

Geometrische Optik

- Brechungsindex n, n'
- Einfallswinkel i, i'

Grenzwinkel
Totalreflexion

$$\sin i_G = \frac{n'}{n}$$

Snellsches Brechungsgesetz

$$n \sin i = n' \cdot \sin i'$$

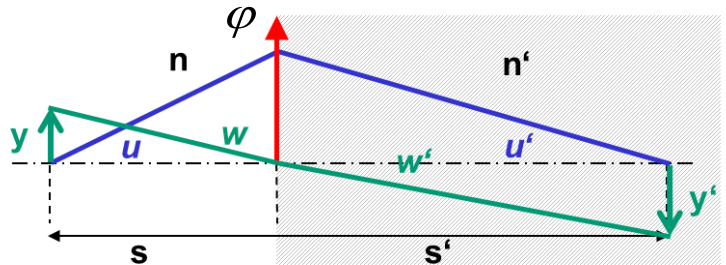
Grenzapertur Lichtfaser

$$NA = \sqrt{n_{\text{Mantel}}^2 - n_{\text{Kern}}^2}$$

Abbildungsgleichung

- Objektabstand s
- Bildabstand s'

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \varphi = \frac{n'}{f'}$$



Für **Spiegel** (Radius r) gilt $n' = -n$

Brechkraft
Einzelfläche
(Radius r)

$$\varphi = \frac{(n' - n)}{r}$$

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r}$$

$$\varphi_{\text{Spiegel}} = -\frac{2 \cdot n}{r}$$

Brenn
weite

$$f' = \frac{n'}{\varphi}$$

Ophtalometer
-Formel

$$r = \frac{2 \cdot s \cdot y'}{y' - y}$$

Brechkraft dicke(d)/dünne($d=0$)
Linse an Luft (Radius r_1, r_2)
Abbildungsmaßstab

$$\varphi = \frac{1}{f'} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{n r_1 r_2}$$

$$\beta := \frac{y'}{y} = \frac{n \cdot s'}{n' \cdot s} = \frac{n \cdot u}{n' \cdot u'}$$

Objekt in ∞ (Winkel w)

$$y' = -w \cdot f'$$

Bild in ∞ (Winkel w')

$$w' = y / f'$$

Tiefen
-Maßstab

$$\alpha = \frac{\partial s'}{\partial s} = \frac{n'}{n} \beta^2$$

Scheimpflug
-Bedingung

$$\frac{\tan(\theta')}{\tan(\theta)} = \frac{s'}{s}$$

Polarisation linear

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} \sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix}$$

zirkular

$$\vec{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ \pm i \end{pmatrix}$$

Satz von Malus
(Polarisator
/Analysator)

$$I(\theta) = I_0 \cdot \cos^2 \theta$$

Polarisator

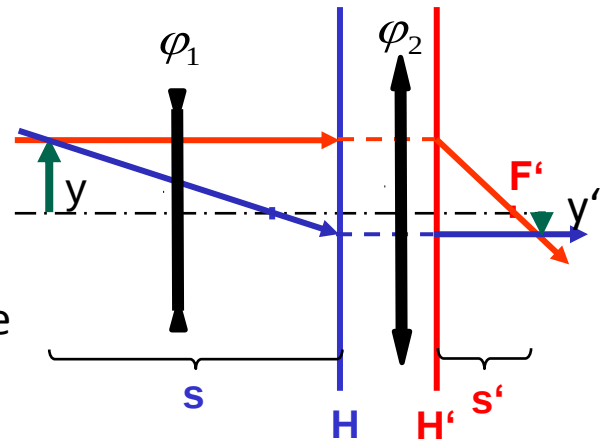
Rotator

Lambda/4

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}$$

Optische Systeme

- Brechkräfte ϕ_k
- Brennweiten f_k
- Hauptebenen H, H'



Gesamtbrechkraft für 2 Brechkräfte
(Linsen) im Abstand d
(für Linsen in Luft $n=1$)

$$\Phi = \frac{1}{f'} = \phi_1 + \phi_2 - \frac{d}{n} \phi_1 \phi_2$$

über Tubuslänge:
(Abst. Fokalfpunkte)

