

## A2. Fototechnik und digitale Bildbearbeitung

A2.1 Grundlagen der Fototechnik ←

A2.2 Digitale Fotografie

A2.3 Scanner

A2.4 Bearbeitung digitaler Bilder

### Literatur:

E. Eibelshäuser, Fotografische Grundlagen, dpunkt 2004

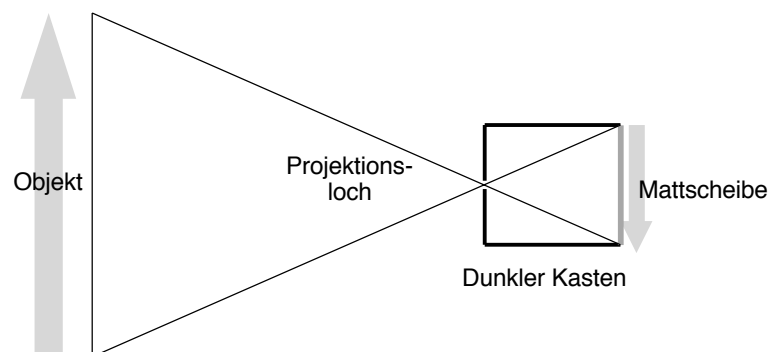
J. Gulbins, Grundkurs Digital Fotografieren, dpunkt 2004

J. Webers, Handbuch der Film- und Videotechnik, 7. Auflage,  
Franzis 2002, Kap. A.1-2, A.5, B.1, C.3

<http://www.fotolehrgang.de>

## Lochkamera (*camera obscura*)

- Seit der Spätrenaissance bekannt
  - anfangs als Vorlage zum Zeichnen, z.B. von Landschaftsszenen

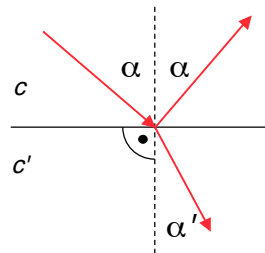


## Optische Grundprinzipien

- Reflexion (lichtundurchlässiges Medium):
  - Einfallender Strahl, Einfallslot, ausfallender Strahl: eine Ebene
  - Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Brechung (lichtdurchlässiges Medium):
  - Einfallender Strahl, Einfallslot, gebrochener Strahl: eine Ebene
  - Brechung bestimmt durch Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in den beiden (physikalischen) Medien (z.B. Glas und Luft)

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} = \frac{c}{c'}$$

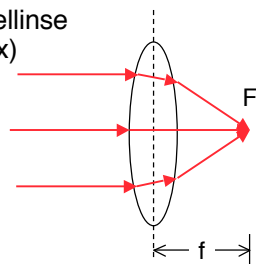
$n$  Brechungszahl  
 $c, c'$  Ausbreitungsgeschwindigkeiten



- Optisches Glas: definierte Brechungszahl
- Vergütung: Beschichtung (Metallbedampfung) zur Vermeidung von Reflexion

## Linsenoptik, Brennweite

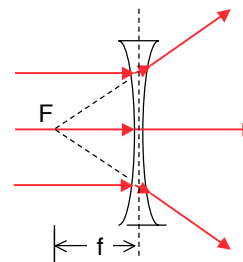
Sammellinse  
(konvex)



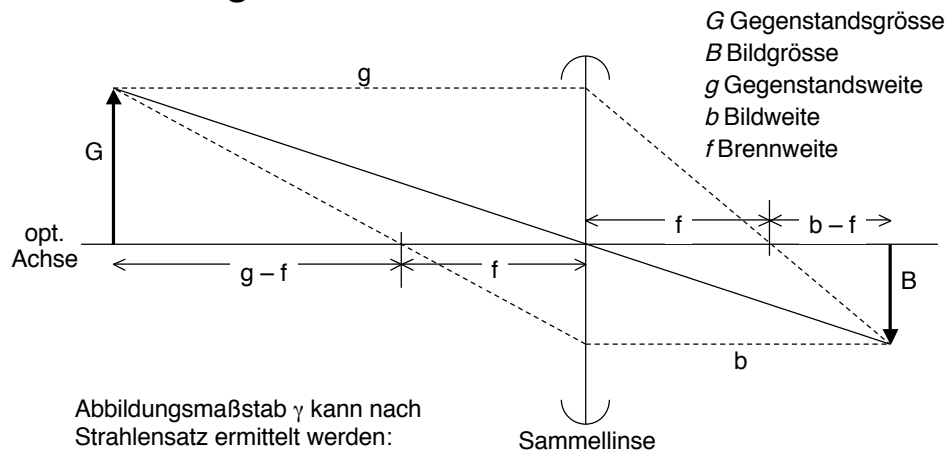
- $f$  = Brennweite (*focal distance*)
- $F$  = Brennpunkt (*focal point*)

