

## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Das System Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Farbkameras
  - 3.4 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Bilderfassung
5. Software
6. Literatur / Quellen

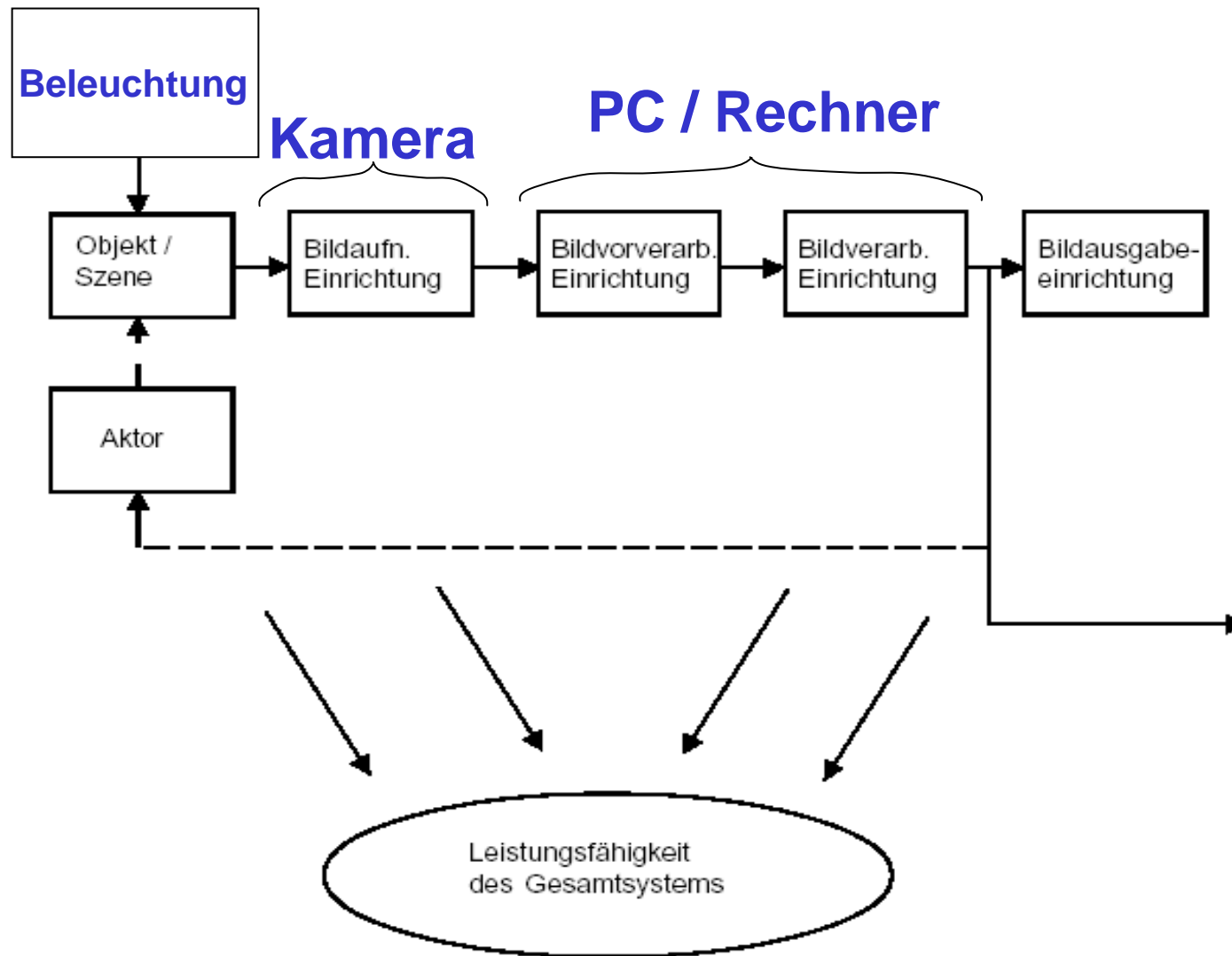


## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Das System Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Software

## Technische Komponenten von DBV-Systemen

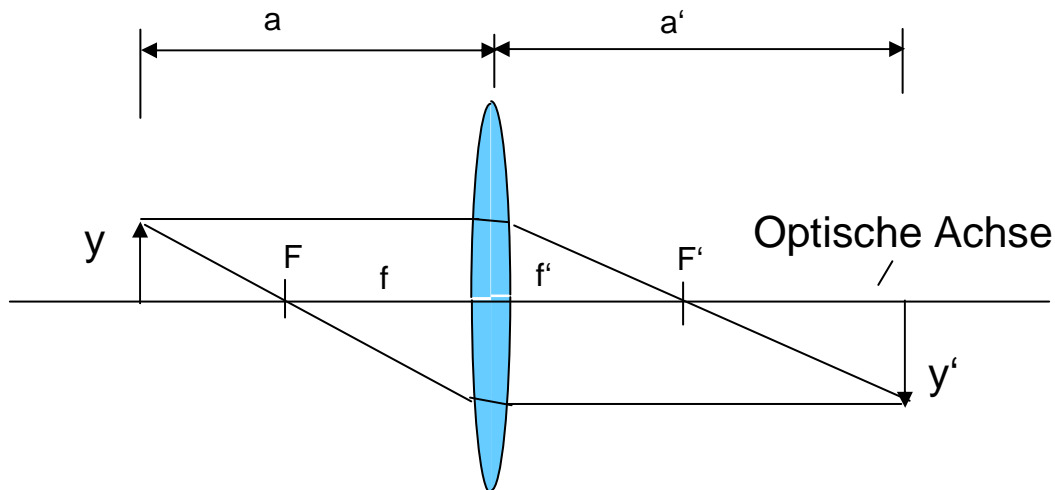
Prinzipieller Aufbau:



# 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung

## Geometrische Optik / Optische Abbildung: Dünne Linse

(näherungsweise Gültigkeit für das paraxiale Gebiet)



$f / f'$  – objekt – bzw. bildseitige Brennweite  
 $F / F'$  - objekt – bzw. bildseitiger Brennpunkt  
 $a / a'$  - Objektweite / Bildweite

### Dünne Linse / Merkmale:

- Der Abstand der beiden brechenden Flächen wird vernachlässigt
- Mittelpunktstrahlen gehen ungebrochen und ohne Parallelversatz durch die Linse hindurch,
- Objektseitige Brennweite gleich bildseitige Brennweite:  $f = f'$

### Abbildungsgleichungen:

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

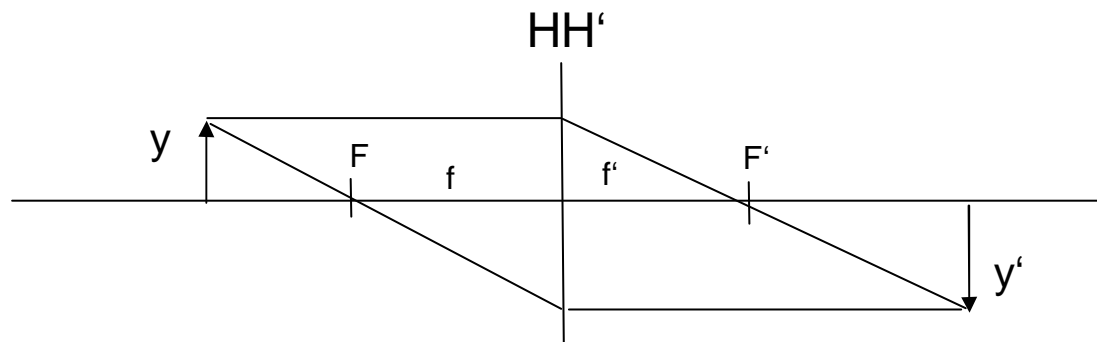
$$\frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} \quad (\text{Vergrößerung})$$

# 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung

## Geometrische Optik / Optische Abbildung: Dünne Linse

(näherungsweise Gültigkeit für das paraxiale Gebiet)

Abstrahierte Darstellung mit Hauptebenen  $HH'$  (diese fallen bei dünnen Linsen zusammen)



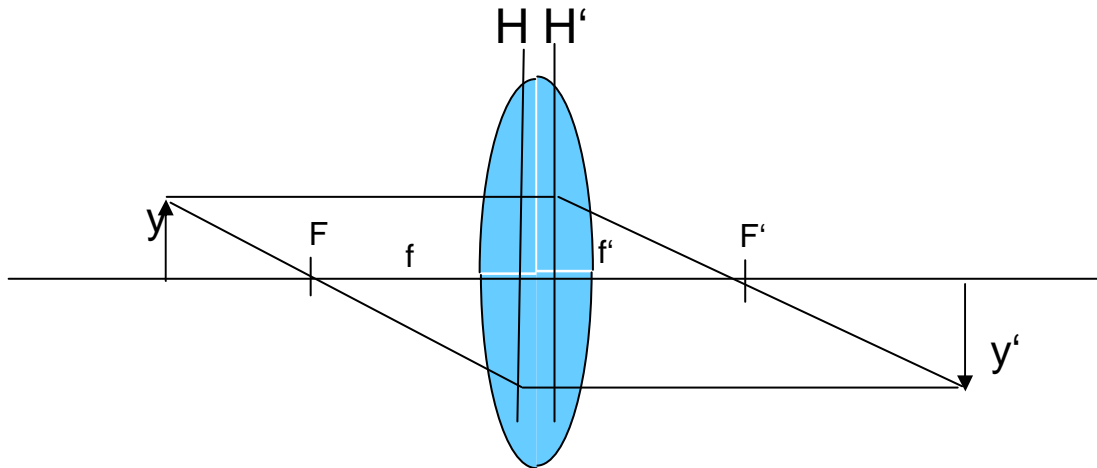
**Es gilt** (dient auch als Konstruktionshilfe):

- Parallelstrahlen werden in der Hauptebene zu Brennpunktstrahlen
- Brennpunktstrahlen werden in der Hauptebene zu Parallelstrahlen

# 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung

## Geometrische Optik / Optische Abbildung: Dicke Linse

(näherungsweise Gültigkeit für das paraxiale Gebiet)



### Dünne Linse / Merkmale:

- Der Abstand der beiden brechenden Flächen kann nicht mehr vernachlässigt werden
- Es gelten die gleichen Abbildungsgesetze und Richtlinien für die grafische Ermittlung der Abbildungsverhältnisse wie für dünne Linsen, allerdings unter Beachtung des Abstandes zwischen den Hauptebenen  $HH'$ ; alle Abstände (Brennweiten, Objekt-, Bildabstände) beziehen sich hierbei auf die jeweilige Hauptebene

## 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung

### Geometrische Optik / Optische Abbildung: Linsensysteme

(näherungsweise Gültigkeit für das paraxiale Gebiet)

Systeme mehrerer hintereinander angeordneter Linsen lassen sich rechnerisch ebenfalls auf ein System mit zwei Hauptebenen und zwei Brennpunkten zurückführen.

