

Grundlagen

Reflexion: $i = -i'$
 Brechung: $n \sin(i) = n' \sin(i')$ ← Gesetz von Snellius

Brechungsindex $n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\frac{\lambda}{n}} = \frac{c \cdot n}{\lambda}$
 Δx (Ortsaufstieg) $= \frac{\lambda}{\sin \alpha}$

Beugungsgrenze: $d_{\text{Beug}} = 1,22 \frac{\lambda}{NA}$, $\Delta x = \frac{0,61 \lambda}{NA}$

Winkel Totalreflexion $\sin(i_c) = \frac{n_2}{n_1}$ (i_c bei Phänomen $\approx 42^\circ$), $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$
 Akzeptanzapertur Faser: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

Brechzahl (komplexe Zahl): $n = n' + i n''$; $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$
 $\vec{E}(r) = \vec{E}_0(r) e^{i(kr - \omega t)}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$

Frequenz: $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$
 Wellenlänge $\lambda = \frac{2\pi \cdot c}{\omega} = \frac{c}{f}$ Energie Photon $E = h \cdot \omega = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

Brechungsindex: $n = \frac{c_0}{v}$; Lichtgeschwindigkeit $c = \frac{c_0}{n}$

Wellenvektor: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \frac{\omega^2}{v^2} = \frac{\omega^2}{c^2} n^2$
 Optische Weglänge: $\Delta p = n \cdot l$

Geometrische Optik

Paraxiale Optik für kleine Winkel wird linear angenommen

$n \cdot u' = n' \cdot u + h$ Bildabstand: $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s'}$

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

Mehrere Brechkraft dünne Linsen: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$

Abbildungsbedingung für Spiegel (an Luft): $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r}$, $\varphi = \frac{2}{r}$

Maßstab: $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n \cdot s'}{n' \cdot s}$ an Luft: $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

Tiefenmaßstab $\gamma = \frac{\Delta s'}{\Delta s} = \frac{n \cdot u'}{n' \cdot u} = \frac{n'}{n} \beta^2$

Gegenstand im ∞ : $y' = f \cdot \omega = f \cdot \tan(\omega)$; Bild im ∞ : $\omega' = \frac{y}{f}$

relative Vergrößerung: $\Gamma = \frac{E}{E_0} = \frac{250 \text{ mm}}{f_i}$ (Schwankt mit vs ohne Instrument)

Aug/Lupe/Okular Vergrößerung: $\Gamma = \frac{c}{E_0}$

Matrizenoptik: $\begin{pmatrix} h' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h \\ h \end{pmatrix}$

Linse mit Brennweite f' : $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/f' & 1 \end{pmatrix}$ Ausbreitungskette L: $\begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Brechung: Mit $M_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n_i/n_{i+1} \end{pmatrix}$

$(h_1) = h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22} (h_2) = \dots$ von rechts nach links gelesener

Zweikläuge Systeme: $\varphi = \frac{1}{f}$ allgemeiner Fall

Gesamtbrechkraft der Brechkraft mit Abstand d: $\varphi_{\text{Ges}} = \frac{n_1}{s} - \frac{n_2}{s'}$ (f von Hauptebene, d von Linse aus)

Brennweite Gesamt: $f'_{\text{Ges}} = \frac{h_1^2}{\varphi_{\text{Ges}}}$

für Parallelstrahlen: $f'_{\text{Ges}} = \frac{h_1}{\varphi_{\text{Ges}}}$, $\varphi_{\text{Ges}} = \frac{1}{f_{\text{Ges}}}$

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

Hauptebenen: $a_{1H} = f' \cdot \varphi \cdot \frac{d}{n}$; $a_{2H} = -f' \cdot \varphi \cdot \frac{d}{n}$

$\varphi_1 = \frac{n-1}{r_1}$, $\varphi_2 = \frac{n-1}{r_2}$

Flächentypen: Konvex, Konkav $\omega_k = \frac{h_k}{h_i}$ (Parameter der Vergrößerung)

Gesamtbrechkraft ganz viele Linsen: $\varphi = \frac{1}{f} = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_i} \varphi_k = \sum_{k=1}^n \omega_k \varphi_k$

Zoom (Vergrößerungsfaktor) $V = \frac{f'_{\text{max}}}{f'_{\text{min}}} = \frac{f'_{\text{max}}}{f'_{\text{min}}}$

