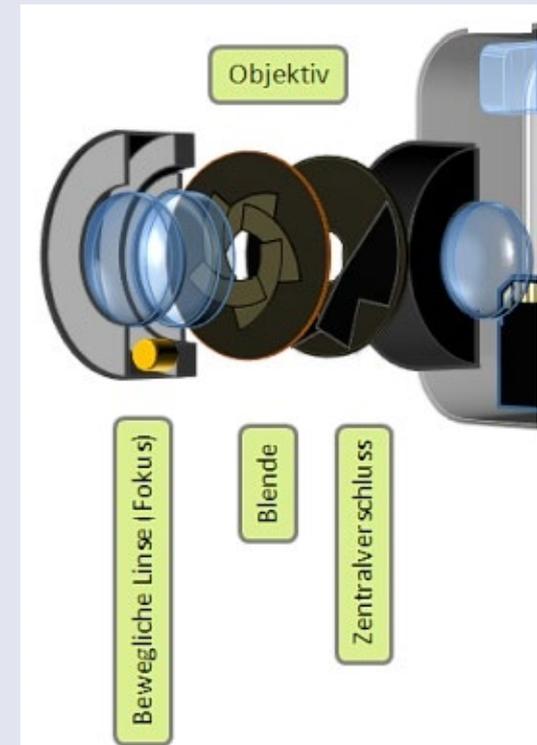
- O' – Projektionszentrum: Bezugspunkt, durch den alle Bildstrahlen geradlinig verlaufen
- c – Kamerakonstante: Abstand zwischen Bildebene und Projektionszentrum
- h - Aufnahmeentfernung
- X - parallel zum Bild liegenden Objektstrecke
- x' – Abbildung von X
- P – Punkt am Objekt, P' – Abbildung vom Punkt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

Komponente der Kamera

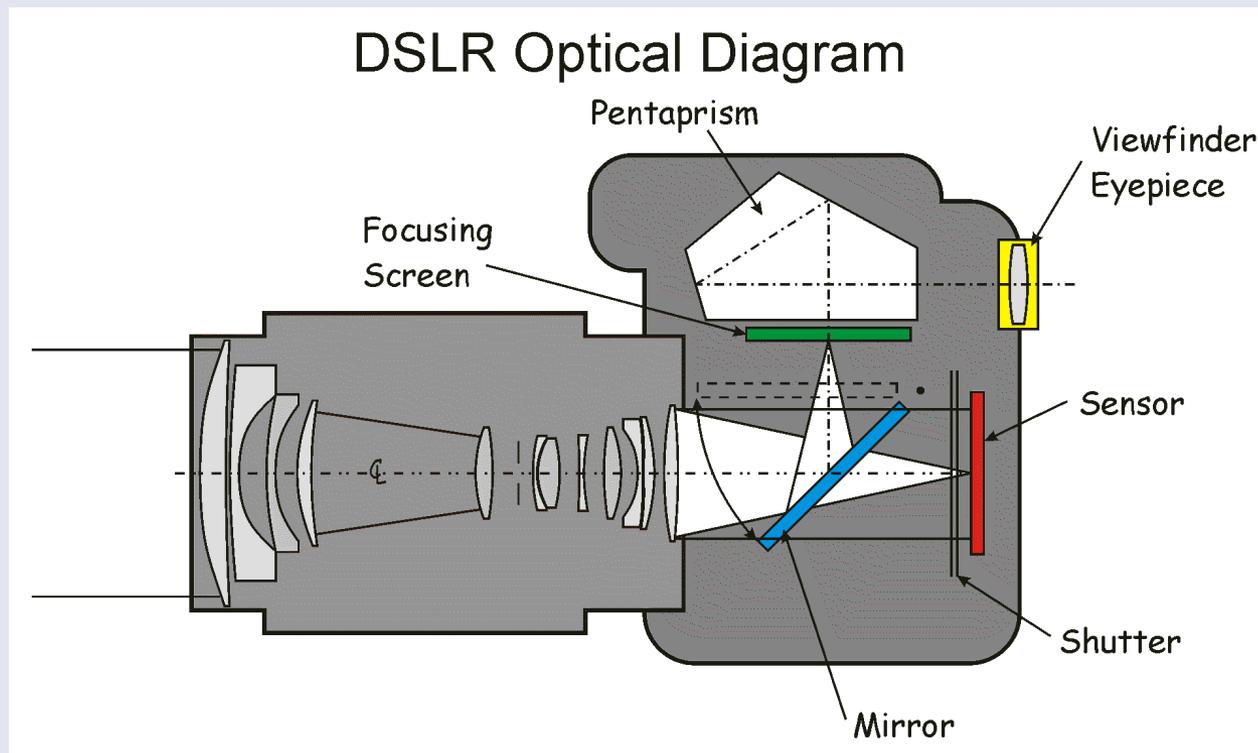


Objektiv – was ist drin?