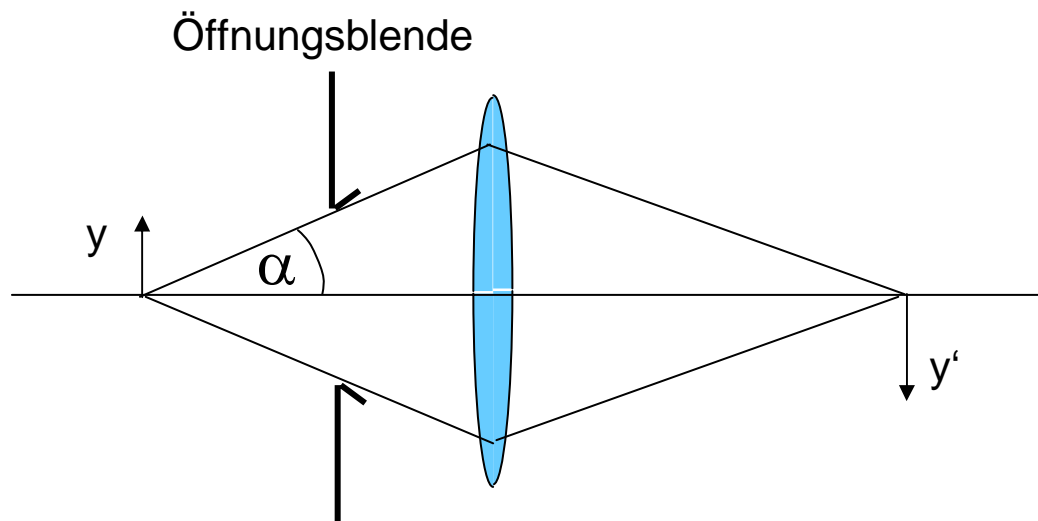
Für die Gesamtbrennweite zweier dünner Linsen gilt z.B.:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$$

$d$  – Abstand der Linsen voneinander

## 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung Geometrische Optik / Optische Abbildung: Apertur / Numerische Apertur

Apertur: Öffnung bzw. Öffnungsblende oder Aperturblende (meist kreisförmig) für den Lichteintritt in ein optisches System



Ist keine Blende als Bauelement vorhanden, so wirkt die Linsenfassung als „natürliche“ Blende

Öffnungsblenden begrenzen die einfallende Lichtstärke, nicht jedoch das Objektfeld – eine Objektfeldbegrenzung wird durch zusätzliche *Feldblenden* bewirkt

**Numerische Apertur NA**

$$NA = n \cdot \sin \alpha$$

$\alpha$  – halber objektseitiger Öffnungswinkel (Akzeptanzwinkel)

$n$  – Brechzahl des Mediums zwischen Objekt und erster Linse des Systems (meist Luft, also  $n = 1$ )



# 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung

## Geometrische Optik / Optische Abbildung: Apertur / Numerische Apertur

### Eigenschaften der numerischen Apertur

- Die Lichtausbeute und die optische Auflösung nehmen mit größerer numerischer Apertur zu.
- Die Schärfentiefe nimmt mit zunehmender numerischer Apertur ab.

Abbesche Sinus-Bedingung für die optische Auflösung:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2 \cdot NA}$$

$d_{\min}$ : kleinste auflösbare Struktur

## 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung Geometrische Optik / Optische Abbildung: Öffnungsverhältnis

Weitere gebräuchliche Kenngröße (insbes. in der Fotografie): Öffnungszahl

Öffnungsverhältnis

$D / f$

Öffnungszahl bzw. Blendenzahl

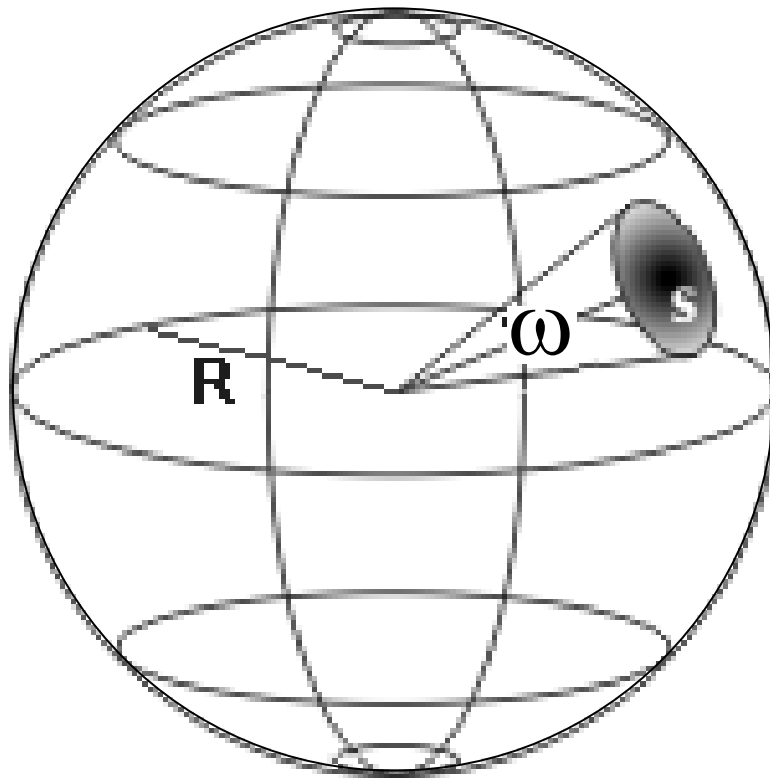
$1 / \text{Öffnungsverhältnis}$

Schreibweise	Beispiel
$1 : \kappa$	1:1,4
$1 / \kappa$	1/1,4
$f / \kappa$	f/1,4
$F \kappa$	F 1,4

Typische Schreib- bzw.  
Ausdrucksweisen

## 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

### Definition des Raumwinkels $\Omega$



Der Raumwinkel ist definiert als Fläche auf einer Einheitskugel mit dem Radius 1m, welche durch einen Kegel herausgeschnitten wird, dessen Spitze sich im Kugelmittelpunkt befindet. Die Maßeinheit heißt sr (Steradian):  $1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .

Es gilt (jeweils für 1 Halbkugel):

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\omega}{2}\right)$$

Ein Raumwinkel von **1sr** entspricht einem ebenen Winkel  $\omega$  **von 66°**

Der Raumwinkel einer Vollkugel beträgt

$$\Omega = 4\pi \text{ sr}$$

## 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

Physikalische Größe	SI-Einheit	fotometrische Entsprechung	SI-Einheit
Strahlungsenergie	J	Lichtmenge	lm·s
Strahlungsfluss $\Phi_e$	W	Lichtstrom $\Phi$	lm (lumen)
Bestrahlung $H_e$	J/m <sup>2</sup>	Belichtung <b>H</b>	lm·s·m <sup>-2</sup>
Strahlstärke <b>I</b>	W/sr	Lichtstärke	cd (candela)
Bestrahlungsstärke $E_e$	W/m <sup>2</sup>	Beleuchtungsstärke <b>E</b>	lx (lux)
Strahldichte <b>L</b> ; $L_\Omega$	W·m <sup>-2</sup> ·sr <sup>-1</sup>	Leuchtdichte <b>L</b>	cdm <sup>-2</sup>

---

### Beziehungen zwischen den fotometrischen Größen

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$$

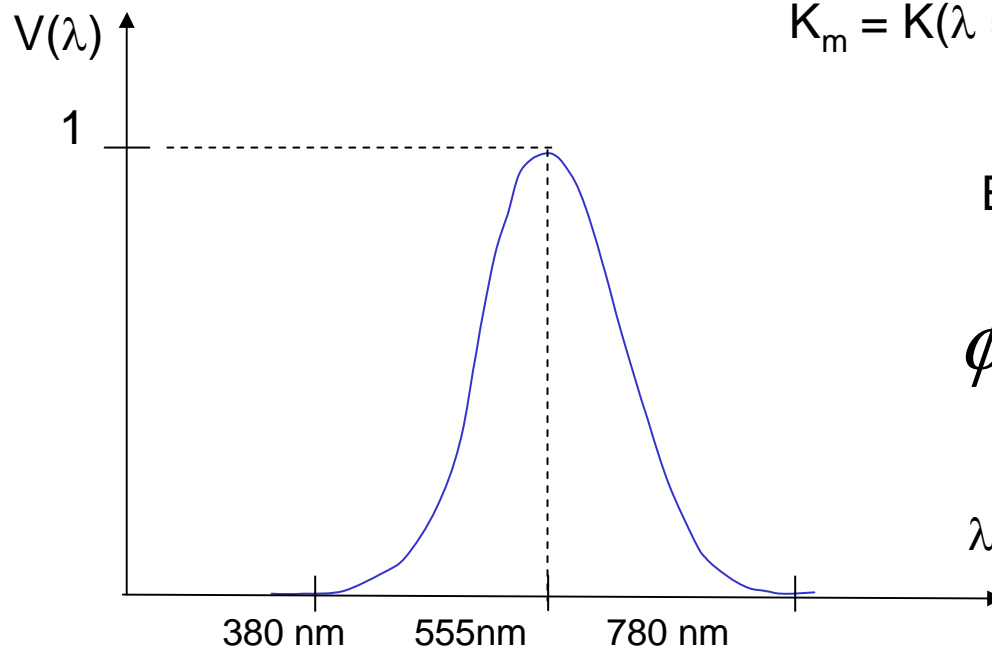
$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm sr}^{-1}$$