- *Objektive* sind komplexe Kombinationen von Linsen mit der Gesamtwirkung einer sehr guten Sammellinse
- Brennweite kann fest oder verstellbar sein (*Zoom-Objektiv*)

Zerstreuungslinse  
(konkav)



## Abbildungsmaßstab



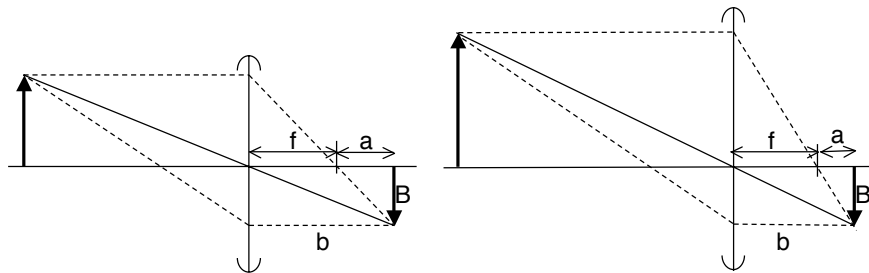
Abbildungsmaßstab  $\gamma$  kann nach Strahlensatz ermittelt werden:

$$\gamma = \frac{B}{G} = \frac{f}{g-f} = \frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$$

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

## Fokussierung

- *Fokussieren* bedeutet Festlegung der Gegenstandsebene (= Ebene, in der Gegenstände scharf abgebildet werden)
- Bildgröße und Brennweite bleiben konstant
- Verändert wird die Lage der Linsenebene des Objektivs auf der optischen Achse
- Bewegung auf die Bildebene zu:  
Weiter entfernte (und größere) Objekte scharf abgebildet



## Beispiel zur Fokussierung

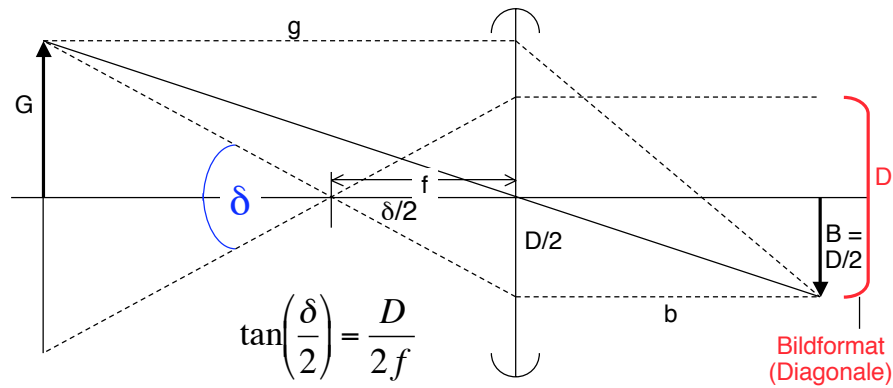


Suzhou, China  
© aller Fotos: Heinrich Hussmann

## Autofocus-Systeme

- Automatische Fokussierung
  - Stellmotor verändert Bildweite
  - Sensor misst Schärfenunterschiede
  - Hilfslicht für Dunkelheit
- Typisches Funktionsprinzip: Kontrastmessung
  - Problematisch bei manchen Motiven
- Funktionen gut ausgestatteter Kameras:
  - Mehrfeldmessung, manuelle oder automatische Umschaltung
  - Automatische Wahl des Messfeldes kürzester Aufnahmedistanz
  - Verfolgen von Objekten
  - Prädiktion von Bewegungen
  - Schärfepriorität vs. Auslösepriorität

## Bildwinkel



- Der Bildwinkel eines Objektivs hängt nur vom Bildformat und der Brennweite ab.