- Objektiv - sammelndes optisches System, das eine reelle optische Abbildung eines Gegenstandes (Objektes) erzeugt
- Komponente:
 - bewegliche Linse
 - Blende - Vorrichtung an Kameras, mit deren Hilfe der Lichtdurchlass durch das Objektiv verändert werden kann
 - Zentralverschluss – Verschluss zur Regulierung der Belichtung während der Fotografie

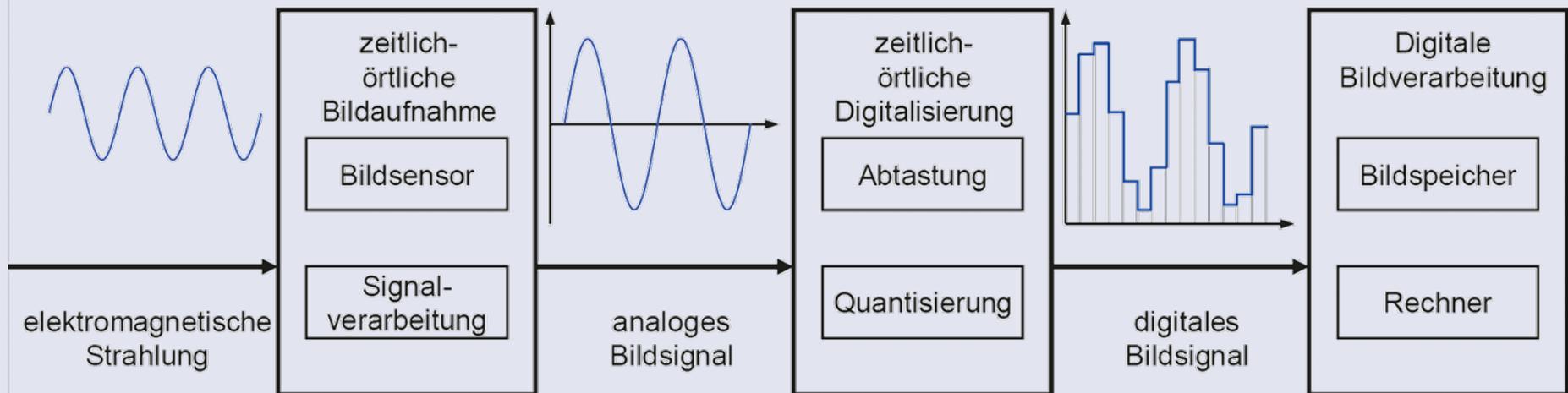


Aufbau der Digitalen Spiegelreflexkamera



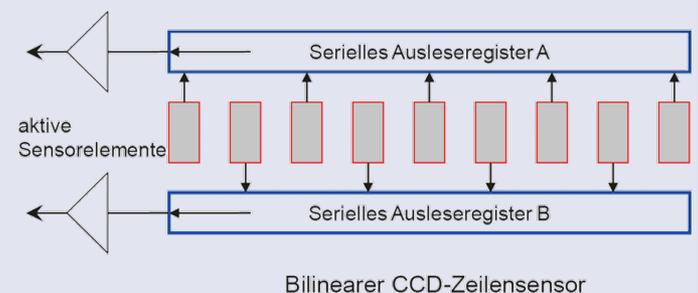
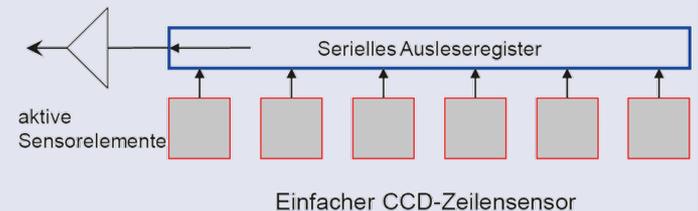
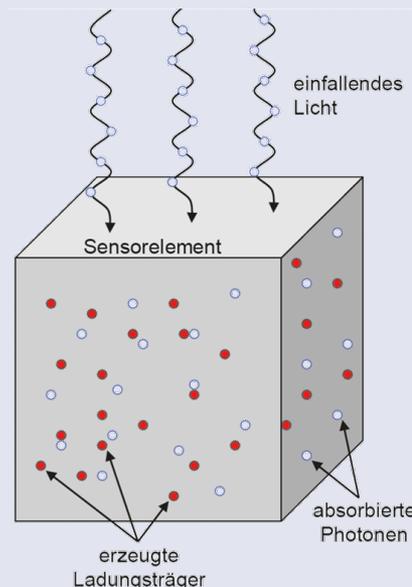
<https://photosinmovement.files.wordpress.com/2012/08/dslroptics.gif>

Digitales Aufnahmesystem



CCD-Sensor (Charge-Coupled Device)

- Aufnahmesysteme besitzen NUR Festkörper-Bildsensoren.
- Festkörper-Bildsensor - Vielzahl kleiner lichtempfindlicher Detektorelemente, die
 - zeilen- oder matrixförmig angeordnet sind;
 - proportional zur einfallenden Lichtmenge elektrische Ladung erzeugen, die
 - ausgelesen,
 - aufbereitet,
 - digitalisiert wird



Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele , Luhmann, T. (2017)
Nahbereichsphotogrammetrie. 04. Auflage, neu bearb. erw.
 Berlin: Wichmann, H.