## 1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

Basis für die Umrechnung zwischen strahlungsphysikalischen und lichttechnischen Größen: **Fotometrisches Strahlungsäquivalent**

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda)$$

$$K_m = K(\lambda = 555\text{nm}) = 683 \text{ lumen / Watt}$$



Hellempfindlichkeit des Auges (Tagsehen)

Es gilt:

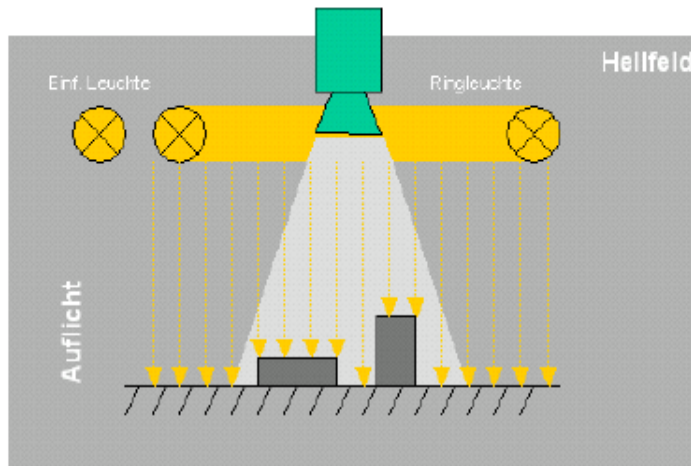
$$\phi_v = K_m \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \frac{\partial \phi_e}{\partial \lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda$$

## Gliederung

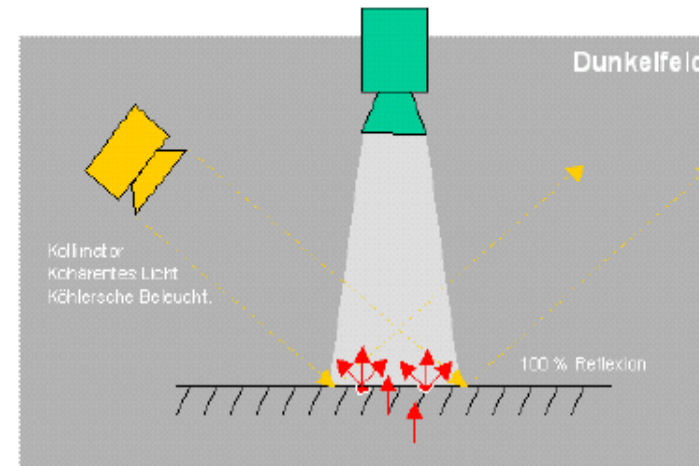
1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. **Beleuchtung**
3. Das System Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Software

## Beleuchtung

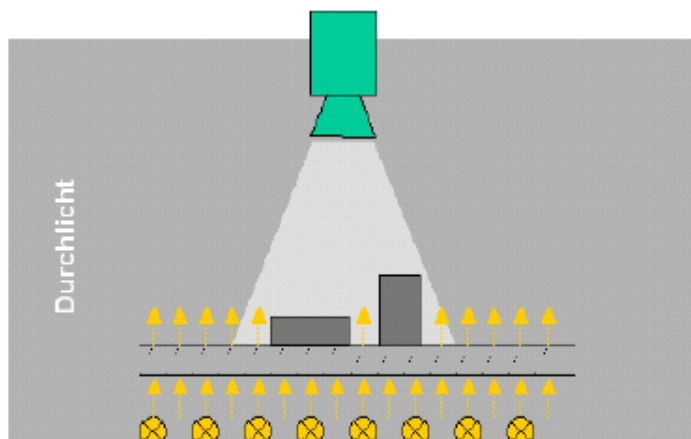
4 Arten: **Auflicht / Durchlicht**  
**Hellfeld / Dunkelfeld**



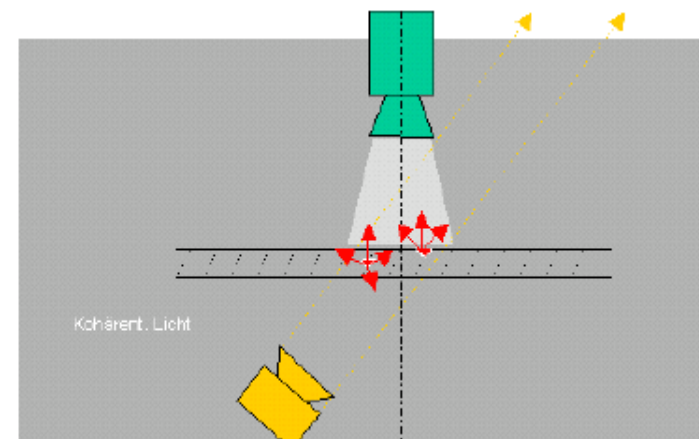
Anwendung: Nur, wenn Objekte nicht durch Silhouette unterscheidbar



Anwendung: Oberflächeninspektion von reflektierenden Flächen



Parallaxfehler beachten  $\rightarrow$  Kamerabstand  $\Rightarrow$  Objektgröße



Anwendung: Oberflächen- Volumeninspektion von durchsicht. Platten



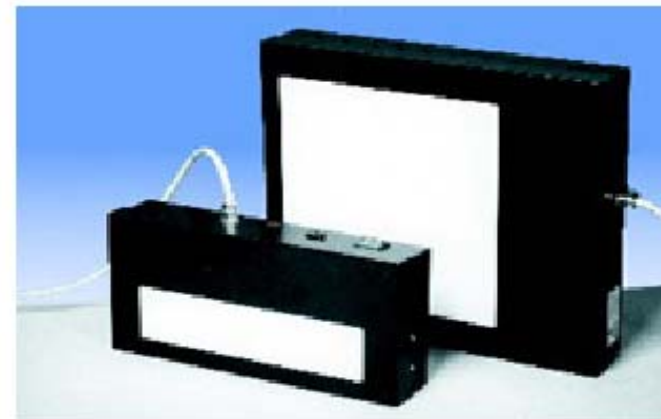
Hochfrequenz-Ringleuchten



Spezial-Auflichtbeleuchtung



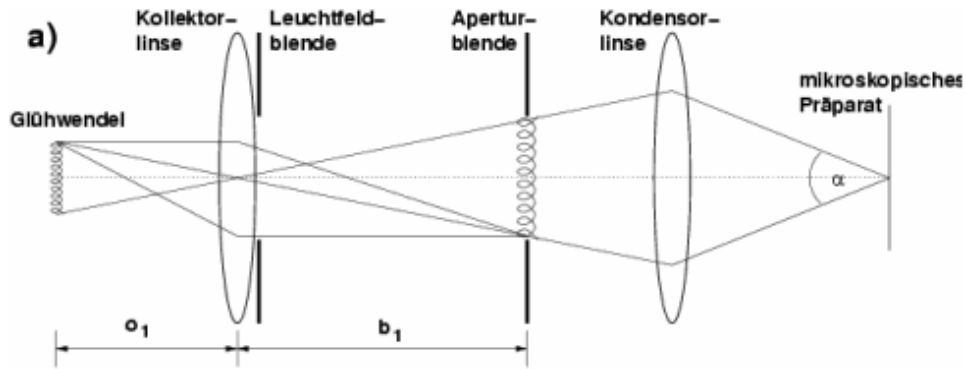
Kaltlicht-Beleuchtungen,  
Lichtleitkabel



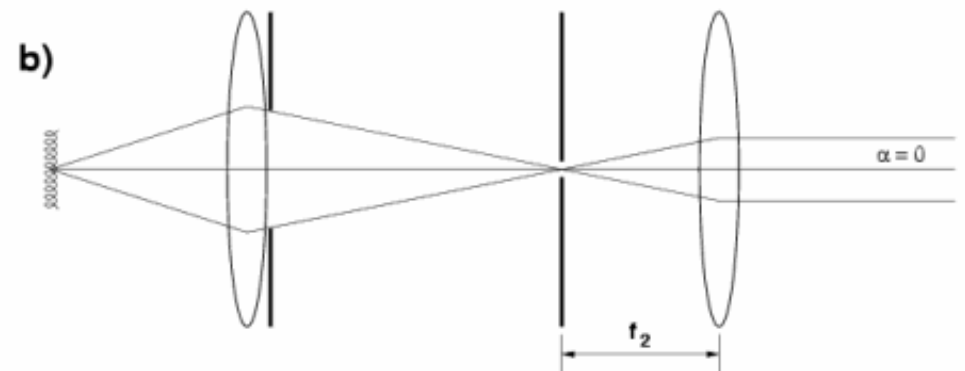
Durchlicht-Platten

Auch zunehmend im Einsatz: LED-Beleuchtungen in unterschiedlichen Ausführungen

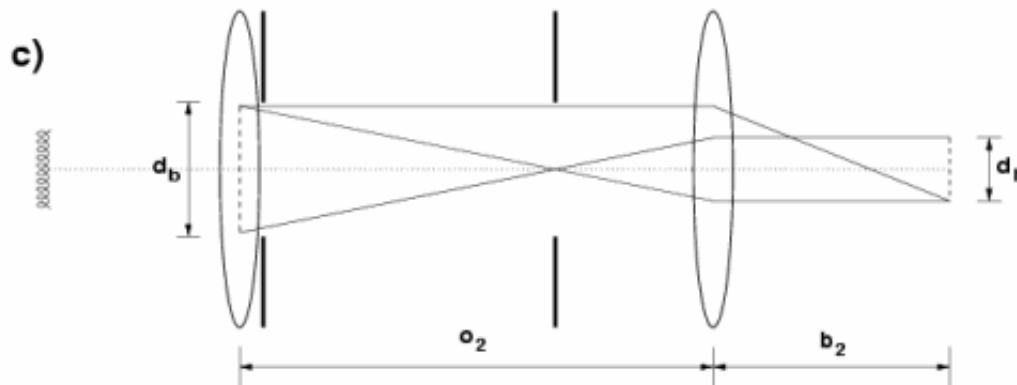




scharfe Abbildung der Glühwendel in die Ebene der Aperturblende durch die Kollektorlinse