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{t}$$

Lage der **Hauptebenen**
(für Linsen an Luft $n=1$)

$$a_{1H} = f' \phi_2 \frac{d}{n}$$

$$a_{2H'} = -f' \phi_1 \frac{d}{n}$$

Auge

Vergrößerung

Grenzauflösung Auge = $1'$

$$\Gamma = \frac{\text{Sehwinkel mit Instrument}}{\text{Sehwinkel ohne Instrument}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

Lupen/Okular

Vergrößerung

$$\Gamma = \frac{250 \text{ mm}}{f_L'} = \frac{250 \text{ mm}}{f'_{Oku}}$$

Teleskop

$$\Gamma = -\frac{f'_{Obj}}{f'_{Oku}}$$

Mikroskop

$$\Gamma_{\text{mikro}} = \beta_{\text{Obj}} \cdot \Gamma_{\text{Oku}} = \frac{\overbrace{-t}^{\text{Obj.}}}{f'_{\text{Obj}}} \cdot \frac{\overbrace{250 \text{ mm}}^{\text{Okular}}}{f'_{\text{Oku}}}$$

Mikroskop (mit Tubuslinse)

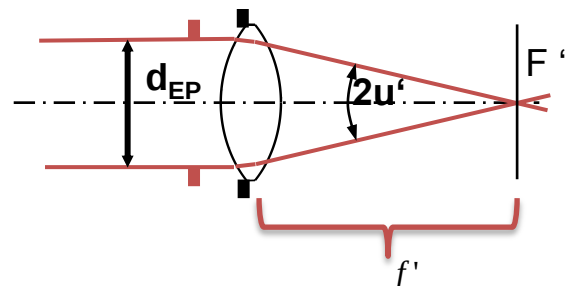
$$\Gamma_{\text{micro}} = \frac{\overbrace{-f'_{\text{Tubus}}}^{\text{Obj.}}}{f'_{\text{Obj}}} \cdot \frac{\overbrace{250 \text{ mm}}^{\text{Okul.}}}{f'_{\text{Oku}}}$$

Beugungsgrenze Optik

- Wellenlänge λ
- Durchmesser Pupille d_{EP}

Num. Apertur

$$NA = n \cdot \sin u$$



Öffnungs-
zahl

$$k = \frac{f'}{d_{\text{EP}}} = \frac{1}{2NA}$$

Durchmesser
Airy-Scheibe

$$d_{\text{Airy}} = 1.22 \frac{\lambda}{NA}$$

Auflösungs-
-vermögen

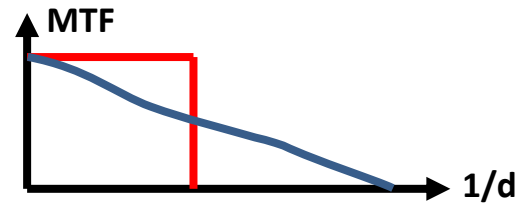
$$\Delta x > \frac{0.61 \cdot \lambda}{NA}$$

Tiefen
schärfe

$$\Delta z = \pm 0.5 R_E = \frac{0.5 \lambda}{NA^2}$$

Grenzfrequenz MTF

- MTF,
- kohärent, inkohärente Beleuchtung



Grenzfrequenz (koh. & inkoh. Bel.)