CMOS-Sensor

- CMOS-Technologie (complementary metal oxide semiconductor) – Technik zur Herstellung von Rechnerprozessoren und Speicherbausteinen.
- Vorteile
 - nur 1/10 bis 1/3 des Energieverbrauchs von CCD-Sensoren;
 - geringere Herstellungskosten;
 - direkt adressierbare Sensorelemente; Erfassung von Bildausschnitten;
 - hohe Bildfrequenzen mit mehr als 2000 Bildern pro Sekunde;
 - hoher Dynamikumfang und geringes Bildrauschen

Kameratypen

Industrie- & Digitalkameras

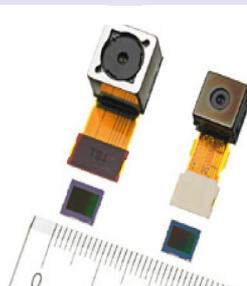
- Industriekameras:
 - alle Digitalkameras
 - einfacher Aufbau: Objektiv, Bildsensor, Elektronikkomponente
 - häufig für technische Messungen angewendet
- Digitalkameras:
 - kompakt (häufig für mobile Systeme)
 - low-cost
 - mittlerweile hochauflösend
 - Für Spezialisten und „Laien“



Industriekamera für technische Anwendungen



Miniaturkamera



On-Chip-Kamera



Leica S



Hasselblad H4D-60

Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele , Luhmann, T. (2017) *Nahbereichsphotogrammetrie*. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.

Hochfrequenzkameras

- Hochfrequenzkamera (*Highspeedkameras*)
 - Aufnahme schnell ablaufender Vorgänge mit Bildfrequenzen
 - „Schneller“ als Standard-Videokameras
- Anwendung
 - Überwachung dynamischer Fertigungsprozesse
 - Bewegungsvorgängen in Industrie
 - Medizin
 - Forschung



Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele , Luhmann, T. (2017) *Nahbereichsphotogrammetrie*. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.

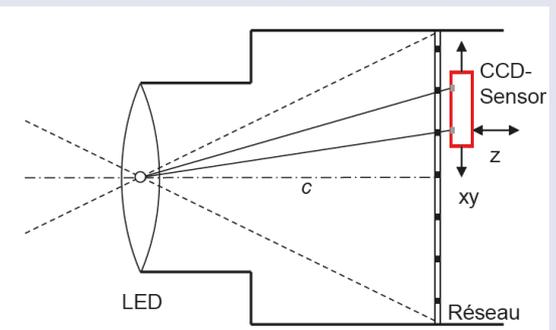
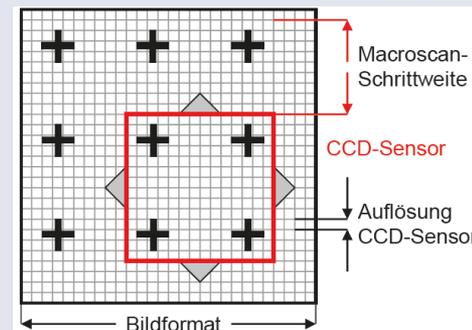
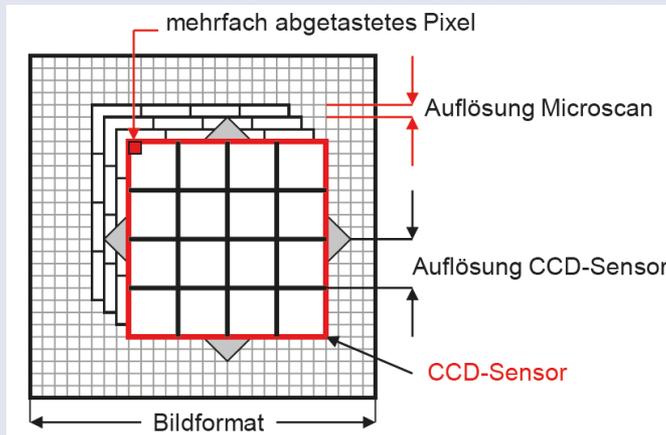
Stereo- und Mehrbildkameras

- synchrone Aufnahme von mehreren Bildern
- Kameras sind in einem gemeinsamen Gehäuse montiert und fest orientiert
- Anwendung:
 - Überwachung dynamischer Prozesse
 - 3D Formrückführung