Anordnung der Aperturblende in der Brennebene der Kondensorlinse



scharfe Abbildung der Leuchtfeldblende in der Objektebene durch die Kondensorlinse

## Merkmale

1. Unabhängige Einstellung von Apertur (Helligkeit) und Lichtfleckdurchmesser
2. Regelung der Kohärenz der Beleuchtung mit der Aperturblende
3. (nahezu) paralleles Licht

Anwendung: Mikroskopie  
(Dunkelfeldbeleuchtung / Auflicht)

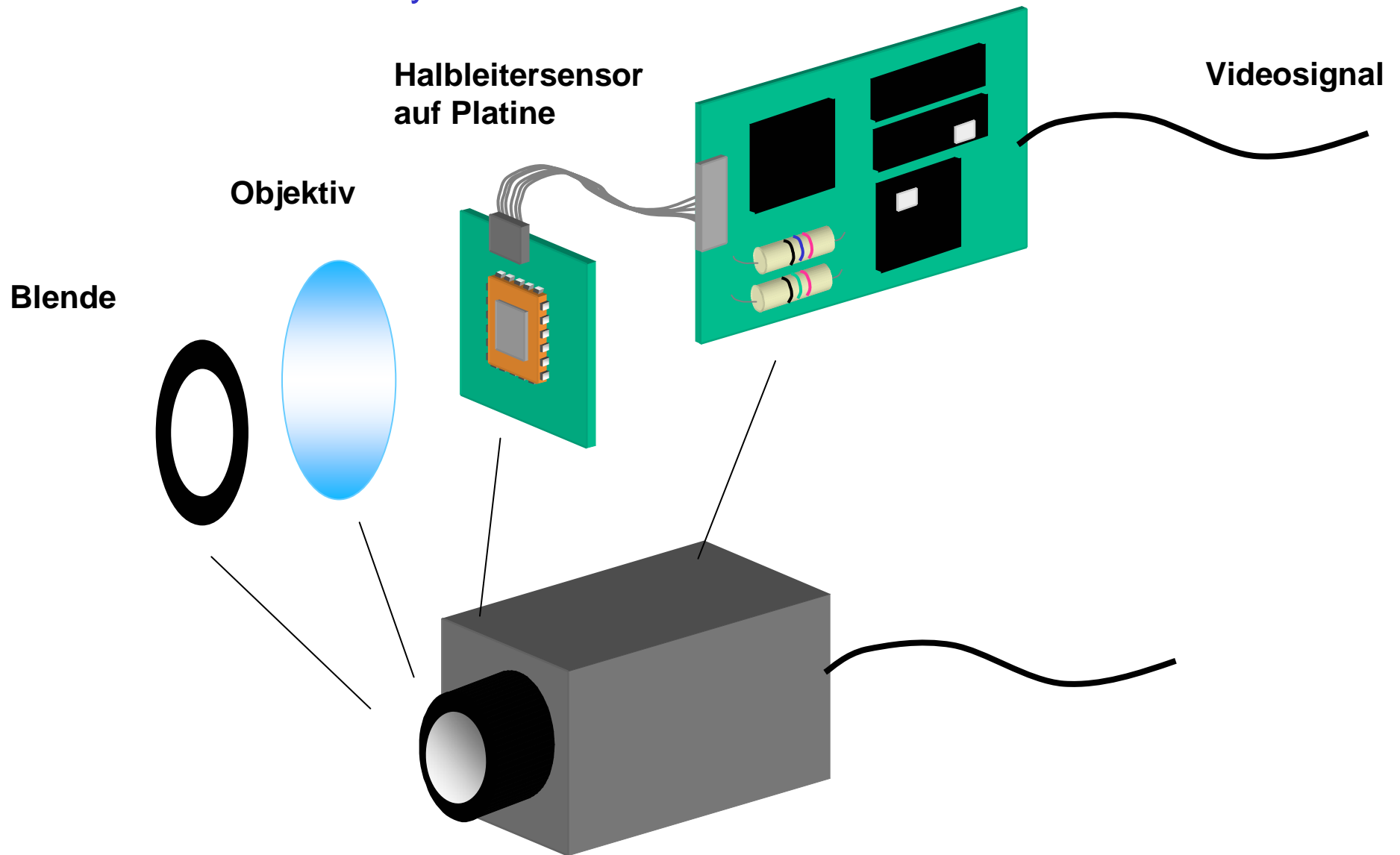
## Köhlersche Beleuchtung / Grundprinzip

## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. **Die Kamera**
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Software

## Die Kamera als Gesamtsystem

## Verarbeitungselektronik



## Kamera: Ausführungsformen



MonoStandard



MegapixelKamera



KameraModul



3-CCD-Kamera



CMOS-Kamera



Micro-Head-Kamera

Übersicht Kameras: [www.theimagingsource.com](http://www.theimagingsource.com)  
[www.imaging.de](http://www.imaging.de)

## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Die Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Software

# Kamera / Abbildungsoptik

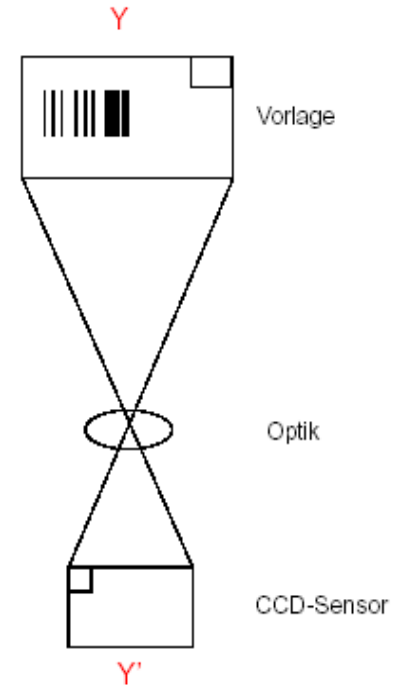
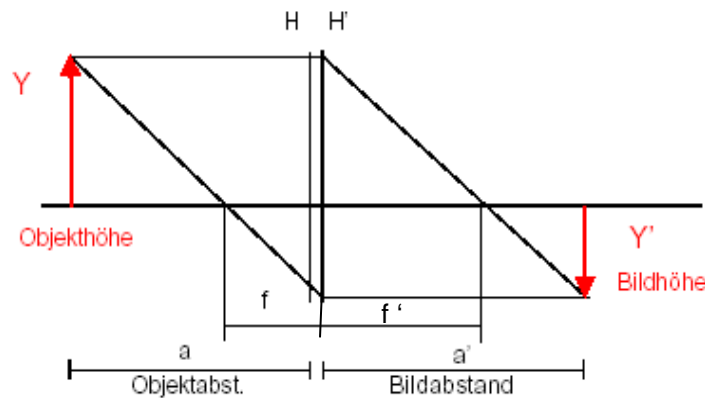
Brennweite:

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

Abbildungsmaßstab:

$$\beta = -\frac{y'}{y}$$

für kleine Abstände



Abtasttheorem:

$$f_a \geq 2 \cdot f_g$$

$$d_a \leq \frac{1}{2} T$$

$f_a$  - Abtastfrequenz  
 $f_g$  - Grenzfrequenz  
 $T$  - Periodendauer  
 $d_a$  - Abtastabstand

## Kamera / Abbildungsoptik / Objektive

### **Universalobjektive / Zoomobjektive**

- mit variablen Einstellungen von Blendenwerten / Vergrößerungen und Bildweiten
- vorrangig für wissenschaftliche und Laboranwendungen

### **Präzisionsobjektive**

- Hochwertige Optiken
- Hohe optische Auflösung
- Zusätzliche Leistungsmerkmale wie Farbkorrekturen
- geeignet z.B. für messtechnische Anwendungen und Farbbildverarbeitung

### **Universalobjektive mit festen Brennweiten und Blendeneinstellungen**

- ohne besondere optische oder messtechnische Anforderungen
- (Anwendungen z.B. in der industriellen Bildverarbeitung: Mustereerkennung, Anwesenheitskontrolle usw.)

### **Telezentrische Messobjektive**

- Abbildungsmaßstab in weiten Bereichen unabhängig von der Objektweite
- Anwendungen in der Koordinatenmesstechnik

## Kamera / Abbildungsoptik / Objektive

### **Wichtiges mechanisch-konstruktives Merkmal von Objektiven: Anschlussgewinde, z.B.**

- C-Mount (sehr häufige Verwendung)
- CS-Mount

Für die Verbindung von Kameras und Objektiven mit unterschiedlichen Anschlüssen gibt es eine Vielzahl handelsüblicher Adapter.



## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Die Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem**
  - 3.3 Farbkameras
  - 3.4 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Software

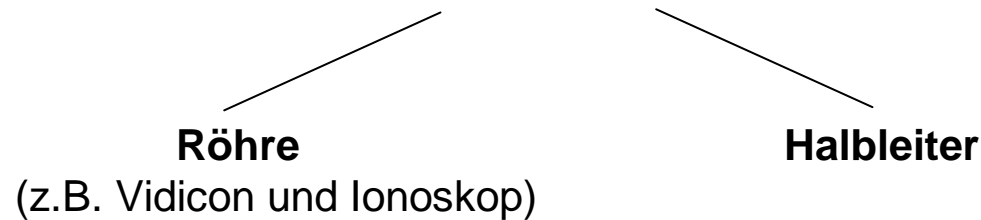
## Sensorelement / Aufnahmesystem

### Sensorelement / Kriterien für die Auswahl

- **Geometrische Auflösung (d.h. Wieviele Linienpaare sollen aufgelöst werden)**
- **Integrale Empfindlichkeit (Ansprechempfindlichkeit (in Lux), Sättigung)**
- **Spektrale Empfindlichkeit (Wellenlängenbereich, Unterschied Auge-CCD)**
- **Linearitäts- und Geometriefehler (bei CCD Geometriefehler vernachlässigbar)**
- **Dynamikbereich (GW-Dynamik)**
- **Amplitudenauflösung:**
  - Visuelle Anwendungen ca. 2 Dekaden erforderlich**
  - Meßtechnik 8-12-16 Bit (256...4096...65K) erforderlich**
  - CCD 3-4 Dekaden**
  - CMOS > 6 Dekaden**
- **S/R-Verhältnis, Dunkelstrom, Shading**
- **dyn. Verhalten (mechanisch)**
- **Lebensdauer**
- **Magnetfeldeinfluß (Röhre, Gitterschwankungen)**

## Kamera / Bildsensor

### 2 grundsätzliche Möglichkeiten der Bildaufnahme:



#### Halbleiterbildaufnehmer

z.B. CCD (charge coupled device), derzeit (noch) am gebräuchlichsten

Dimensionen: CCD-Einzelement, CCD-Zeile, CCD-Matrix

Bei einem CCD-Sensor wird das Bild über die Optik auf die Siliziumfläche projiziert.

