

0.4. Optische Apparate

0.4.1. Das Auge

Der gesamte **Augapfel** ist über drei Achsen beweglich an den **Augenmuskeln** aufgehängt.

Er wird von der schützenden weißen **Lederhaut** umschlossen, welche im vorderen Teil in die durchsichtige **Hornhaut** übergeht.

Darunter liegt die **Aderhaut**, welche das Auge mit Nährstoffen versorgt und im vorderen Teil in die Regenbogenhaut (**Iris**) übergeht. Die typische Färbung der Iris kommt durch Konzentration und Verteilung des Farbstoffes **Melanin** zustande, der auch für die **Haarfarbe** zuständig ist (*). Die Iris umfasst die **Pupille**, welche als variable **Blende** den Lichtzutritt je nach Helligkeit regelt. (**Adaption**) Als dritte Schicht folgt die **Netzhaut**, welche die Sehzellen enthält, die die Energie des eintreffenden Lichtes in elektrische Nervensignale umwandeln. Es gibt die drei verschiedenen **Zäpfchenrezeptoren** mit maximaler Empfindlichkeit für die Farbbereiche **Rot, Grün und Blau** für das **Tagsehen** sowie die wesentlich lichtempfindlicheren, aber auf Hell-Dunkel-Wahrnehmung beschränkten **Stäbchenzellen** für das **Dämmerungssehen**.

Hinter der Iris hängt die **Linse**, die durch den ringförmigen **Ziliarmuskel** im entspannten Zustand so gestreckt wird, dass sie zusammen mit der davorliegenden **Hornhaut (Schutzhaut)** und dem dahinterliegenden **Glaskörper (Abstandhalter)** eine **Brennweite** $f =$

$$\frac{1}{60} \text{ m} = 1,67 \text{ cm bzw. } 60 \text{ Dioptrien erreicht. Dies entspricht dem}$$

Abstand zur **Netzhaut**, so dass das entspannte Auge für die Erfassung weit entfernter Gegenstände eingerichtet ist, deren (fast) parallele Strahlen im Brennpunkt auf der Netzhaut gebündelt werden. Zieht sich der Ziliarmuskel zusammen, so nimmt auch die Krümmung der Linse bzw. die Dioptrienzahl zu. Die Brennweite wird durch diese **Akkommodation** so verringert, so dass auch nahe Gegenstände scharf auf die Netzhaut abgebildet werden können. Die **optimale**

Gegenstandsweite zum Lesen ist $s_0 = 25 \text{ cm} = \frac{1}{4} \text{ m}$. Mit der

$$\text{Bildweite } b = \frac{1}{60} \text{ m erreicht das Auge damit eine Brennweite von } \frac{1}{64} \text{ m bzw. } 64 \text{ Dioptrien.}$$

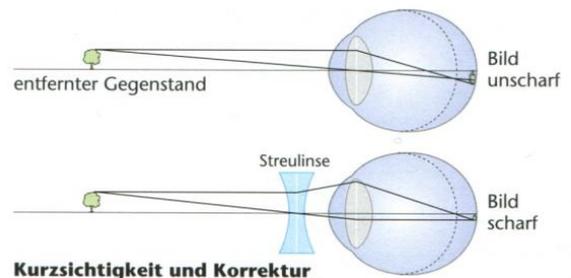
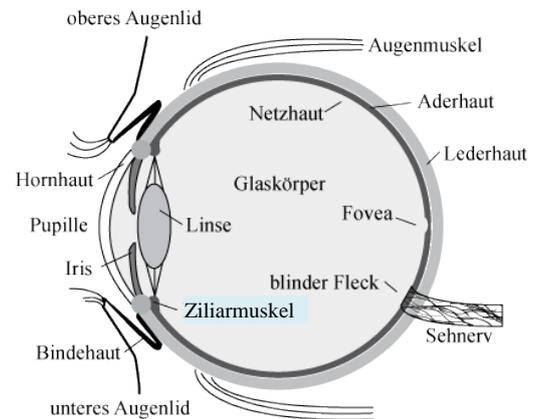
Je kleiner die **Gegenstandsweite** g , desto größer ist der **Schwinkel** ϵ und umso größer ist das **Bildgröße** $B = G \cdot \frac{b}{g}$ auf der Netzhaut.