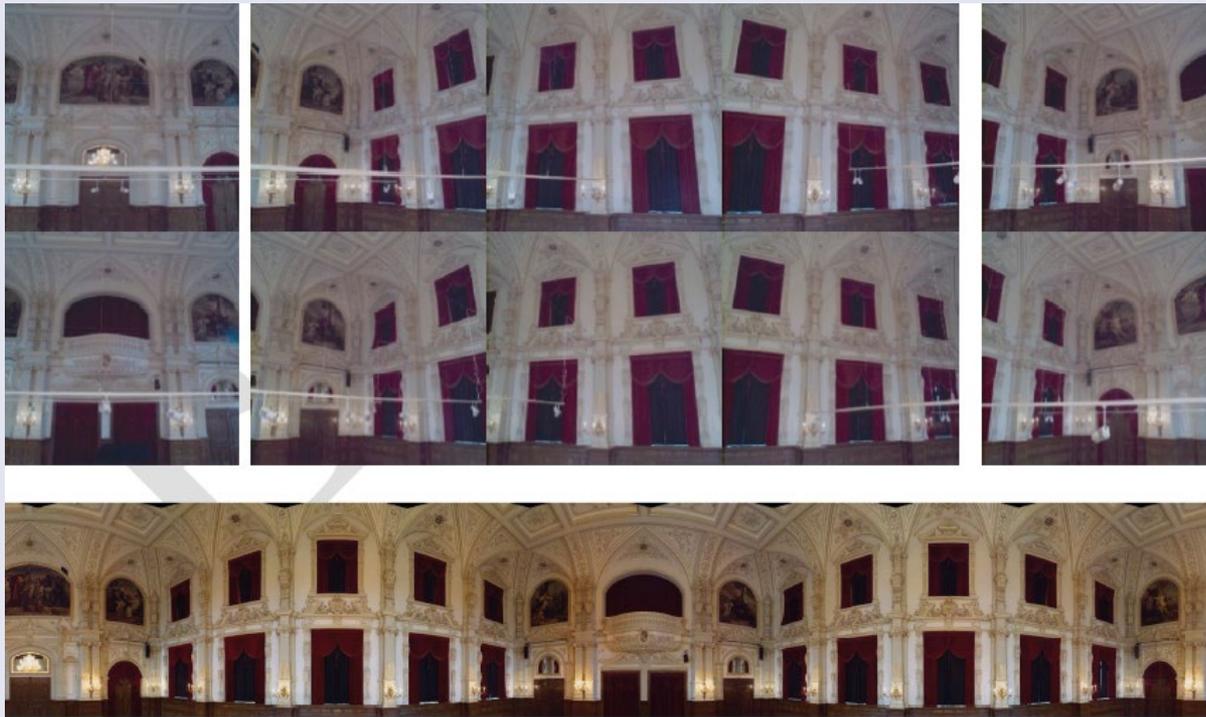
Scanning Kameras

- Steigerung der Pixelauflösung durch sequenzielle Abtastung der Vorlage
- Kameras:
 - Micro-scanning
 - Macro-scanning



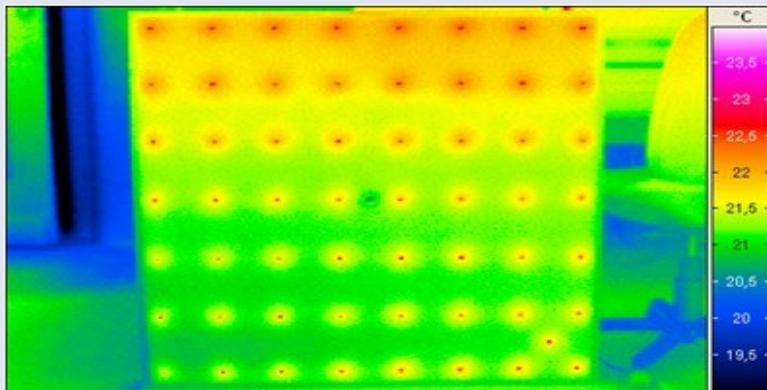
Panoramakameras

- Das Bild entsteht von horizontal oder vertikal überlappenden zentralperspektiven Einzelbildern