Die Fläche besteht aus fotoempfindlichen Bildelementen (Picture Elements Pixel)  
Es entsteht ein Ladungsbild, welches anschließend in Spannungen umgesetzt wird.

## Grundsätzliche Wirkungsweise von Halbleiterbildsensoren

### Aufbau:

Arrays (Zeilen- bzw. Matrixanordnung) von lichtempfindlichen und gegeneinander abgegrenzten Bereichen; meist in Form von MOS-Kondensatoren, welche Ladungen speichern können

### Optoelektronische Wandlung

Generation von Fotolektronen mittels innerem Fotoeffekt

- entweder im MOS-Kondensator selber (CCD-Sensorprinzip) oder
- mittels zusätzlicher Fotodiode in jedem Pixel

### Ladungstransport / Auslesung:

- mittels CCD-Prinzip (CCD-Schieberegister) oder
- mittels direktem elektrischem Kontakt, Pixel einzeln adressierbar (CID-Sensoren, Photodiodenarrays, teilweise CMOS-Sensoren); die **Namensgebung** richtet sich meist nach dem **Ausleseprinzip**

## Grundsätzliche Wirkungsweise von Halbleiterbildsensoren

### Zusammenhang zwischen Bestrahlung und Ausgangssignal

Die Anzahl optisch generierter Ladungsträger ist proportional zur Bestrahlung  $H_e$ ; d. h. dem Produkt aus Bestrahlungsstärke  $E_e$  (in  $W/cm^2$ ) und der Integrationszeit  $T_i$ . Der Proportionalitätsfaktor ist die **Empfindlichkeit  $R$**  (Responsivity)

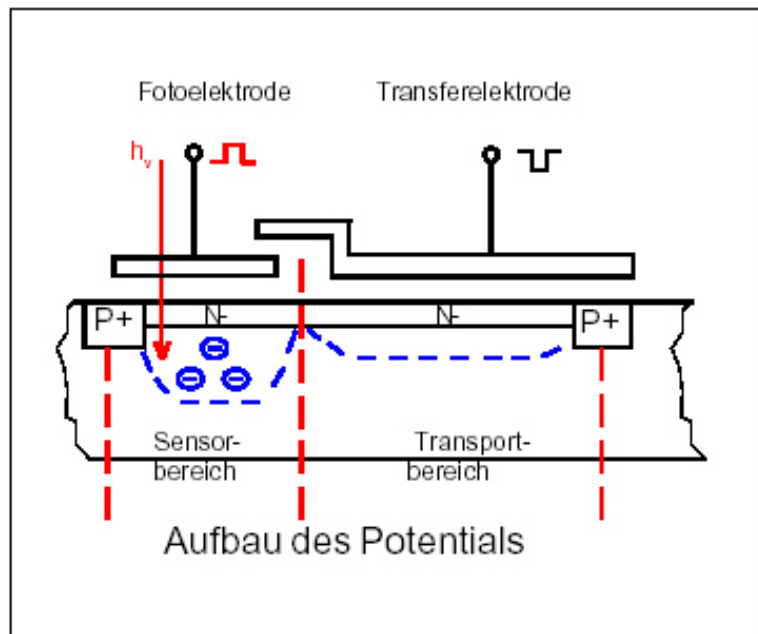
### Maximale Bestrahlung, Sättigung

Das Speichervermögen der Pixel (MOS-Kondensatoren) von Halbleiterbildsensoren ist begrenzt; es liegt je nach Pixelgröße und Technologie zwischen  $1 \cdot 10^5$  ..  $1 \cdot 10^7$

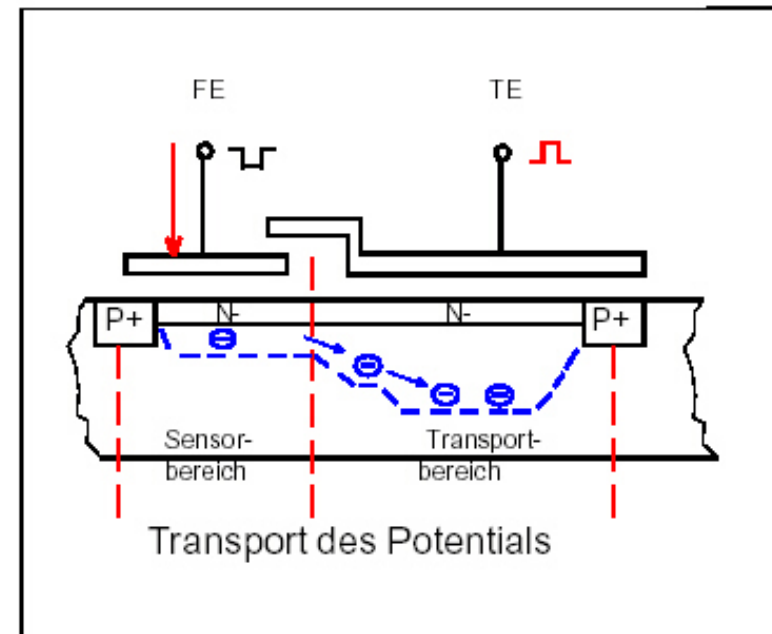
### Blooming / Anti-Blooming

Bei Überstrahlung wird die Sättigungselektronenzahl überschritten, es kommt zum Überlauf in andere Pixel ("Überstrahlung"). Dieser Effekt wird als Blooming bezeichnet. Sogenannte Antiblooming-Schaltungen leiten überschüssige Ladungen ab und verhindern so das Blooming (bis zu einem gewissen Grade).

## Halbleiter-Bildsensor (CCD, CID)



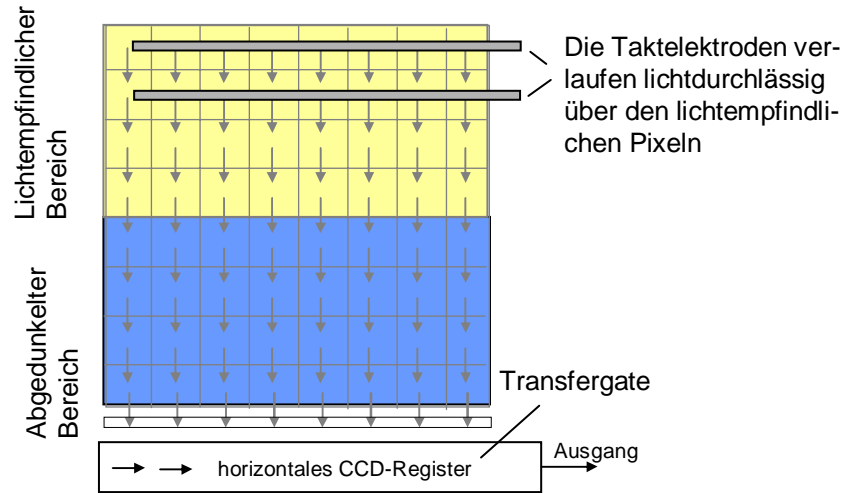
1. Integrationsphase



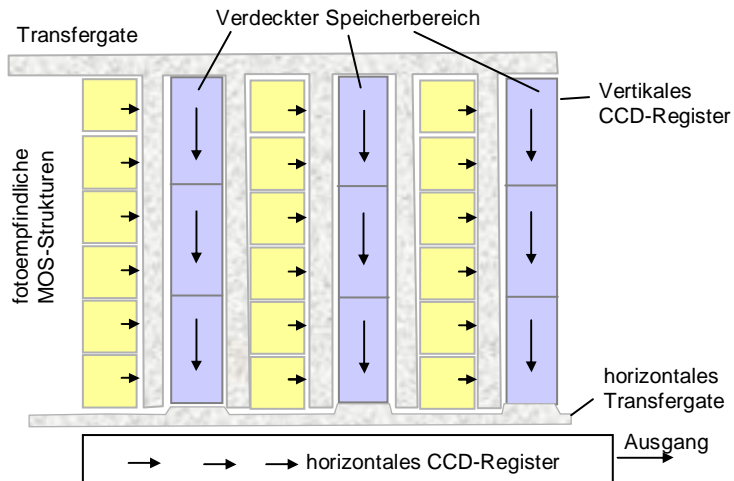
2. Transportphase

## Funktionprinzip CCD

## Arten von Halbleiterbildsensoren

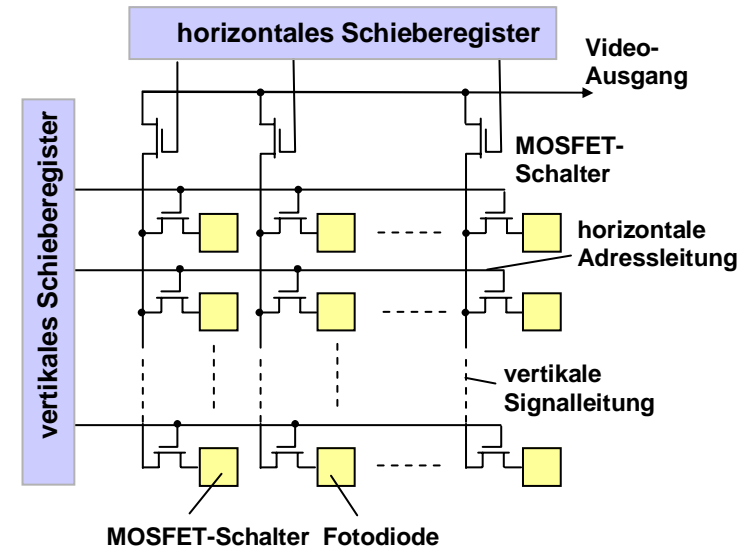


### CCD ILT Interline Transfer



### CCD FT Frame Transfer,

nicht zu verwechseln mit Full Frame Transfer



### MOS XY-adressierbarer Sensor

### CMOS-Sensoren:

ähnlich CCD, aber in CMOS-Technologie, viele Funktionen (z.B. Verstärker) on Chip, Pixel bzw. Pixelbereiche einzeln adressierbar