Bei **Kurzsichtigkeit** ist die Brennweite f bei entspanntem Auge **kürzer** als die Entfernung zu Netzhaut und muss durch eine **Konkavlinse** vergrößert werden.

Bei **Weitsichtigkeit** ist die Brennweite f bei entspanntem Auge **länger** als die Entfernung zu Netzhaut und muss durch eine **Konvexlinse** verringert werden.

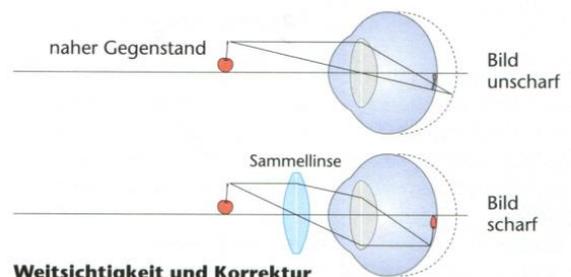
(*) Die Bedeutung von **Äußerlichkeiten** wie z.B. Haar-, Haut- und Augenfarbe für den ersten Eindruck bei menschlichen **Beziehungen** liegt vermutlich darin, dass sie vermutlich Rückschlüsse auf die **Struktur des Gehirns** ermöglichen. Der Farbstoff **Eumelanin** wird aus der Aminosäure **Tyrosin** über den Zwischenstoff **L-Dopa** synthetisiert und wandelt in Iris und Haut ca. 99,9% der einfallenden UV-Strahlen in Wärme um. Sowohl L-Dopa (Auch als wirksames Medikament gegen die **Parkinson-Krankheit** genutzt) als auch das nahe verwandte **Neuromelanin** treten in größeren Mengen aber auch im **Gehirn** auf. Ihre Funktion ist aber bisher nicht geklärt.

Übungen: Aufgaben zu optischen Apparaten Nr. 1 - 3



Kurzsichtigkeit und Korrektur

Der Augapfel ist etwas zu lang.



Weitsichtigkeit und Korrektur

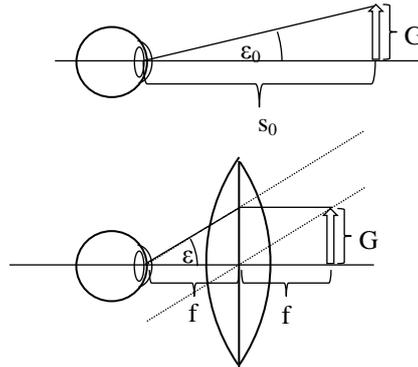
Der Augapfel ist etwas zu kurz.

0.4.2. Die Lupe

Die Lupe ist eine Sammellinse, die man mit der Gegenstandsweite $g = f$ vor den zu beobachtenden Gegenstand der Größe G hält. Das virtuelle Bild liegt dann im Unendlichen und kann mit entspanntem Auge (in der Regel) aus der Entfernung f unter dem Sehwinkel $\varepsilon \approx \frac{G}{f}$

betrachtet werden. Gegenüber dem Sehwinkel $\varepsilon_0 = \frac{G}{s_0}$ ergibt sich die

Vergrößerung $v_L = \frac{\text{Sehwinkel mit Instrument}}{\text{Sehwinkel ohne Instrument}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \approx \frac{s_0}{f}$.