Teleskop: $\Gamma = \frac{f'_{\text{Obj}}}{f'_{\text{Okul}}}$ (Vergrößerung)

Tubuslänge $t = d \cdot f' - f = (d - \text{Abstand Linsen})$

Gesamt-Brennweite $f' = \frac{f_1 \cdot f_2}{c}$ im Teleskop

Blenden Öffnungszahl: $k = \frac{f'}{2h} = \frac{1}{2 \sin(u)}$, $f' = \frac{1}{2k}$

Numerische Apertur $NA = n \sin(u)$

Tiefenschärfe: $D_p = K \cdot \frac{c}{\lambda \cdot NA} \propto \frac{1}{NA^2} \propto k^2$

Auflösung

Ortsfrequenz: $v = \frac{1}{\text{Periode}}$

maximale Grenzfrequenz (ohne Bildfehler): $f_{\text{max}} = \frac{2NA}{\lambda} = \frac{1}{\lambda k}$

Farbfehler: $\Delta \varphi = \frac{\varphi}{\lambda}$ Verzeichnung: $V = \frac{y'_{\text{real}} - y'_{\text{ideal}}}{y'_{\text{ideal}}}$ [V] = %

chromatische Vergrößerungsdifferenz: $\Delta \varphi_{\text{chr}} = \varphi'_{\text{blau}} - \varphi'_{\text{rot}}$

Achromatiebedingung: $0 = \Delta \varphi_1 + \Delta \varphi_2 = \frac{\varphi_1}{\lambda_1} + \frac{\varphi_2}{\lambda_2}$, $\varphi_1 = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \varphi_2$

Bildfokussierung → Satz von Petzval: $\frac{1}{R_p} = -\sum \frac{\varphi_k}{n_k}$

Abbe-Zahl: $V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$ Verhältnis Brechung versch. λ

Gesamtbrechkraft Auge: $\varphi \approx 58 \text{ dpt}$; $\varphi = \frac{n-n'}{r}$

Modellradius Auge: $r = 5,5 \text{ mm}$

Akkommodationsbreite $\Delta D = \frac{1}{s_{\text{fern}}} - \frac{1}{s_{\text{nah}}}$ (max. 14 dpt)

Winkelauflösung Auge: $\alpha = \frac{\Delta x}{f'} = n \cdot \text{dax} = 2,14 \cdot \frac{\lambda}{D} \approx 0,3 \text{ mrad}$

Verz. (Schärfte) $= \frac{1}{\varphi}$ (normal=1)

Grenzauflösung Auge $= 1'$

Tiefenauflösung: $\Delta a = \frac{q \cdot a^2}{p} = \frac{q \cdot (50 \text{ mm})^2}{p} = 4,5 \mu\text{m}$

Kepler-Teleskop: Objektiv+Okular

Galilei-Teleskop: Objektiv+Hohl Linse

Reflexiv/Winkel: $\varphi = -\varphi_2$

Telesystem: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$

G. Judith Abele

dpt = $\frac{1}{\text{mm}} \cdot \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{\text{m}} \cdot \frac{1000}{\text{mm}} = \frac{1}{\text{m}} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{1}{1000} \text{ m}^{-1}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

$1 \text{ dpt} = 1 \frac{1}{\text{m}} = \frac{1}{1 \text{ m}}$

Beleuchtung und Lichttechnik

Strahlungsleistung (Strahlungsfluss): $\Phi = \int \rho(\lambda) d\lambda \text{ [Watt]} \rightarrow \text{Energie pro Zeiteinheit}$

Sichtbar bewirkte Strahlungsleistung: $\Phi_v = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot \Phi \cdot V(\lambda) \text{ [Lumen]} \quad \Phi_v = \Phi \cdot \eta$

Effizienz von Lichtquellen: $\frac{\Phi_v}{\Phi} = \frac{\text{[Lumen]}}{\text{[Watt]}} = \text{Lichtstrom}$

$\eta_{\text{rel}} = \frac{\eta_{\text{Licht}}}{\eta_{\text{Wärme}}}$

Radometrie = die λ [W, J] $\eta_{\text{W}} = \frac{G_0}{G}$

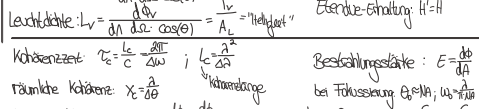
Photometrie $\rightarrow$ sichtbar

elektrische Inputleistung $P = \frac{dQ}{dt}$
 Strahlstärke: $I = \frac{dQ}{dt}$ [A] Lichtstärke $I_v = \frac{d\Phi_v}{dt}$ [lm/sr] = cd