## Wichtige Signalparameter von Halbleiterbildsensoren

**Empfindlichkeit S, bzw. Responsivity R in V / ( $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ )**

**Es gilt:  $U_S = T_I \cdot E_e \cdot R$**

$T_I$  - Integrationszeit;  $U_S$  - Signalspannung

**Typische Werte für R bei CCD's: 1 .. 5 V /  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$**

Angabe allein nicht ausreichend ! Es sollte zusätzlich die spektrale Verteilung  $R(\lambda)$  angegeben werden (z.B. Normlicht A in Verbindung mit weiteren Filtern), für welche dieser Wert gilt.

Außerdem sollte auch die spektrale Empfindlichkeitsverteilung des Sensors angegeben werden (häufig materialtypisch, z.B. Silizium).

**Häufige Angabe der Empfindlichkeit (vor allem bei Digitalkameras im Consumer-Bereich) heutzutage in lx (physikalisch nicht exakt)**

**Aufgabe:**

Das Pixel eines CCD-Sensors ( $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ ) wird einer Bestrahlungsstärke von  $25 \text{ mW} / \text{cm}^2$  ausgesetzt. Die Sättigungsspannung beträgt 1V. Die Empfindlichkeit betrage für die verwendete Lichtart  $3 \text{ V} / \mu\text{Jcm}^{-2}$ . Wie groß ist die Integrationszeit zu wählen, damit das Spannungssignal 75% des Sättigungspegels erreicht ?



## Wichtige Signalparameter von Halbleiterbildsensoren

**Signal-Rausch-Verhältnis (SNR – Signal to noise ratio), bezogen auf den Amplitudenwert eines Pixels**

$$SNR = \frac{N_{opt}}{N_R} \approx \sqrt{N_{opt}} \quad (\text{für große Werte von } N_{opt}) \quad \text{Angabe teilweise auch in dB}$$

$N_{opt}$ : Optisch generierte Ladungsträgeranzahl  
(Bose-Einstein-Statistik)

Die maximale Ladungsträgeranzahl (Sättigungselektronenzahl) beträgt bei den meisten CCD's zwischen  $10^5$  und  $10^6$  (Spezialausführungen mehr). Man erhält somit Werte für

$SNR_{max}$  (je nach Ausführung):  $\approx 300 \dots 1000$ .

Bei CMOS-Sensoren ist das SNR höher.

Sowohl das Rauschen als auch das Signal-Rausch-Verhältnis nehmen bei Halbleiterbildsensoren mit steigender Aussteuerung zu.

## Wichtige Signalparameter von Halbleiterbildsensoren

### Dynamikumfang DR (Dynamic range)

**Verhältnis von maximalem Signal zum Rauschen bei “Null” signal (Dunkelsignalrauschen); nicht zu verwechseln mit dem SNR (Signal-Rausch-Verhältnis)**

$$D = \frac{A_{\max}}{A_{RD}} \quad A_{RD} - \text{Dunkelsignalrauschen (Effektivwert)}$$

Für CCD's gilt:

DR  $\approx 10^5 \dots 10^6$  (bei Raumtemperatur)

## Wichtige Signalparameter von Halbleiterbildsensoren

### An das SNR bzw. den DR angepasste A/D-Auflösung

„Sinnvolle“ bzw. optimale A/D-Auflösung ist gegeben, wenn der Quantisierungsfehler („Quantisierungsrauschen“) des A/D-Wandlers und der Rauscheffektivwert des Analogsignals in etwa gleich groß sind.

Wegen der Aussteuerabhängigkeit des Rauschens von Halbleiterbildsensoren wäre hierfür eine nichtlineare Quantisierung mit zunehmender Breite der Quantisierungsstufen zu höheren Aussteuerungen hin optimal.

Meist begnügt man sich mit einer Anpassung an das Rauschen bei einem mittleren Signalwert; bei CCD's sind dann Werte von 8..10 Bit für die Wandlungsbreite sinnvoll.

## Wichtige Signalparameter von Halbleiterbildsensoren

### Dunkelstrom $I_D$

Durch thermische Generation freier Ladungsträger kommt es bei Halbleiterbildsensoren auch ohne optische Bestrahlung zu einem Signal, welches temperaturabhängig ist. Dieses Signal ist wiederum rauschbehaftet (Dunkelstromrauschen).

Das Dunkelstromrauschen ist Bestandteil des Dunkelsignalrauschens, jedoch nicht mit diesem zu verwechseln. Neben dem Dunkelstromrauschen tragen weitere Rauschanteile (Transferrauschen, Verstärkerrauschen ...) zum Dunkelsignalrauschen und somit zur Begrenzung des Dynamikbereiches bei.

## Wichtige Signalparameter von Halbleiterbildsensoren

### Parameterunterschiede zwischen den Pixeln, z.B.

- **Empfindlichkeitsunterschiede,**
- **Dunkelstromunterschiede,**
- **Schwankungen des Sättigungssignals usw.**

### Gegenseitige Beeinflussung von Pixelinformationen

- **Übersprechen von benachbarten Pixeln**
- **Smearing: Ladungsverluste beim Transport, Transportvorgänge innerhalb lichtempfindlicher Bereiche führen insbesondere zu “Verschmierungen” von Bildinhalten**

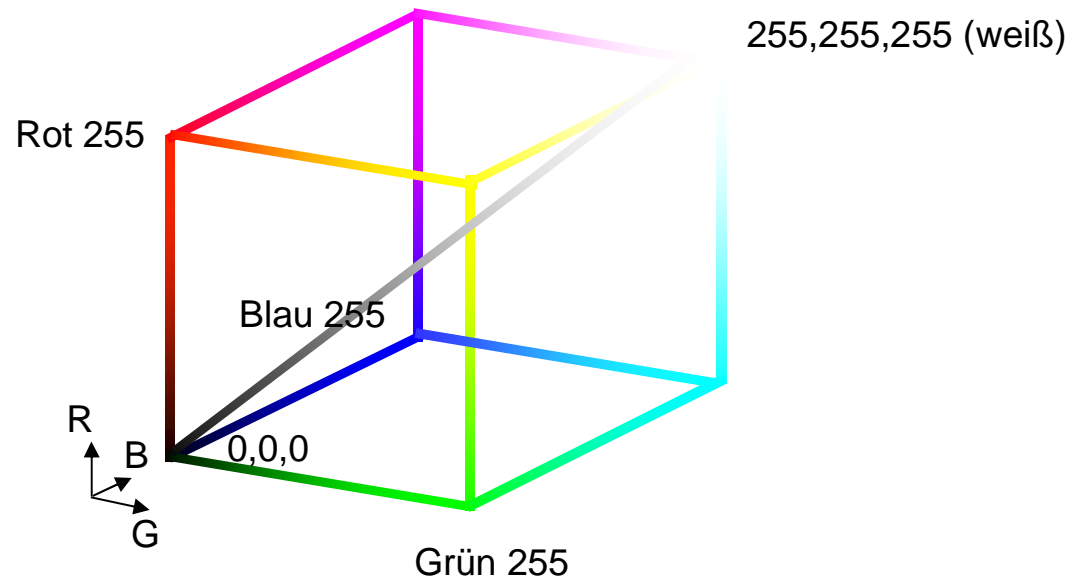
## Vorteile von CCD-Elementen gegenüber Bildaufnahmeröhren:

1. Robustheit gegenüber Vibration
2. geringes Gewicht
3. geringer Leistungsbedarf (50mW / 5 W Röhre)
4. keine Targetspannung (Betriebsspannung 3-15 V / 30-150 V Röhre)
5. keine Nachzieheffekte (Fernsehfigur „Cini“ nur mit Röhre möglich)
6. Höhere Lichtempfindlichkeit (0,5 Lux / 10 Lux)
7. Keine Geometrieverzerrungen

## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Die Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Farbkameras**
  - 3.4 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Software

## Kamera / Farbkameras: Farbsystem RGB





## Kamera / Farbkameras: Farbsystem YUV

Dieses System wurde im Rahmen des Farbfernsehensystems PAL entwickelt.