Grenzfrequenz (Selbstleucht.)

$$p_{Max} = \frac{1}{d} = \frac{NA_{Abb} + NA_{Bel}}{\lambda}$$

$$p = \frac{2 \cdot NA_{Abb}}{\lambda}$$

Welleneigenschaften Licht

- Frequenz ω
- Wellenlänge λ

Ebene Welle

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0(\vec{r}) \cdot e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$$

Wellenvektor

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$$

Energie Photon

$$E = \hbar \omega = h \cdot \nu / c$$

Interferenz
(OCT)

$$I = |E_{Summe}|^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2 \cdot E_1 E_2 \cdot \cos(k \cdot \Delta z)$$

Kohärenz
länge

$$l_c \approx \frac{2\pi \cdot c}{\Delta \omega} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$$

Resonator-
Moden (Länge L)

$$\nu = m \cdot \frac{c}{2L}$$

Beugung an Objekten

Beugung am Spalt
Abstand Minima
(für Spalt Breite b)

$$\Delta \theta = 2 \frac{\lambda}{b}$$

Fresnel-Zonen
(für Brennweite f)

$$r_n = \sqrt{n \cdot \lambda \cdot f}$$

Spektralapparate

- Wellenlänge λ
- Effektive Öffnung a

Auflösungsvermögen

$$A = \frac{\lambda}{d\lambda} = a \cdot D$$

Dispersion

$$D = \frac{d\theta}{d\lambda}$$

Auflösungsvermögen Gitter
mit Länge L, Ordnung m,
Periode d, Anzahl Striche N

$$A = \frac{m \cdot L}{d} = m \cdot N$$

Auflösungsvermögen Prisma
mit Basislänge b

$$A = b \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Gittergleichung

(Ordnung m, Gitterperiode d)

$$\sin \theta_m - \sin \theta_0 = m \cdot \frac{\lambda}{d}$$

Strahlung / Bestrahlung

Fluss
(Leistung) $\Phi = \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}} \quad [W = J / s]$

Bestrahlungstärke

$$I = \frac{d\Phi}{dA} \quad [W / m^2]$$

Bestrahlung (Dosis)

$$H = \text{Bestrahlstärke} \times \text{Zeit} = I \cdot T \quad [Ws / m^2 = J / m^2]$$

Absorption
(Abs.-Koeffizient α) $I(z) = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z}$

Verstärkung
(Laser-Gain γ) $I(z) = I_0 \cdot e^{\gamma \cdot z}$

Gaußsche Strahlen

Intensitätsprofil

$$I(r) = I_0 \cdot \left(\frac{w_0}{w(z)} \right)^2 \exp \left[-2 \frac{r^2}{w_0^2} \right]$$

Konfokal-Parameter

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

Strahl-Breite

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2}$$

Strahlprodukt

$$w_0 \cdot \theta_0 = \frac{\lambda}{\pi}$$

Wellenfront-Radius

$$R(z) = z + \frac{z_R^2}{z}$$

Leistung und Bestrahlungsstärke

$$\Phi = I_0 \cdot \frac{\pi \cdot w_0^2}{2}$$

Fokussierung mit Linse f'

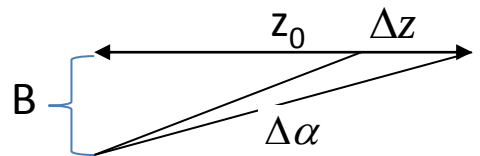
$$w'_0 = w_0 \cdot \frac{f'}{z_R}$$

Triangulation

Tiefenauflösung

Auge ($\Delta\alpha_{\text{Auge}} = 10''$)
Pupillenabstand p

$$\Delta z_{\text{Auge}} = \frac{\Delta\alpha_{\text{Auge}} \cdot z^2}{p}$$



Triangulationssensor
Basis B , Weite z_0

$$\Delta z = \frac{\Delta\alpha \cdot z_0^2}{B}$$

Lineardetektor
m. Linse f'

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta x}{f'}$$

Detektoren

- Nyquist-Frequenz, NEP, D, Bandbreite

Nyquist
Freuenz $S_{\text{Sig}} < S_{\text{Ny}} = \frac{1}{2D_{\text{Pix}}}$

Spektrale
Empfindlichkeit

$$S_\lambda = \frac{I_e}{P_{\text{Ph}}} \left[\frac{A}{W} \right]$$

Detektivität

$$D^* = \frac{S_\lambda \cdot \sqrt{A} \cdot \sqrt{\Delta f}}{i_R} \quad [\sqrt{\text{Hz}} \cdot \text{cm} / W]$$