## Objektivbrennweiten und Aufnahmeformat

- "Normalobjektiv":
  - Brennweite = Bildformat-Diagonale
  - Bildwinkel ungefähr 45°, ähnlich menschlicher Wahrnehmung
- Standard-Fotoformat "Kleinbild" (basiert auf 35mm-Kinofilm)
  - Bildformat 24 x 36 mm
  - Bilddiagonale 43,27 mm
  - Normalobjektiv-Brennweiten 45 bis 50 mm
- Beispiel einer Digitalkamera (Canon PowerShot G2):
  - Objektivbrennweiten (7-21 mm) beziehen sich auf wesentlich kleineres Bildformat!
  - Sensordiagonale der Kamera 8,98 mm
  - Damit sind 9 mm Brennweite "normal"!
  - Prospektangaben für Brennweiten bei Digitalkameras oft umgerechnet auf Kleinbildformat ("KB-Äquivalent")



## Praktikum...



Digitale Spiegelreflex-Kamera

Viele Einstellmöglichkeiten  
Relativ großer Sensor  
Kleiner als "Kleinbild"!

Weit verbreitete Sensorgröße:  
"DX" =  
Format des APS-C  
(Advanced Photo System)-Films =  
22 x 15 mm  
Diagonale 27 mm  
"Normalobjektiv" ca. 30 mm

Faustregel für Fotografen, die an  
Kleinbild-Brennweiten gewöhnt sind:  
DX-Brennweite \* 1,5 = KB-Brennweite

## Objektivbrennweiten

- Normalobjektiv:
  - Bildwinkel ca. 45°
  - Bei Kleinbild ca.  $f = 50$  mm
- Teleobjektiv:
  - Kleiner Bildwinkel, Fernrohreffekt, vergrößert
  - Bei Kleinbild typischerweise  $f = 100-200$  mm  
(Bildwinkel bei 100 mm: 24°, bei 200 mm: 12°)
- Weitwinkelobjektiv:
  - Großer Bildwinkel, Panoramaeffekt, verkleinert
  - Bei Kleinbild typischerweise  $f = 35$  mm  
(Bildwinkel 65°)
- Fisheye-Objektiv:
  - Extreme Verkleinerung, Rundumblick
  - Bei Kleinbild  $f = 20$  mm und darunter  
(Bildwinkel bei 20 mm: 95°)
  - Fast 180° Bildwinkel und kreisrunde Abbildung  
möglich, keine korrekte perspektivische Projektio
- Zoomobjektiv:
  - Veränderliche Brennweite
  - Z.B.  $f = 7-21$  mm ist sogenanntes 3x-Zoom

Normal



Weitwinkel

## Verschiedene Brennweiten am gleichen Motiv (1)



10 mm DX  
(15 mm KB)



20 mm DX  
(30 mm KB)



35 mm DX  
(50 mm KB)

## Verschiedene Brennweiten am gleichen Motiv (2)



50 mm DX  
(75 mm KB)



70 mm DX  
(100 mm KB)



200 mm DX  
(300 mm KB)

## Beispiele Superweitwinkel (Fisheye)



## Verschiedene Perspektiven

- Weitwinkel: räumliche Tiefe
- Tele: "Heranholen" entfernter Objekte, Verflachung



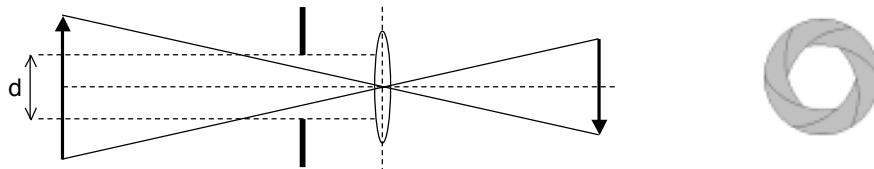
Xi'an, China





## Blendenöffnung

- Objektive haben nur einen endlichen Durchmesser der Eintrittsöffnung
- Mit mechanischen Blenden (v.a. Irisblende) kann der Durchmesser künstlich verkleinert werden:



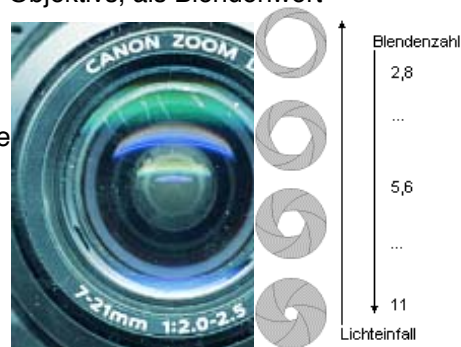
- Stärker geschlossene Blende macht das Bild dunkler, bei unveränderter Größe, Ausleuchtung, Schärfe (bzgl. der Fokusebene), etc.
- Maß für die Blendenöffnung:
  - relativ zur Brennweite (da Objektivöffnung für kleinen Bildwinkel bei gleicher Lichtstärke grösser sein muss)
  - Quotient aus Eintrittspupille ( $d$ ) und Brennweite ( $f$ ):  $r = \frac{f}{d}$