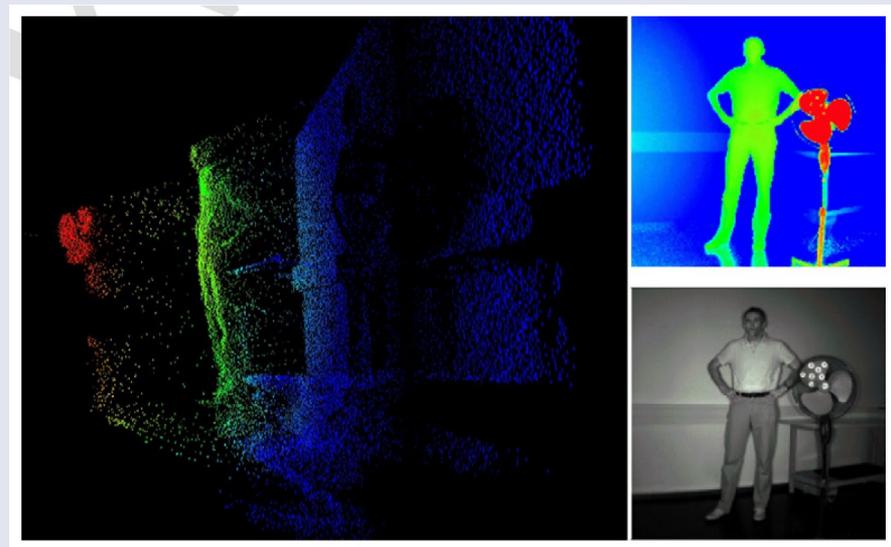
Thermografie-Kameras

- Sensoren:
 - thermische Detektoren
 - Quantendetektoren
- Aufnahmebereich: ca. -40°C bis ca. $+2500^{\circ}\text{C}$
- Anwendung:
 - bauphysikalische Analysen
 - materialwissenschaftliche Analysen



Time-of-Flight Kameras (ToF)

- Misst einen Phasenunterschied zwischen ausgestrahltem und empfangenem Licht



Lichtfeldkamaras

- Lichtfeldkamaras = plenoptische Kamera
- Aufbau: Mikrolinsenfeld zwischen Bildsensor und Objektiv
- Aufnahmeprinzip:
- Objekt wird von mehreren Entfernungen aufgenommen
- Generiert ein facettenhaftes Bild mit Mehrfachabbildungen
- Bestimmt wird die entfernungsabhängige Parallaxe
- Ein 3D Punkt wird berechnet



Aufnahmekameras

Kameratypen

- Videokameras
Industriekameras, Überwachungskameras, Webcams
- Amateur- und Consumerkameras
Digitale Sucherkameras
- Spiegelreflexkameras
Hoch- und höchstauflösende Digitalkameras, Profifotografie
- Photogrammetrische Messkameras
Kalibrierte Messkameras, Spezialkameras
- Stereo- und Mehrkameranysteme
Navigationssysteme, Stereomesskameras, Strahlteilerkameras
- Highspeedkameras
Filmkameras, FPGA-Kameras
- Panoramakameras
Scannerkameras, Fisheye kameras
- 3D-Kameras
TOF-Kameras, Lichtfeldkameras
- Infrarot- und Thermographiekameras
Wärmebildkameras, Infrarotkameras



Aufnahmekameras (Auswahl)

Videokameras

Spezifikationen, Merkmale (typisch)

- **Pixelauflösung**
320 x 240 bis 1300 x 1000 (typisch)
- **Aufnahmefrequenz**
25 – 100 Hz
- **Sensoren**
CCD, CMOS, optional mit FPGA Onboard-Prozessoren
- **Spektralbereich**
ca. 380 – 1000 nm, Mono und RGB
- **Datenschnittstellen**
Analogvideo, GigaEthernet, USB, Firewire, CameraLink
- **Brennweiten**
ca. 4mm – 100mm
- **Kosten**
10 – x000 €
- **Hersteller**
AVT, JAI, Sony, Baumer, Kappa uvam.
- **Anwendungen**
Online-Messaufgaben, Mehrkamarasysteme, Robotik, Fahrerassistenzsysteme, Überwachung ...



Aufnahmekameras (Auswahl)

Hochauflösende Messkameras Spezifikationen, Merkmale (typisch)

- **Pixelauflösung**
6 Mpix bis 16 Mpix (typisch), max. 60 Mpix
- **Aufnahmefrequenz**
1– 10 Hz
- **Sensoren**
CCD, CMOS
- **Spektralbereich**
ca. 380 – 1000 nm, RGB (selten: Pan)
- **Datenschnittstellen**
USB, SD-Card
- **Brennweiten**
ca. 15mm – 1000mm
- **Kosten**
500 – 5000 €
- **Hersteller**
Canon, Nikon, Sony, Leica
- **Anwendungen**
Offline-Messaufgaben, hochgenaue Photogrammetrie



GSi INCA



NIKON D3



Mamiya ZD



Hasselblad

Aufnahmekameras (Auswahl)

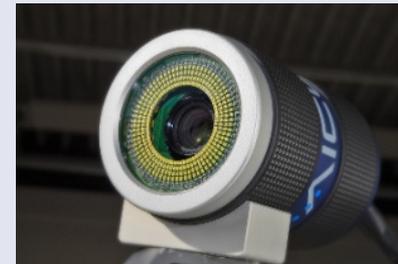
Highspeedkameras

Spezifikationen, Merkmale (typisch)

- **Pixelauflösung**
640 x 480 bis 2000 x 2000
- **Aufnahmefrequenz**
100 – 10000 Hz (max. 1.000.000)
- **Sensoren**
CMOS, optional FPGA
- **Spektralbereich**
ca. 380 – 1000 nm, RGB, Pan
- **Datenschnittstellen**
RAM
- **Brennweiten**
ca. 8mm – 75mm
- **Kosten**
2000 – 50000 €
- **Hersteller**
PCO, Kodak,
- **Anwendungen**
Crashvermessung, Particle Tracking, Motion Analysis