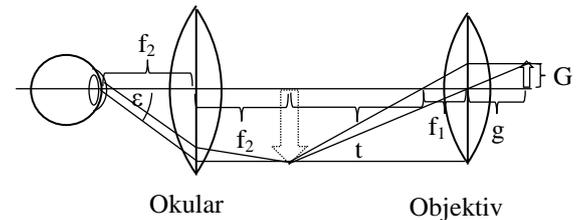
0.4.3. Das Mikroskop

Beim Mikroskop multiplizieren sich die Wirkungen zweier Linsen. Das **Objektiv** erzeugt von dem knapp außerhalb der **Objektivbrennweite** f_1 liegenden Gegenstand der Größe G am Ende des Rohres mit der **optischen Tubuslänge** t (=Abstand der Brennebenen von Objektiv und Okular) ein möglichst großes reelles

Zwischenbild der Größe $B = G \cdot \frac{b-f_1}{f_1} = G \cdot \frac{t}{f_1}$. (vgl. 0.3.6!).

Dieses seitenverkehrte (!) Zwischenbild wird mit dem **Okular** der Brennweite f_2 als Lupe betrachtet. Der scheinbare Sehwinkel ist dann $\varepsilon \approx \frac{G}{f_2} = \frac{G}{f_1 \cdot f_2}$ und für die **Vergrößerung** des Mikroskops ergibt

sich $v_M = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{t \cdot s_0}{f_1 \cdot f_2}$.



0.4.4. Das astronomische Fernrohr

Das Fernrohr besitzt die gleichen Elemente wie das Mikroskop, ist aber für **parallel einfallende Strahlen** eines Gegenstandes der Größe G aus großer Entfernung g dimensioniert. Das **seitenverkehrte**

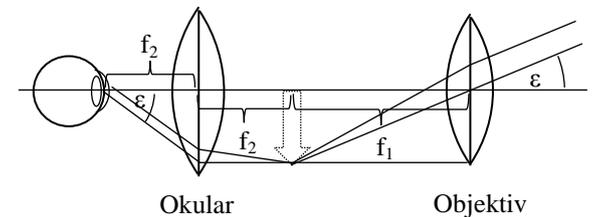
Zwischenbild der Größe $B = G \cdot \frac{b}{g}$ wird daher (nahezu) in der Bildweite $b \approx f_1$ erzeugt. Den weit entfernten Gegenstand würde man ohne Objektiv unter dem Winkel $\varepsilon = \frac{G}{g}$ und mit Objektiv unter dem

Winkel $\varepsilon_z = \frac{B}{s_0}$ betrachten.

Die **Vergrößerung des Objektivs** ist dann $v = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_0} = \frac{B/s_0}{G/g} = \frac{b}{s_0} \approx \frac{f_1}{s_0}$. Das Zwischenbild wird wie beim Mikroskop mit

dem Objektiv der Brennweite f_2 als Lupe mit der Vergrößerung $v_L = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_z} = \frac{s_0}{f_1}$ betrachtet. Die gesamte Vergrößerung ist

$v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = v \cdot v_L = \frac{f_2}{f_1}$



Zur Beobachtung irdischer Objekte möchte man ein **aufrechtes Zwischenbild** betrachten. Dazu dreht man entweder wie das Zwischenbild mittels zweier **Prismen** um zwei Achsen (**Feldstecher**) oder benutzt eine **Konkavlinse innerhalb der Objektivbrennweite** als Okular. (**Galilei 1609**)

Da Glas ebenso wie Plexiglas (nicht aber Kristallglas oder Diamant) auch im „festen“ Zustand fließt, verformen sich große Linsen unter ihrem eigenen Gewicht bei Durchmessern über ca. 1 m soweit, dass sie für astronomische Fernrohre nicht zu gebrauchen sind. Seit **Newton** (1671) verwendet man daher leichte und starre **Parabolspiegel**, die die gleichen Abbildungseigenschaften wie Konkavlinse besitzen. Die Vergrößerung ist bei allen Varianten gleich.

Übungen: Aufgaben zu optischen Apparaten Nr. 4 - 8