## Blendenwerte, Lichtstärke

- Blendenwerte sind prinzipiell Zweierpotenzen: 1, 2, 4, 8, 16, 32
  - 1 bedeutet: Pupillengröße gleich Brennweite
  - Halbe Pupillengröße (Wert 2) liefert 1/4 der Lichtmenge
  - Zwischenschritte mit Faktor  $\sqrt{2}$  (1,4) ergeben Halbierung der Lichtmenge: 0,7; 1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32

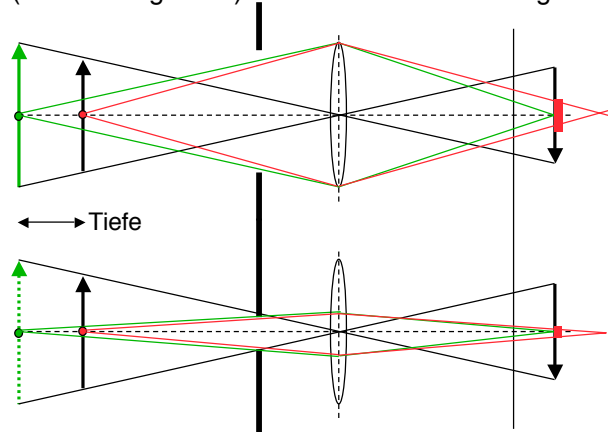
- *Lichtstärke* = Maximale Öffnung des Objektivs, als Blendenwert
- Hoher Wert = kleine Öffnung !
- Typische Objektivbezeichnung:  
f = 50 mm; 1:1,4
- Bei Zoomobjektiven variiert meist die Lichtstärke mit der Brennweite

f = 7-21 mm; 1:2.0-2.5 bedeutet;  
Lichtstärke 2.0 bei 7 mm;  
Lichtstärke 2.5 bei 21 mm



## Schärfentiefe (1)

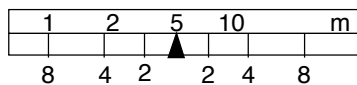
- Gegenstände vor oder hinter der Gegenstandsebene des Objektivs (entsprechend der Fokussierung) werden *unscharp* abgebildet, d.h. ein Gegenstandspunkt entspricht einem kreisförmigen Fleck im Bild (Zerstreuungskreis). Sehr kleiner Zerstreuungskreis = "scharfes" Bild



Bei kleiner Objektivöffnung verkleinern sich auch die Zerstreuungskreise: Der Bereich der (fast) scharf abgebildeten Objekte in der Tiefe der optischen Achse wird größer.

## Schärfentiefe (2)

- *Schärfentiefe* (auch „*Tiefenschärfe*“ verwendet):
  - Zulässiger Tiefenunterschied zwischen Gegenständen einer Szene, so dass Zerstreuungskreis innerhalb gegebener Schärfetoleranz liegt.
  - "Umgebung" auf der Entfernungsskala zur aktuellen Entfernungseinstellung
- Zusammenhänge: Höhere Schärfentiefe wird erreicht durch...
  - ... kleinere Blendenöffnung (höherer Blendenwert)
  - ... kürzere Brennweite (größerer Bildwinkel)
  - ... weitere Aufnahmeentfernungen
  - ... kleineres Aufnahmeformat (dadurch kürzere Brennweiten)
- Klassisches Kamera-/Objektivdesign:
  - Markierungen beim Einstellpunkt für Entfernung