Raumwinkel: $d\Omega = \sin(\theta) d\theta d\phi = \frac{dA}{r^2}$ für Lichtkegel mit Öffnung θ : $\Omega = 2\pi(1 - \cos(\theta))$ [Ω] = sr
 Soziale Strahlung $M_{\lambda} \frac{d\Phi}{d\lambda} = E_{\lambda}$ Bestrahlungsstärke [$\frac{W}{m^2}$]

spezifische Lichtleistung $M = \frac{d\Phi_v}{dA} = E$ Beleuchtungsstärke $[Lux] E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$

Bestrahlung: $H = E \cdot T$ Belichtung: $H_v = E_v \cdot T$ Lichtstrom: $H = A \cdot \pi \cdot NA^2$
Strahllichte: $L = \frac{d\phi_v}{dA \cdot d\Omega \cdot \cos(\theta)}$ [lm/sr] $dH = d\Omega \cdot dA \cdot \cos(\theta)$



Leuchtdichte: $L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot d\Omega \cdot d\lambda} = \frac{P_v}{A \cdot \Omega \cdot \Delta\lambda}$ "Helligkeit"
 Kohärenzzeit: $\tau_c = \frac{L_c}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\nu}$; $L_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$
 räumliche Kohärenz: $\chi_c = \frac{\Delta x}{\Delta\theta}$ "Kohärenzlänge"
 Helligkeit / Leuchtdichte: $L = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot d\Omega} = \frac{P_v}{A \cdot \Omega}$
 Wellenfrontradius: $R(z) = z \sqrt{\frac{\lambda}{\Delta\lambda}}$

Bestrahlungsstärke: $E = \frac{d\Phi_v}{dA}$
 bei Fokussierung $E_{\text{eff}} = \frac{P_v}{A_{\text{eff}}}$
 Laserfrequenz: $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T}$
 Longitudinale Moden: $L = m \frac{\lambda}{2}$

$$y = \frac{Y}{Y+Y+Z}, z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad x+y+z=1 \quad \text{Absorption: } |(z)| = b \cdot e^{-\alpha z}$$

$y = \frac{y}{x+y+z} ; z = \frac{z}{x+y+z} ; x+y+z=1$
 Absorption: $I(z) = I_0 \cdot e^{-\epsilon \cdot z}$
 Fluoreszenz: $I_f = I_{\text{abs}} \cdot \Phi_{\text{fl}}$
 Strahlendruck in mm $\uparrow$
 mittleren Sektrallapparat: $A = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = 10^4$

Fluoreszenz: $\epsilon = \eta_{\text{mol}} \cdot \epsilon_{\text{mol}}$
 ϵ_{mol} molare Extinktionskoeffizienten in $\text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$
 η_{mol} molale Löslichkeit in $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

effektive Öffnung (iber: $a = L \cdot \cos \theta_m$
Freier Spektralbereich: $FSR = \frac{\lambda}{m}$

effektive Öffnung (über: $a = L \cdot \cos(\theta)$)
Freier Spektralbereich: $\text{FSR} = \frac{\lambda}{m}$
Auflösungsvermögen Prism: $A = b \frac{dn}{d\lambda}$

Bildstrichfehler:
- Öffnungsfehler / spanische Aendern $\rightarrow$ Korrektur von Form
- Astigmatismus

Bildformfehler = 0
- Bildverwacklung * versch. Bildwinkel
- Verzerrung

Zustandfehler:
offensichtlicher
Asymptotismus
Kond. → Symmetrisierung System

(s. unten)

Bildformfehler:
Bildbildung → Kond. Bildanzahl
- Verkürzung
Fehlfehler: Fehlbedeutung / Falsches
Fehler

= 0

∞

Denaturierung $\rightarrow$ Koagulation
Austrocknen $\rightarrow$ Flüssigkeitsentnahme

Denaturierung-Koagulation Ausflocken - Nahrungsaufnahme Verdampfen / Kollidieren - Abgeben / Schmelzen Affektier Zoom: ...	Fotozoid: Div. Öffnung / Öffnung Fernläufer: Übertragung / Übertragung ...
---	--

- 2. Pol: Sammellinsen, dazu Objektiv & Okular
- 1. Kompensator, bcs. Verstellung Brennpunkt