

Eintrittspupille (EP):

Das Bild der Aperturblende im Objektraum:

Austrittspupille (AP):

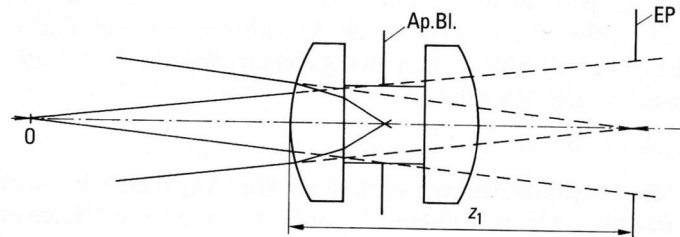


Abbildung 1: Abbildung der Aperturblende in den Objektraum liefert die Eintrittspupille EP nach Lage und Größe.

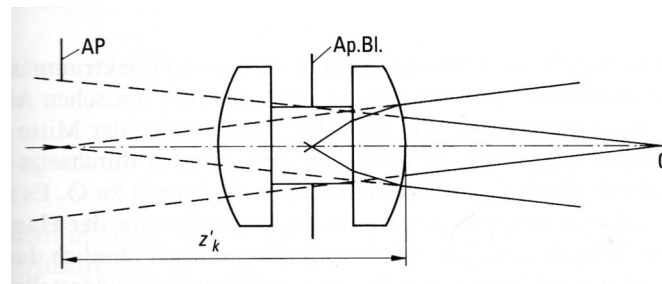


Abbildung 2: Abbildung der Aperturblende in den Bildraum liefert die Austrittspupille AP nach Lage und Größe.

Das Bild der Aperturblende im Bildraum heißt Austrittspupille.

⇒ Huygens-Helmholtz-Invariante:

$$-n_1 \omega_1 r_{EP} = n'_k \omega'_k r_{AP} = H$$

9.4 Abbildungsfehler

Auswirkungen der Dispersion optischer Medien:

$$\lambda : \quad 0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,8 \mu\text{m}$$

$$n(\lambda) : \quad 1,61 \leq n \leq 1,65 \quad \text{für typische Gläser}$$

korrigierte Linse ⇒ Achromate für 2λ , Achromate für 3λ

Lösung: Kombination von Linsen, die unterschiedliche Brechzahl besitzen

Auswirkungen der endlicher Apertur:

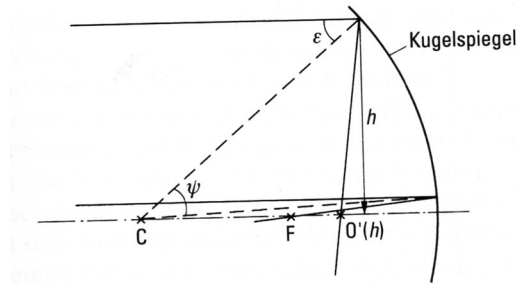


Abbildung 3: Abbildung durch einen Kugelspiegel bei endlicher Apertur.

10 Das Auge und optische Instrumente

10.1 Aufbau des Auges

Lederhaut:	äußerste Schicht
Hornhaut:	transparente Lederhaut vorne
Ziliarkörper:	Muskel zur Formänderung der Kristalllinse
Regenbogenhaut:	Iris, die als Aperturblende dient
Glaskörper:	Glaskörper: polymere Flüssigkeit
Netzhaut:	mit lichtempfindlichen Zellen (Zapfen und Stäbchen)
Forea, Netzhautgrube:	Gebiet des schärfsten Sehens

Bilderzeugung:

Licht \rightarrow Hornhaut (stärkste Brechung) \rightarrow vordere Kammer \rightarrow Kristalllinse
 (Krümmung veränderbar durch Ziliarmuskel) \rightarrow Glaskörper \rightarrow Netzhaut

variable Aperturblende: Öffnung der Regenbogenhaut

Brechkraft des Auges $\approx 58,8 \text{ dp} = 58,8 \frac{1}{\text{m}} = \varphi = \frac{1}{f} \implies f \approx 17 \text{ mm}$

