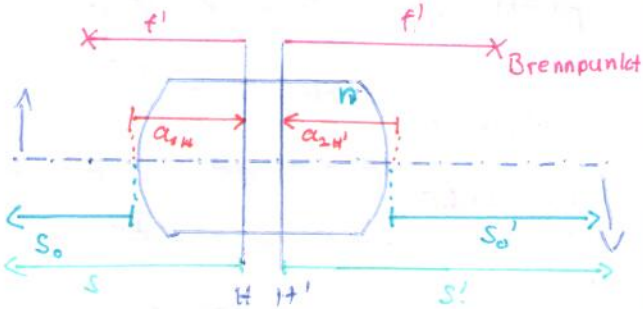
Eigenschaften Licht:

- Frequenz: $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
- Wellenlänge: $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega} = \frac{c}{f}$
- Brechungsindex: $n = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c_0}{c_0}$
- Lichtgeschw.: $c = \frac{c_0}{n}$
- Ebene Welle: $\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0(\vec{r}) \cdot e^{i(\omega t - \vec{k}\cdot\vec{r})}$
- Wellenvektor: $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$
- Interferenz: $I = |E_{summe}|^2 = E_1^2 + E_2^2 + \overset{2E_1E_2}{\vee} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$
- Opt. Weglänge: $OPL = n_1 L_1 + n_2 L_2 + \dots$
- Snellsches Brechgesetz: $n \cdot \sin(i) = n' \cdot \sin(i)$
- Totalreflexion: $\sin(i_0) = \frac{n'}{n} \overset{!}{<} 1$
- Faserreflexion: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \underbrace{\sin(u_s) \cdot n}_{\text{außen}}$

geometrische Optik:

- Gesamtbrechkraft $\Phi = \frac{1}{f'} = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n}\varphi_1\varphi_2$
- Hauptebenen

$$a_{1H} = f' \varphi_2 \frac{d}{n} \quad ; \quad a_{2H'} = -f' \varphi_1 \frac{d}{n}$$



Matrizenoptik:

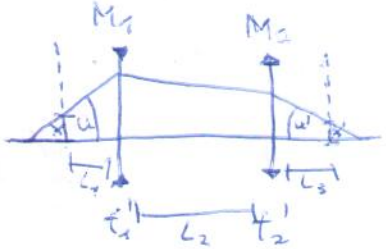
$$\begin{pmatrix} x' \\ u' \end{pmatrix} = M_{ges} \cdot \begin{pmatrix} x \\ u \end{pmatrix}$$

$$M_{ges} = (L_3) M_2 L_2 M_1 (L_1)$$

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/f' & 1 \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} 1 & -L \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Brechung $\hookrightarrow \left(B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n_1/n_2 \end{pmatrix} \right)$



Abbildungsgleichungen

Gesamtbrechkraft: (Schnittweiten)

$$\varphi = \frac{1}{f'} = \frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} \xrightarrow{(n=1)} s' = \frac{s \cdot f'}{s + f'}$$

(negativ!)

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

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

$\Big\}\ n' \neq 1$

Gesamtbrechkraft (Radien)

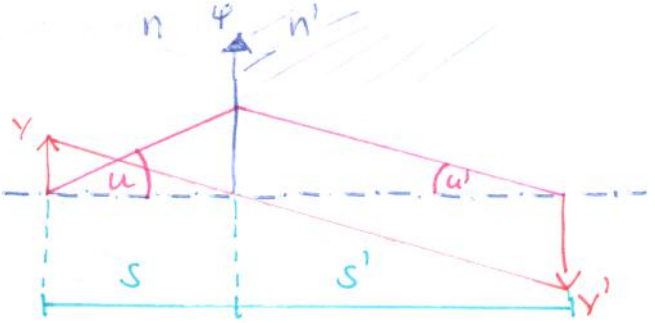
$$\varphi = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{(n-1)^2 d}{n r_1 r_2}$$