Umrechnung **RGB** in YUV:

$Y = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$ : Luminanzsignal

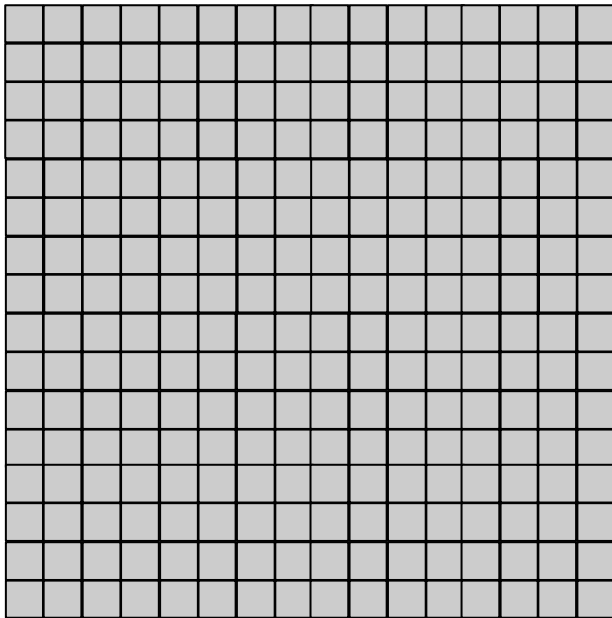
$U = (B - Y) 0,493$

U;V: Farbdifferenzsignale (Chrominanzsignale)

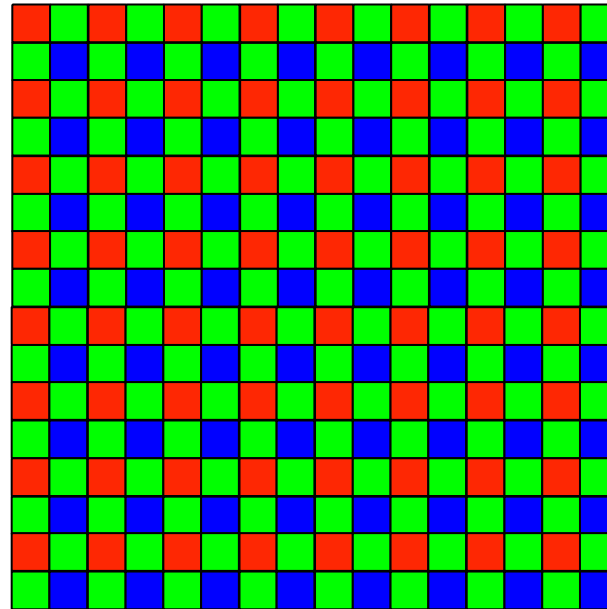
$V = (R - Y) 0,877$

**YUV-Signale sind in modulierter Form Bestandteile des Fernsehsignals FBAS der PAL- und NTSC-Fernsehnorm.**

## Kamera / Farbkameras: 1-Chip-Kameras



SW-Kamera



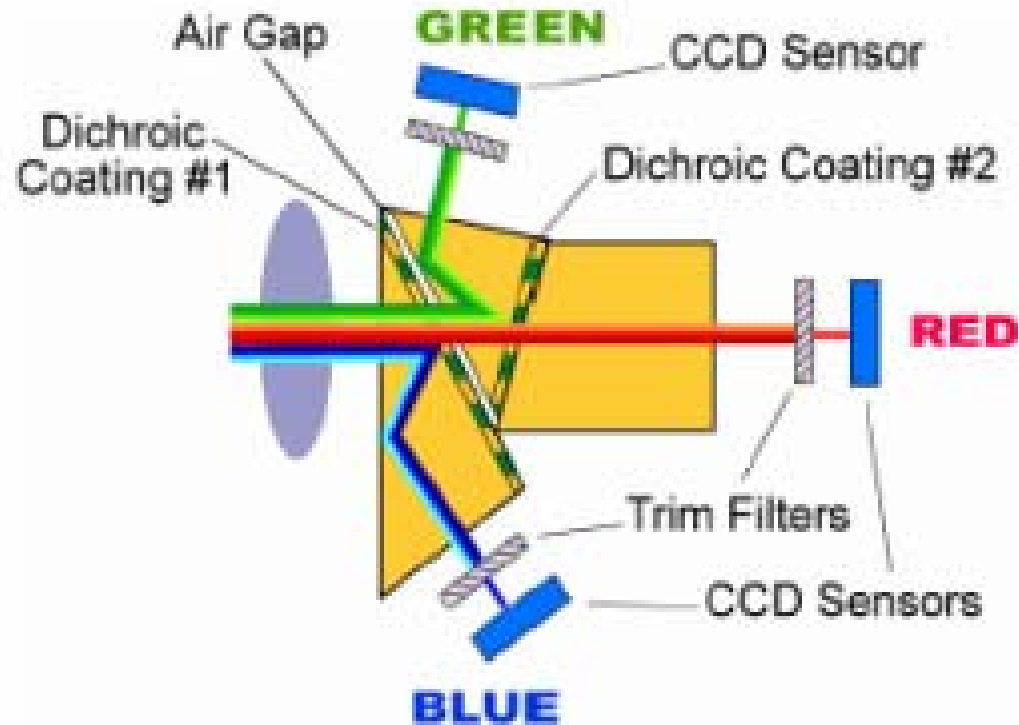
1-Chip-Farbkamera (Bayer-Sensor)

- Pixel mit Farbfiltern Rot, Grün, Blau (RGB)
- Auflösung gegenüber SW-Sensor gleicher Pixelanzahl:  
Grün: 50%; Rot/Blau: 25%

### Vor- und Nachteile im Vergleich zu 3-Chip-Kameras:

- geringerer Fertigungsaufwand
- geringere Auflösung
- Einsatz in Anwendungen mit vergleichsweise geringem Ansprüchen

## Kamera / Farbkameras

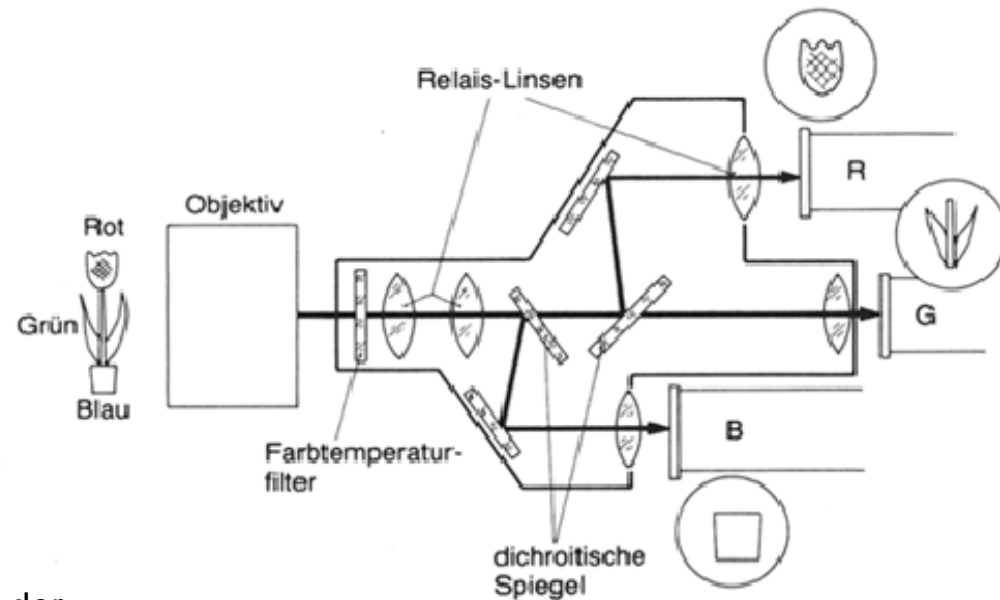


3-CCD-RGB-Konfiguration

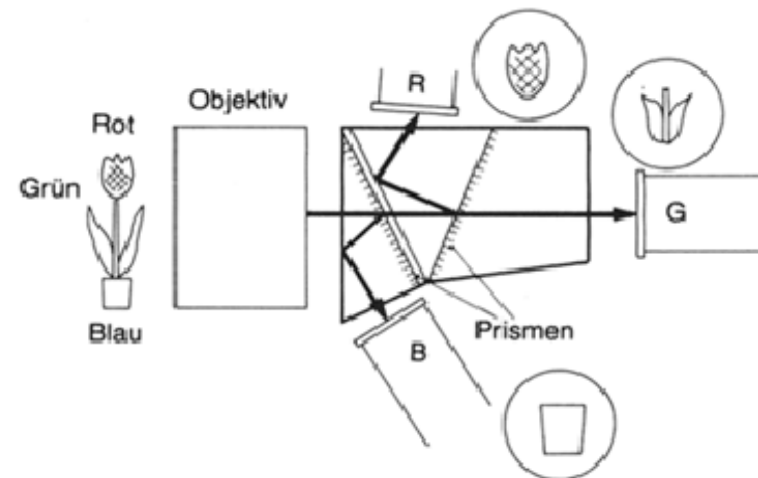
# Kamera / Farbkameras

## Vor- und Nachteile von 3-Chip-Kameras im Vergleich zu Einchip-Kameras

- höhere geometrische Auflösung
- höherer Justage- und Positionieraufwand in der Fertigung
- 3 Sensorchips erforderlich
- Einsatz für anspruchsvolle Anwendungen



System mit dichroitischen Spiegeln



Prismensystem

Die Farbaufteilung in einem Kamerakonzept mit drei Bildaufnehmern erfolgt entweder durch ein System aus dichroitischen Spiegeln oder einer Prismenanordnung.

## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Die Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Farbkameras
  - 3.4 Verarbeitungselektronik**
4. Rechnerschnittstelle / Frame Grabber
5. Rechner / Software

## Verarbeitungselektronik von Bildverarbeitungskameras

### bei Analogkameras / Standardausführungen:

**Umwandlung und Aufbereitung des Datenstromes des Matrixsensors in ein genormtes Videosignal, meist nach**

- **NTSC-Norm (US-amerikanische Fernsehnorm) mit 60 Halbbildern je s (30 Hz Vollbild)**
- **PAL-Norm (europäische Norm) mit 50 Halbbildern je s (25Hz Vollbild)**

**Es werden immer zwei aufeinander folgende Halbbilder übertragen (Zeilensprungverfahren); in der weiteren Bildverarbeitung wird häufig nur ein Halbbild genutzt.**

# Verarbeitungselektronik von Bildverarbeitungskameras

## Besondere Ausführungen / innovative Entwicklungen

- **Progressive scan-Verfahren (Vollbildverfahren):** komplette Übertragung von Vollbildern
- **Digitalkameras:** Die A/D-Wandlung erfolgt bereits in der Kamera; diese stellt dann einen digitalen Datenstrom zur Verfügung, mit welchem über eine digitale Schnittstelle, je nach Einstellung, Live-Bilder oder Standbilder übertragen werden.
- **Kameras mit höherer Auflösung:** stellen Bilder mit höherer als durch die bisherigen Videonormen festgelegten Auflösungen bereit (z.B. Megapixelkameras)
- **Smart Kameras / intelligente Kameras:** die gesamte Bildverarbeitung findet in der Kamera statt; diese verfügt hierfür über einen speziellen Prozessor (z.B. Micro-Controller oder Signalprozessor); alle Komponenten und Funktionen (bis auf die Beleuchtung, teilweise aber auch diese) sind in einem Gehäuse integriert)