PCO dimax HD



AICON MoveInspect



Stereostrahlteiler

Aufnahmekameras (Auswahl)

Stereo- und Mehrkameranysteme

Spezifikationen, Merkmale (typisch)

- **Pixelauflösung**
640 x 480 bis 2000 x 1600
- **Aufnahmefrequenz**
15 – 100 Hz
- **Sensoren**
CCD, CMOS
- **Spektralbereich**
ca. 380 – 1000 nm, RGB, Pan
- **Datenschnittstellen**
GigaEthernet, USB, Firewire, CameraLink
- **Brennweiten**
ca. 8mm – 50mm
- **Kosten**
1000 – 20000 €
- **Hersteller**
NDI, AXIOS 3D, AICON, ...
- **Anwendungen**
Medizinische Navigation, Maschinensteuerung, Robotik



AXIOS 3D B1, b=80mm



AXIOS 3D B2, b=200mm



NDI Polaris, b=200mm

Aufnahmekamerase (Auswahl)

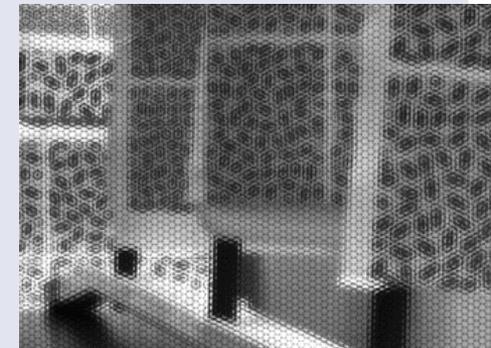
3D-Kameras

Spezifikationen, Merkmale (typisch)

- Pixelauflösung
200 x 200 (TOF) bis 1300 x 1200 (Lichtfeld)
- Aufnahmefrequenz
15 – 50 Hz
- Sensoren
CCD, CMOS
- Spektralbereich
ca. 380 – 1000 nm, Pan
- Datenschnittstellen
GigaEthernet, USB
- Brennweiten
ca. 8mm – 50mm
- Kosten
1000 – 15000 €
- Hersteller
PMD, SwissRanger, Raytrix, ...
- Anwendungen
Robotik, Fahrerassistenz, geringe Genauigkeitsanforderungen



PMD CamCube 3



Raytrix

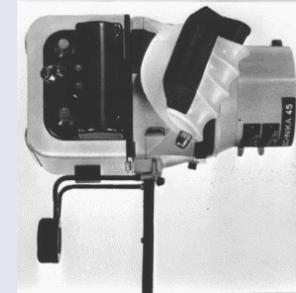
Aufnahmesysteme Luftbild



Reihenmesskamera Zeiss RMK Top
Filmformat 230mm x 230mm



Reihenmesskamera Wild RC
Filmformat 230mm x 230mm



Mittelformatkamera Linhof Aerotechnica
Filmformat 120mm x 90mm



Digitale Luftbildkamera Leica DMC III
bis 375 Mio. Pixel



Digitale Luftbildkamera Vexcel UltraCam
bis 196 Mio. Pixel



Digitaler Luftbildscanner Leica ADS 40
12000 Pixel pro Zeile

Aufnahmesysteme Nahbereich



Digitalkamera 36 Mio. Pixel (Nikon)



Digitalkamera 60 Mio. Pixel (Hasselblad)



Highspeedkamera 1500 Bilder/sec bei 2000 x 1000 Pixel (PCO)



Dreikamerasystem (AICON)



Stereokamerasystem (AXIOS 3D)



Panoramakamera (KST)

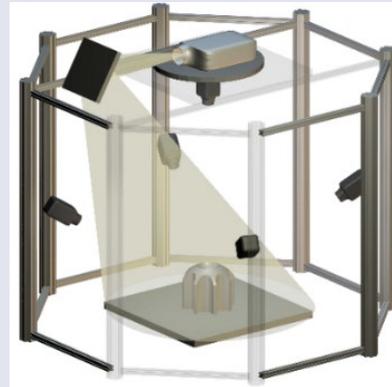


Industriekameras

Auswerte- und Messsysteme



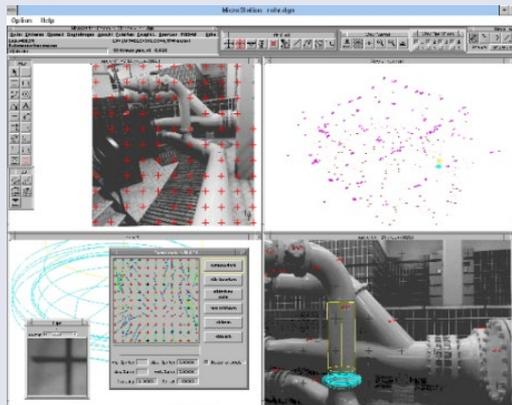
Digitale Stereoauswertestation (Leica)