## Beispiel: Schärfentiefe



Blende 5,6  
Belichtungszeit 1/125 s

Blende 29  
Belichtungszeit 1/6 s



## Unschärfe als Gestaltungsmittel



## Verschluss und Belichtungszeit

- Fotografische Aufnahmen entstehen nur "in einem Augenblick"
  - Zeitdauer der Aufnahme = Belichtungszeit (oder Verschlusszeit)
- Verschluss:
  - Klassische Kameras:
    - » Zentralverschluss (Iris-Lamellen) oder
    - » Schlitzverschluss (durchlaufende Vorhänge)
  - Öffnet für genau definierten Zeitabstand den Lichtkanal zwischen Motiv und Film
  - Digitalkameras: Entweder klassischer Verschluss oder elektronische Steuerung (Abtastzeit)
- Typische Werte für Belichtungszeit (s):
  - 1/2000, 1/1000, 1/500, 1/250, 1/125, 1/60, 1/30, 1/15, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4
  - Jeder Schritt halbiert bzw. verdoppelt die Lichtmenge

## Beispiel: Bewegungsunschärfe



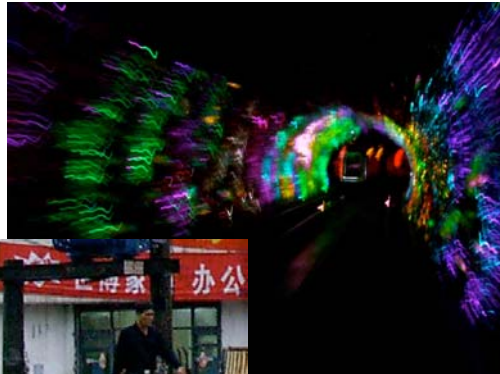
1/250 s, Blende 4



1/20 s, Blende 16

## Ursachen von Bewegungsunschärfe

Bewegung  
der Kamera



Bewegtes Objekt



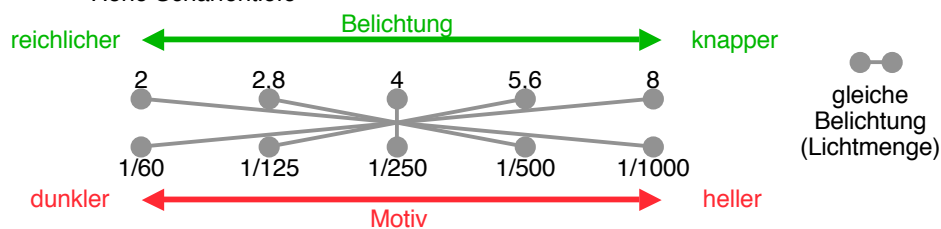
Beide Fotos:  
Shanghai, Oktober 2003

## Gestalten mit Bewegungsunschärfe



## Belichtungsstufen, Zeit, Blende

- Die gleiche effektive Lichtzufuhr für die Aufnahme (Belichtungsstufe, *Exposure Value, EV*) kann durch verschiedene Kombinationen von Blendeneinstellung und Belichtungszeit erreicht werden.
- Kürzere Belichtungszeit / offenere Blende:
  - Besser geeignet zum "Einfrieren" schneller Bewegungen
  - Geringere Gefahr von "Verwackeln"
  - Geringere Schärfentiefe
- Höhere Belichtungszeit / geschlossenerer Blende:
  - Erzeugt Bewegungsunschärfe (manchmal gewollt)
  - Hohe Schärfentiefe



## Belichtungsautomatiken

- Automatische Systeme versuchen, die richtige Zeit-/Blenden-Kombination zu finden
- Vollautomatische Systeme (Oft Programm "P")
  - Durchschnittlich sinnvolle Kombination
- Zeitvorwahl (Programm "S" oder "Tv", *speed, time*)
  - Fotograf gibt manuell Zeit vor, Blende wird nachgeführt
  - Variante: "Sportprogramm", Automatik versucht kurze Zeit zu erzielen
- Blendenvorwahl (Programm "A" oder "Av", *aperture*)
  - Fotograf gibt manuell Blende vor, z.B. um Schärfentiefe einzuhalten
  - Variante: "Landschaftsprogramm"
- In modernen Systemen oft kombiniert mit Autofocus-Vorgaben:
  - z.B. automatische Objektverfolgung bei "Sportprogramm"



## Blitzlicht

- Kurzer elektrisch erzeugter Lichtblitz
  - Dauer wesentlich kürzer als kürzeste Verschlusszeiten
- Maximale Blitzsynchronzeit:
  - Zeit, bei der Verschluss ganz geöffnet und Blitzlicht volles Aufnahmeformat erreicht
- Leitzahl:
  - Mass für Blitzhelligkeit (Reichweite = Leitzahl / Blende)
- TTL-Blitzmessung ("Through the lens")
  - Reflexion des Lichts von Film- bzw. Sensoroberfläche wird während der Aufnahme gemessen
  - Blitz wird gezielt abgeschaltet für optimale Belichtung
- Indirektes Blitzen, Mehrfach-Blitzen
  - Vermeidet unschöne Beleuchtungseffekte (z.B. "rote Augen")
  - Besonders gut durch TTL-Messung unterstützt