Abbildungsmaßstab:

$$\beta := \frac{y'}{y} = \frac{n \cdot s'}{n' \cdot s} = \frac{n \cdot u}{n' \cdot u'} = \frac{f_2'}{f_1'} = \frac{NA}{NA'}$$

Objekt in ∞: $|y'| = f \cdot \tan(\omega)$

Spiegel: $\varphi = -\frac{2n}{r}$



Mikroskope

ohne Tubuslinse: $r_{micro} = \beta_{obj} \cdot r_{oku} = \frac{-t}{f'_{obj}} \cdot \frac{250mm}{f'_{oku}} = \frac{250mm}{f'_{ges}}$

mit Tubuslinse: $r_{micro} = \frac{-f'_{Tubus}}{f'_{obj}} \cdot \frac{250mm}{f'_{oku}}$

Gesamtbrennweite: $f'_{ges} = \frac{-f'_{obj} f'_{oku}}{t}$

Teleskop: $r = -\frac{f'_{obj}}{f'_{oku}}$

Zoom: $V = \frac{f'_{MAX}}{f'_{MIN}} = \frac{\beta_{MAX}}{\beta_{MIN}}$

Lupe: $r = \frac{250mm}{f_L} = \frac{250\,mm}{f'_{Micro}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ (mit / ohne) Instrument

Sehwinkel

Förderliche Vergrößerung:

$r_{Förd} = 500 \cdot 1000\,NA$

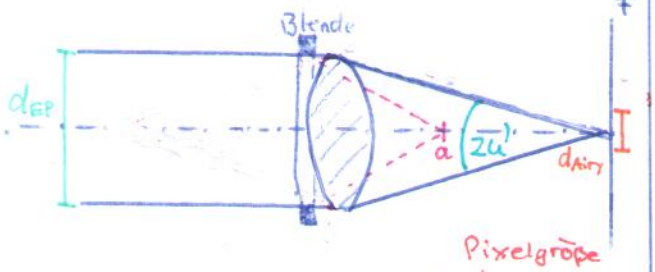
Blenden / Pupillen:

- Numerische Apertur:

$$NA = \frac{d_{EP}}{2f'} = \frac{1}{2k} = n \cdot \sin(u)$$

Blende; Öffnungs-/Blendenzahl

$u = \arctan\left(\frac{d_{EP}}{2a}\right)$ für $a \neq f'$



- Schärfentiefe: $D_f = \frac{\delta_y'}{2NA'} = \frac{\Delta x}{NA}$ (Pixelgröße)
- Belichtungsstärke $\sim \frac{1}{k^2} \sim d_{EP}^2$
- Belichtungszeit $\sim k^2 \sim \frac{1}{d_{EP}^2}$
- Photoobjektiv: (2) / (60) (Blendenzahl / Brennweite(mm))
- Mikroskopobjektiv: (60×) / (0,70) (Vergrößerung / Apertur)
- Blende: (10×) / (22) (Vergrößerung / Schfeldzahl [≙ Durchmesser])
- Beugungsscheibchen: $d_{Airy} = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{NA}$
- Beug. begrenzte Auflös.: $\Delta x = \frac{0{,}61 \cdot \lambda}{NA}$

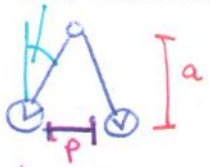
Auflösung

$1' = \frac{2\pi}{3600 \cdot 360}$ rad

α [Winkelsekunden]

- Tiefenauflösung:

$$\Delta a = \frac{\alpha \cdot a^2}{p}$$



(~ 65mm)

- Schärfentiefe:

$$2D_f = \frac{\lambda}{NA^2} + \frac{\delta}{NA} + \text{Akkomodation}$$

Beugungsopt. / geomet. Term

- beobachtbarer Bereich:

$A_{Sensor} = (\text{Auflösung}) \cdot (\Delta p)$ (z.B. 1024 × 786)

$A_{obj} = \frac{A_{Sensor}}{|\beta|}$

Auge:

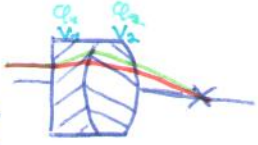
- Brechkraft: $\varphi = \frac{(n' - n)}{r}$
- Akkomodation: $\Delta D_{Akk}^{(Breite)} = \frac{1}{s_{fern}} - \frac{1}{s_{nah}}$

Bildfehler:

- Abbe-Zahl: $V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_c} = \frac{n_d - 1}{\Delta n}$
- Achromasie-Bedingung:

$\varphi_1 = \varphi_{ges} \cdot \frac{V_1}{V_1 - V_2}$ $\varphi_2 = \varphi_{ges} \cdot \frac{V_2}{V_2 - V_1}$

$0 = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{V_1} + \frac{\varphi_2}{V_2}$ (chromat. Variation)



Beugung:

$\theta = \arctan\left(\frac{d}{e}\right)$

Spalt (Minima): $\Delta\theta = 2\frac{\lambda}{b}$ ← Spaltbreite

Gitter (Maxima): $\sin(\theta_m) = m \cdot \frac{\lambda}{g}$ ← Gitterperiode $\left(= \frac{1}{\text{Linien}}\ mm\right)$

MTF-Grenzfrequenz: $\frac{1}{d} = (2) \cdot \frac{NA}{\lambda}$ (2: nur, wenn inkoherent)

Spektralapparate:

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

$A = \frac{\lambda}{d\lambda} = a \cdot D = \frac{m \cdot L}{d} = m \cdot N = b \cdot \frac{dn}{d\lambda} = b \cdot \frac{n_b - n_c}{\lambda_c - \lambda_F}$

(Öffnungsbreite, Winkeldispersion, Anzahl Striche, Basislänge, Materialdispersion)

auflösb. Wellenl.-diff. | allgemein | Periode | Gitter | Prisma

Beleuchtung / Lichttechnik

- Effizienz: $\mu = \frac{\Phi_v}{P}$ [lm/W]
- Lichtleistung/-strom: $\Phi_v(\lambda) = 683\ \frac{lm}{W} \cdot V(\lambda) \cdot \Phi(\lambda)$ [lm] (Strahlungsfluss/leistung [W])
- Strahl/Licht-stärke: $I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$ [lm/sr] = [cd]
- Beleuchtungs/Bestrahlungsstärke: $E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} = \frac{I}{r^2} sr$ [lm/m²] = [lx]
- strahlen/Leuchtdichte: $L_v = \frac{I_v}{A_L} = \frac{d\Phi}{dH} = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot d\Omega \cdot \cos(\theta)}$ [cd/m²]
- Lichtleitwert/Etendue: $H = A \cdot \pi \cdot NA^2$ [m² · sr]
- Raumwinkel: $\Omega \overset{konst}{=} 2\pi \cdot (1 - \sin(\theta))$ [sr] (Halbraum: 2π sr, Vollraum: 4π sr)
- Protonenfluss: $\Phi_{Photon} = \frac{N_{Photonen}}{A_{Strahl}} = \frac{P_{opt}}{A_{Strahl} \cdot E_{Photon}}$ [1/m²]

$E_{Photon} = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \hbar\omega$ [J]

$H_{Laser} = \pi \cdot w_0^2 \cdot \theta_0^2 = \lambda^2$

$L_{Laser} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$

- Lasermoden: $L = m \cdot \frac{\lambda_m}{2}$
- „Rayleigh-länge": $z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$

Laser

Absorption: $I(z) = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z} = I_0 \cdot e^{g \cdot z} = I_0 \left(\frac{\text{aus}}{\text{rein}}\right)^2$ (g: Gain)

- Intensitätsprofil: $I(r) = I_0 \cdot \exp\left[-2\frac{r^2}{w_0^2}\right]$
- Strahlenprodukt: $w_0 \cdot \theta_0 = \frac{\lambda}{\pi}$ [m] [rad] (Strahlentaille, Divergenz)
- Strahlradius: $w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}$