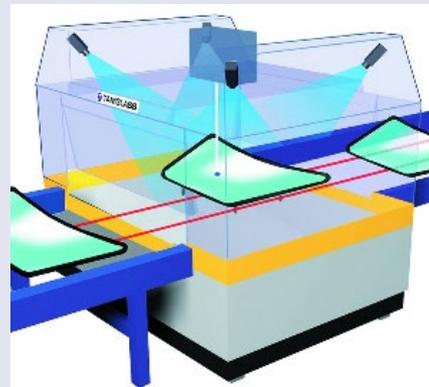
Oberflächenscansystem (FhG Jena)



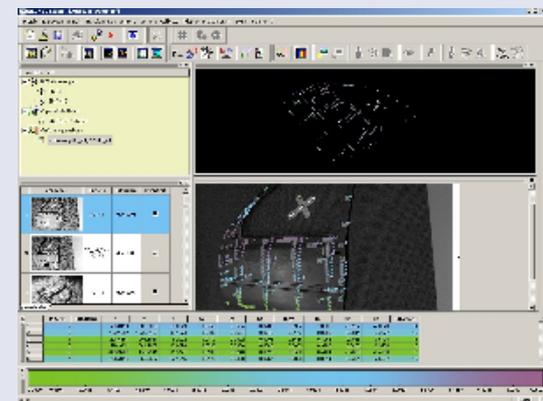
Stahlplatten-Positionierungssystem (AXIOS 3D)



Digitales Mehrbildsystem PHIDIAS (Phocad)



Scheibmesssystem (Mapvision)



Photogrammetriesystem (AICON)

Einführung in Thermographie

Thermische Infrarotstrahlung

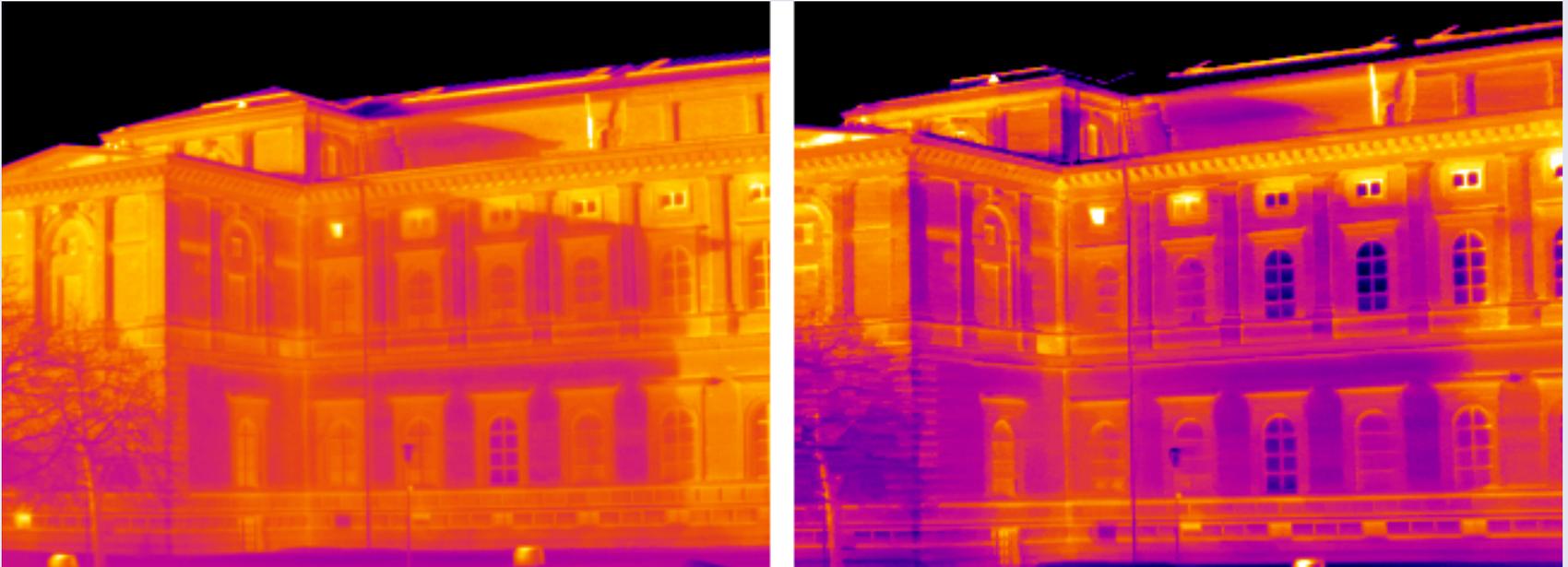
- Jedes Objekt hat Wärmeenergie.
- Wärmeenergie wandelt in elektromagnetische Strahlung um.
- Temperatur \uparrow - Strahlungsverteilung
 - energiereicher,
 - kurzwelliger.
- Objekt strahlt im sichtbaren Spektrum ab bestimmter Temperatur.
- Objekte unterscheiden in einer Thermalaufnahme, wenn sie
 - unterschiedliche Temperatur,
 - unterschiedlicher Emissionsgrad haben.