## Konventioneller Film

- 1727, J.H. Schulze: Silbersalze lichtempfindlich
- 1822-1839, N.Niepce/L.J.M. Daguerre: Daguerrotypie
- 1873, H.W. Vogel: Erste farbempfindliche Emulsionen
- 1935, Mannes/Godowsky: Kodachrome-Verfahren - Farbfotos
  - parallele Entwicklungen bei AGFA in *Wolfen* (später ORWO)
- Heutiges Filmmaterial: 10 bis 16 Schichten
- Grundprinzip aller fotochemischen Verfahren:
  - Lichtempfindliche Chemikalien auf Folie aufgetragen
  - Entwicklung: Chemische Reduktion der belichteten Stellen auf lichtunempfindliche Substanzen
  - Spülen und Fixieren: Entfernen unbelichteter Teile, dauerhafte Verankerung des Bildes im Träger
- Auflösung fotochemischer Verfahren (noch) ungeschlagen:
  - über 20 Mio. Bildelemente im Kleinbildformat

## Lichtempfindlichkeit

- Filmmaterial kann unterschiedlich empfindlich auf Licht reagieren:
  - "Schnelles" (hochempfindliches) Material ist teurer und grobkörniger (schlechtere Auflösung)
- Skalen zur Messung der Lichtempfindlichkeit von Filmen:
  - DIN-Skala: 3 Stufen entsprechen einer Belichtungsstufe (EV)
  - ASA/ISO-Skala: Verdopplung entspricht einer Belichtungsstufe (EV)
- Typische Werte:

DIN	ASA/ISO	
12	12	
15	25	
18	50	Gebräuchlicher Bereich
21	100	
24	200	
27	400	
30	800	
33	1600	

Digitalkameras:  
Einstellbare  
Lichtempfindlichkeit!

## Farbtemperatur und Weißabgleich

- Farbtemperatur:
  - Kaminfeuer: ab 525° sichtbare Temperaturstrahlung (Glühen)
  - Spektrale Energieverteilung kann ausgedrückt werden als Temperatur eines idealen "Schwarzen Strahlers" (keinerlei Reflexion)
  - Extrem wichtig für subjektive Farbbeurteilung
    - » Farben erscheinen in verschiedener Beleuchtung unterschiedlich
- Wichtigste Farbtemperaturen:
  - Glühlampen: ca. 2800 K
  - Halogenlampen: 3200-3400 K
  - Elektronenblitz: 5500 K
  - Tageslicht: 5500-6500 K
- Foto-Filme: auf spezielle Farbtemperatur abgestimmt
- Weißabgleich (klassisch durch Filter, automatisch bei Digitalkameras):
  - Kompensation "unpassender" Spektralzusammensetzung der Beleuchtung
  - Ziel: Realistischer und/oder subjektiv angenehmer Farbeindruck



## Weißabgleich an Beispielen

Tageslicht bei  
Weißabgleich auf  
Kunstlicht



Automatischer  
Weißabgleich  
(bei Tages- oder  
Kunstlicht)

Kunstlicht bei  
Weißabgleich auf  
Tageslicht



## Sucherkamera und Spiegelreflexkamera

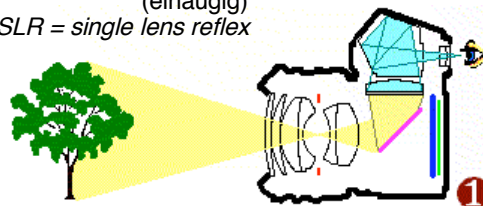


Sucherkamera

- + Sucher kann lichtstärker als Objektiv sein (helles Sucherbild)
- "Parallaxenfehler" vor allem bei nahen Objekten

- + Optimale Anpassung an wechselnde Objektive (Sucherbild immer richtig)
- + Beurteilung von Schärfentiefe im Sucher möglich

Spiegelreflexkamera  
(einäugig)  
*SLR = single lens reflex*



<http://www.photomeeting.de>