# Verarbeitungselektronik von Bildverarbeitungskameras

**Ansteuerung von Kameras / Einbindung in Taktstraßen / Förderstrecken usw.**

**Realisierung mittels getriggelter Systeme**

- bei Synchron-Kameras wird nach eingehendem Trigger-Signal das nächste (Halb oder Voll)-Bild ausgewertet, **Nachteil: Versatz von maximal der Dauer einer Halbbild- oder Vollbildintegration zwischen Trigger und Bildaufnahme**
- Bei Asynchron-Kameras wird nach eingehendem Trigger der aktuelle Belichtungszyklus unterbrochen, die Ladungspakete ausgelesen und sofort mit einem neuen Belichtungszyklus begonnen; der zeitlicher Versatz hierbei entspricht der Auslesezeit und ist somit deutlich kürzer als bei Synchron-Kameras

**Bei getriggerten Kameras ist stets eine sorgfältige Synchronisation zwischen Kamera und Rechnerschnittstelle (Frame Grabber) erforderlich.**

**Terminologie: häufig herstellerspezifisch, z.B. Asynchron Reset oder Restart Reset für Asynchron-Kameras**



## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Die Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Farbkameras
  - 3.4 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Bilderfassung
5. Rechner / Software

## Bilderfassung / Analoge Frame Grabber

Schnittstellenkarten zur Bilderfassung von Analogen Videoquellen

### Aufgaben

- Bilddigitalisierung (A/D-Wandlung),
- Abspeicherung des Bildes auf dem Rechnerspeicher oder auf eigenem Speicher (optional),
- Kommunikation mit der Grafikkarte z.B. zur Darstellung von Live- und Standbildern, teilweise auch kombinierte Frame Grabber-Grafikkarten,
- Erzeugen von Grafik-Overlays auf Live- und Standbildern,
- Sonderfunktionen ...

### Analoge Frame Grabber unterscheiden sich hinsichtlich

- Datenraten
- Videonormen / Auflösungen
- Anzahl der Kanäle
- ...

## Bilderfassung / Digitale Frame Grabber

Schnittstellenkarten zur Bilderfassung von digitalen Videoquellen

### Aufgaben

- Wie analoge Frame Grabber, aber ohne Digitalisierung
  
- Meist höhere Datenraten als Analoge Frame Grabber

## Gliederung

1. Allgemeiner Überblick / Wiederholung
2. Beleuchtung
3. Die Kamera
  - 3.1 Abbildungsoptik
  - 3.2 Sensorelement / Aufnahmesystem
  - 3.3 Farbkameras
  - 3.4 Verarbeitungselektronik
4. Rechnerschnittstelle / Bilderfassung
5. Rechner / Software

## Rechner

### Plattformen

- PC (Büro-PC für Labor- und wissenschaftliche Anwendungen)
- Industrie-PC für industrielle Standardanwendungen, teilweise auch für Labor- und wissenschaftliche Anwendungen
- Workstations für rechenintensive Anwendungen
- Microcontroller höherer Leistungsklassen für einfache Embedded-Anwendungen (Integrierte Lösungen mit Smart-Kameras, bzw. Bildverarbeitungskameras)
- Signalprozessoren für aufwändige Embedded-Lösungen

## Software

- Höhere Programmiersprachen (vorrangig C/C++), teilweise werden Softwarebibliotheken mit C/C++-Unterstützung (der Umfang reicht von einfachen Speicherzugriffen bis zu komplizierten Algorithmen) von Frame Grabber-Lieferanten mit angeboten
- Softwaresysteme von Systemhäusern bzw. BV-Unternehmen mit komfortabler Programmierung oder auch nur Parametrierung, häufig mit offenen Programmierschnittstellen (Einbinden von eigenen Routinen, welche z.B. mit C/C++ erstellt wurden oder von lauffähigem Code)

## Einige wichtige Befehle / Anweisungen in C zu Variablendefinitionen und Schleifen

### Struktur des Hauptprogramms

**void main()**

```
{  
Definitionen,  
Anweisungen  
}
```

### Variablendefinitionen mit und ohne Wertzuweisung

**void main()**

```
{  
int i; int j = 3;
```

```
real a; real b = 5,35;
```

```
.  
. .  
. .  
}
```

## Einige wichtige Befehle / Anweisungen in C zu Variablendefinitionen und Schleifen

### Felder; Arrays

```
void main()

{
int line[10];           // definiert ein Feld von Integer-Werten mit line[0] .. Line[9]

int image[720][540];   // Definition eines 2- dimensionalen Feldes des Typs integer

line[3] =5;             // Zugriff auf ein Feldelement
}
```



## Einige wichtige Befehle / Anweisungen in C zu Variablendefinitionen und Schleifen

### Schleifen

#### **for-Schleife**

```
for (Initialisierung; Ausdruck 1; Ausdruck 2)
    {Anweisungen}
```

#### *Beispiel*

```
.
.
int a[10];

for (int i = 0; i < 10; i++)
    a[i] = 2*i; // umfasst der Schleifenkörper nur einen
                // Befehl, dann kann die geschweifte
                // Klammer weggelassen werden
:
```

#### **while-Schleife**

```
while Bedingung
```

```
{Anweisung(en);}
```

Der Schleifenkörper wird so oft durchlaufen, wie die Schleifenbedingung erfüllt ist

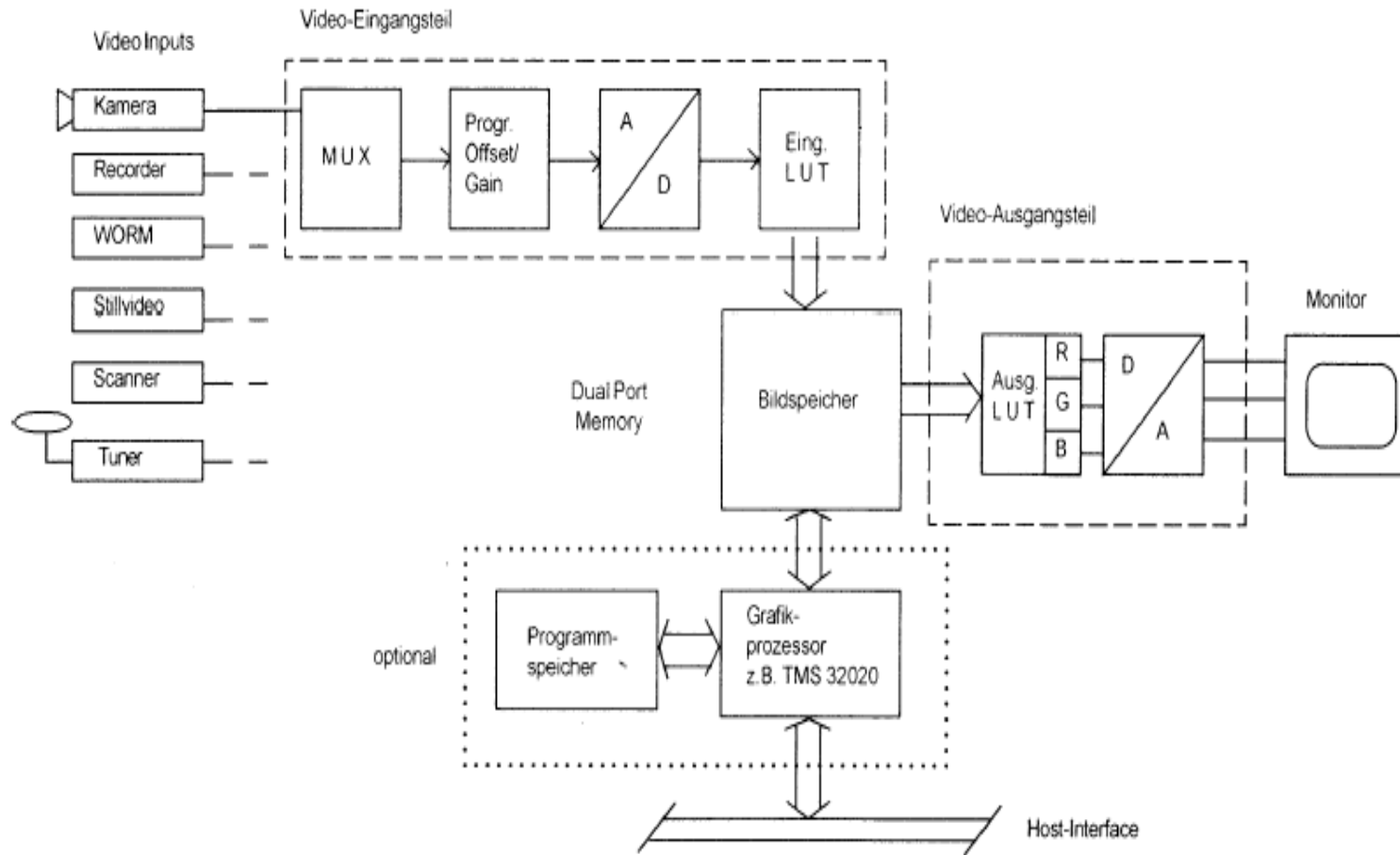
#### **do while-Schleife**

```
do
```

```
{Anweisung(en);}
```

```
while Bedingung;
```

Der Schleifenkörper wird mindestens einmal durchlaufen



## Aufbau von Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungssystemen

## 6. Literatur / Quellen

- /1/ Bässmann, H.; Kreys, J.: Bildverarbeitung Ad Oculos, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 2004
- /2/ [www.stemmer-imaging.de](http://www.stemmer-imaging.de) (Komponenten)
- /3/ [www.datatranslation.de](http://www.datatranslation.de) (Software, Frame Grabber)
- /4/ Schroeter, T.: Skripte zur Vorlesung Mikroprozessortechnik / C/C++ - Programmierung. internes Lehrmaterial der FH Jena, Jena 2004