Sichtbarer und Infrarotbereich

- **Im sichtbaren Bereich** die vom Objekt ausgesandte Strahlung hängt von seiner Oberflächeneigenschaften ab:
 - verschiedene Wellenlängen reflektieren unterschiedlich stark;
 - erzeugen unterschiedliche Farb- und Helligkeitswerte;
 - Intensitätswerte (im Graustufenbild) hängen von
 - Reflexionseigenschaften
 - Beleuchtung des Objektes
- **Im Infrarotbereich:** Intensität hängt von
 - innerer Energie des Objektes (Temperatur)
 - Emissionsgrad des Objektes
- Unterschiedliche Spektralbereiche werden unterschiedlich stark durch die Atmosphäre gedämpft → Gliederung des Infrarotspektrums
 - nahes Infrarot (NIR, $1 - 3\mu\text{m}$)
 - mittleres Infrarot (MWIR, $3 - 5\mu\text{m}$)
 - fernes Infrarot ($5 - 1000\mu\text{m}$)



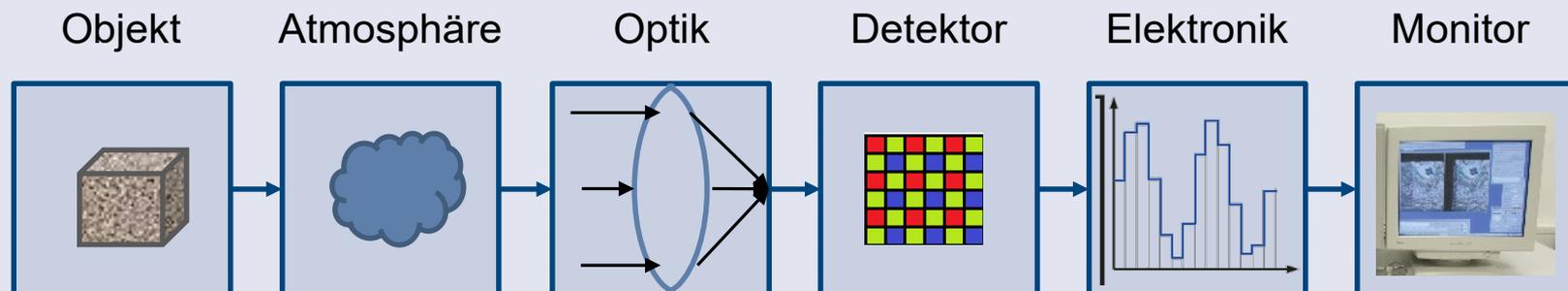
Wärmebildgeräte –
Thermalinfrarot
(TIR, $3 - 14\mu\text{m}$)



Aufnahme der Alten Pinakothek in München. links: Infrarotaufnahme im mittleren Infrarot, deutlich zu sehen der Schlagschatten der Sonne; rechts: Dieselbe Aufnahme im langwelligen Infrarot. Zu sehen ist hier die unterschiedliche Aufwärmung der Fassade in der Sonne und im Schatten. Oben schwarz: der kalte Himmel
(Abbildung: L. Högner (2013): Automatische Texturierung von Fassaden aus terrestrischen Infrarot-Bildsequenzen, Dissertation, TUM)

IR/Thermosensoren

- Ziel: Erzeugung eines elektrischen Signals proportional zur Strahlungsleistung
- Realisierung:
 - Thermische Effekte – Thermische Sensoren
 - Umwandlung von Photonen in Elektronen
- Eigenschaften:
 - Strahlungsempfindlichkeit
 - Rauschverhalten



Weiterführende Literatur zu dieser Vorlesung

1. Nur Digital oder auf M.Hess Bücherregal: 3D recording, documentation and management of cultural heritage . In: Imaging, Stylianidis, Efstratios, and Fabio Remondino. *3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage*. Whittles Publishing, 2016. <http://hdl.handle.net/1854/LU-8050621>.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/ub-bamberg/detail.action?docID=4710342>
 1. Chapter 4: **Basics of Photography for Cultural Heritage Imaging**
2. Semesterapparat TB5: [Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele](#) , Luhmann, T. (2017) *Nahbereichsphotogrammetrie*. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.
 1. S.29-30, S.135-153 **Aufnahmetechnik: Physikalische Grundlagen**
3. Semesterapparat TB5: Digital heritage : applying digital imaging to cultural heritage , [MacDonald, L. W.](#) , Oxford, Butterworth-Heinemann [u.a.], 2006 , <https://katalog.ub.uni-bamberg.de/query/BV021609535>
 1. **Chapter 7: Principles and Evolution of Digital Cameras**
 2. **Chapter 8: High-resolution Imaging in the Near-Infrared**