Variation der Brechzahlen der Augenlinse über den Augenquerschnitt \implies Gradienten-Optik
 Brechzahlen:

Hornhaut	1,376
Kristalllinse	1,413
Glaskörper	1,336

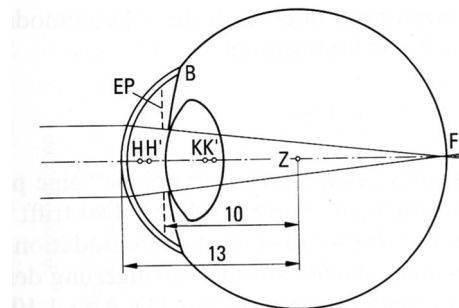


Abbildung 4: Das Übersichtsauge (nach Gullstrand).

Akkommodation:

Ziliarmuskel ändert Krümmung der elastischen Augenlinse und damit deren Brechkraft.

$-s_1$	f_{Auge}	D_{Auge}
in cm	in mm	in dpt
∞	17	58,8
25	15,9	62,8
8	14	71,3

Akkommodationsbreite:

$$\Delta D \approx \frac{1}{a_p} - \frac{1}{a_v} \approx D_p - D_v$$

a_p ... Fernpunkt
 a_v ... Nahpunkt

Die Akkommodationsbreite ist wegen der Verringerung der Elastizität des Auges altersabhängig. Bei $\Delta D < 4$ dpt spricht man von alterssichtig, Nahpunkt wird weiter weg verschoben

rechtsichtig: Fernpunkt im Unendlichen
 fehlsichtig: Fernpunkt nicht im Unendlichen
 kurzsichtig: Fernpunkt liegt in endlichen Abstand reell vor dem Auge $a_r < 0$
 Auge mit zu kurzer Baulänge
 weitsichtig: Fernpunkt liegt virtuell hinter dem Auge
 Auge mit zu kurzer Baulänge
 Astigmatismus: zwei verschiedene Fernpunkte für die beiden Hauptschnitte

absolute Empfindlichkeitsschwelle $\approx 10^{-9}$ lx

Stäbchen: sehr lichtempfindlich $< 10 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$
 Zapfen: weniger Lichtempfindlich $> 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$

Leuchtdichten $< 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \implies$ Nachtsehen, skotopisches Sehen, nur Stäbchen
 $5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} < \text{Leuchtdichte} < 10 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \implies$ Dämmerungssehen, mesopisches Sehen, Stäbchen und Zäpfchen aktiv
 Leuchtdichten $> 10 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \implies$ Tagsehen, photopisches Sehen, nur Zäpfchen

Wellenlängenempfindlichkeit

hoher Transmissionsgrad des Auges $\approx 320 \text{ nm} < \lambda < 1200 \text{ nm} =$ Transmission Wasser

Hellempfindlichkeit:

Zapfen: $380 \text{ nm} < \lambda < 750 \text{ nm}$ $Max = 555 \text{ nm}$

Zapfen: $330 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ $Max = 57 \text{ nm}$

\implies gefährlichste Laserstrahlung: $750 \text{ nm} - 1400 \text{ nm}$, Auge durchlässig aber Laser unsichtbar

Adaption: = Veränderung der Lichtempfindlichkeit des Auges

- photochem. Änderung in Zapfen und Stäbchen
- Öffnen und Schließen der Regenbogenhaut = Aperturblende

Lupe:

Linse, die Sehleistung des menschlichen Auges verbessert

Objekt der Größe l in der Entfernung s_0 vom Auge \implies Sichtwinkel $\alpha = \frac{l}{s_0}$

Lupe-Vergrößerung: $\Gamma_l = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = \frac{\tan \omega'}{\tan \alpha}$

s_0 für Auge typischerweise: 250 mm Sehweite

Lupe \Rightarrow Linse mit pos. Brennweite f

$$\Rightarrow \text{Lupe-Vergrößerung: } \Gamma_l = \frac{250}{f}$$

Verwendung: Lese gläser, Okulare

Fernrohr:

Objektiv: erzeugt von unendlich entfernten Objekt, das die Winkelausdehnung ω besitzt ein Zwischenbild l' in der hinteren Brennebene des Objektivs

Okular: Zwischenbild wird mit dem als Lupe benutzten Okular ins unendliche abgebildet, das Bild erscheint unter dem Winkel ω''

$$\Gamma_F = \frac{\tan \omega''}{\tan \omega} = -\frac{f_{Ob}}{f_{Ok}}$$

Kepler - bzw. Astronomisches Fernrohr

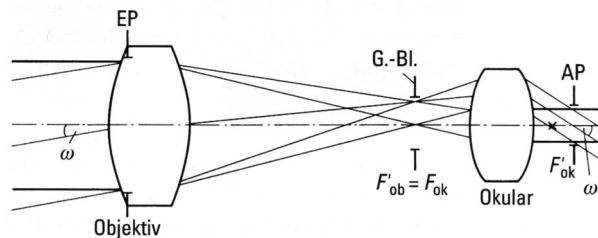


Abbildung 5: Strahlengang eines afokalen Fernrohr-Systems.

$f_{Ok} > 0 \quad \Rightarrow \quad$ Bild steht gegenüber Objekt auf dem Kopf

Galilei - bzw. holländisches Fernrohr:

$f_{Ok} < 0 \quad \Rightarrow \quad$ Bild und Objektiv haben selbe Orientierung, kurze Baulänge, keine reelle AP-Länge

Objektive von Spiegel-Teleskopen:

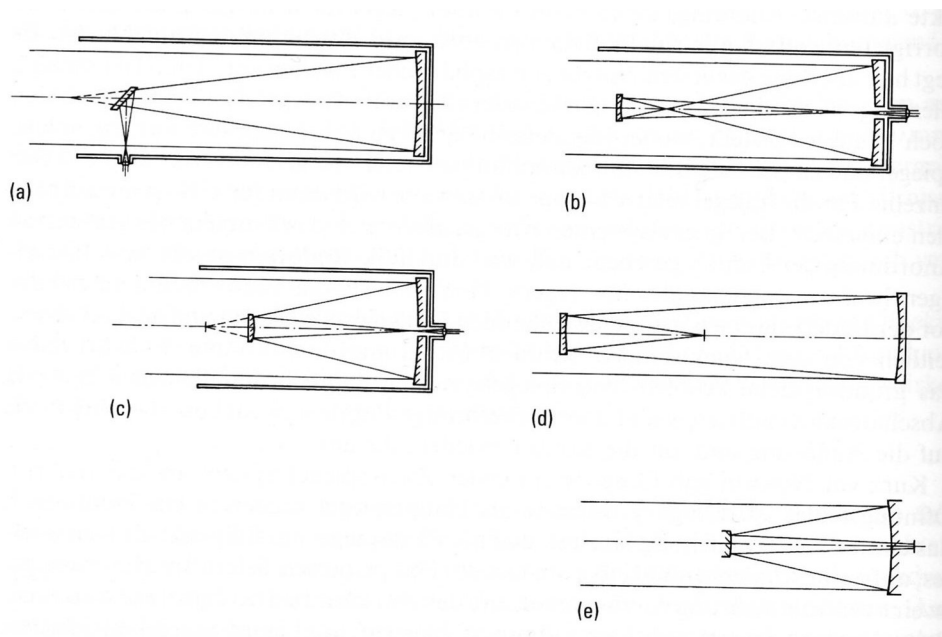


Abbildung 6: Schnittzeichnungen der wichtigen klassischen Spiegelteleskope; (a) Newton-Teleskop (1671), (b) Gregory-Teleskop (1663), (c) Cassegrain-Teleskop (1672), (d) Schwarzschild-system (1905), (e) Chretien-System (1922).