

Die Krümmung der Hornhaut läßt sich verhältnismäßig leicht messen. Da nämlich ihre Oberfläche wie ein verkleinernder Konkavspiegel wirkt, so hat man, wenn ein Gegenstand bekannter Größe in bestimmter Entfernung vor ihr sich befindet, nur die Größe des von der Hornhaut gespiegelten Bildes zu messen. Die Beziehungen, welche zwischen Größe und Entfernung des Gegenstandes und der Größe des Hornhaut-Spiegelbildes besteht, lassen auf den Radius schließen, der doppelt so groß ist, wie die Brennweite des Spiegels. Auf diese Weise errechnete man den Radius der Hornhaut mit 7,5 bis 7,8 mm im Mittel, die Brechkraft entsprechend mit 43 bis 48 Dioptrien. Brillengläser in solcher Schärfe werden kaum geschliffen; man muß schon eine Mikroskoplinse nehmen, wenn man zu dieser Brechkraft einen Vergleich finden will.

Haben die Lichtstrahlen die Hornhaut und das sie ausfüllende Kammerwasser durchsetzt, so werden sie durch die Pupille hindurch die Linse treffen, die als zweiter Teil des optischen Apparates die Strahlen weiter ablenkt, so daß ein vor dem Auftreffen auf die Hornhaut paralleles Strahlenbündel hinter der Linse so konvergent verläuft, daß es die Netzhaut eines rechtsichtigen Auges in einem Punkte schneidet (Abb. 2).

Auf ähnliche Weise wie bei der Hornhaut läßt sich die Krümmung der Linse im lebenden Auge durch Messen ihrer Spiegelbilder feststellen. Da die Linse nicht, wie die Hornhaut, eine flüssigkeitgefüllte Schale, sondern ein fester Körper ist, so kann man ihre Form auch annähernd bestimmen, wenn sie operativ, etwa bei der Staroperation, aus dem Auge entfernt wurde. Soweit die Linse in freier Luft ihre Form behält, die sie im lebenden Auge hatte, läßt sich dann leicht feststellen, daß die Vorder- und Hinterfläche der Linse verschiedene Krümmungen aufweisen, und zwar beträgt der Radius der Vorderfläche etwa 10 mm, der der Hinterfläche jedoch nur 6 mm. Die Hinterfläche, die im Auge direkt in einer tellerförmigen Grube des Glaskörpers liegt, ist also erheblich stärker gekrümmt. Durch diese Begrenzung — vorne an das Kammerwasser, hinten an den Glaskörper — ist die Brechkraft der Linse im lebenden Auge nicht so stark, wie sie es etwa in der Luft wäre. Entfernt man nämlich die Linse durch Operation, so entsteht durch die Verminderung der Brechkraft des ganzen Auges eine Übersichtigkeit von etwa 10 Dioptrien. Man kann also die Brechkraft der Linse trotz ihrer starken Krümmungen (bei einer Dicke von etwa 3,3 mm) nur auf etwa diesen Betrag schätzen.

Das gesamte optische System des Auges — Hornhaut mit Kammerwasser und Linse — besitzt eine Brechkraft von 58,64 Dioptrien (Gullstrand). Seine Brennweite in Luft beträgt also $\frac{1}{58,64} = 0,01705$ m oder 17,05 mm. Da das System hinten an den Glaskörper grenzt, so muß die beim Austritt erfolgende Strahlenbrechung geringer sein, als wenn sie an der Grenze des Überganges in Luft erfolgte. Mithin haben wir beim Auge eine längere hintere Brennweite von 22,79 mm. Denn nur optische Systeme (Linsen), die hinten und vorne an Medien mit gleichem Brechungsindex grenzen, haben, wie z. B. Brillengläser in Luft, auch gleiche Brennweiten. Diese Tatsache läßt es auch nicht zu, daß, wie bei verschwindend dünnen Linsen, die Brennweiten vom Scheitel der brechenden Flächen bis zum Brennpunkte gemessen werden. Hierfür gelten bei dem Übersichtsauge, dessen Daten hier benutzt werden, vielmehr die sogenannten Hauptpunkte, die auch sonst in der geometrischen Optik für jedes optische Instrument wichtig sind. Sie haben nämlich die von dem Physiker Gauß nachgewiesene Eigentümlichkeit, daß ein den ersten Hauptpunkt treffender Lichtstrahl den zweiten ohne Richtungsänderung verläßt, wobei die beiden Punkte meist um eine gewisse Strecke voneinander getrennt sind. Die durch diese Punkte gezogenen senkrechten Ebenen

nennt man Hauptebenen (Abb. 3). Ihre Eigentümlichkeit besteht darin, daß ein Punkt der einen einem Punkte der anderen Hauptebene in gleicher Höhe entspricht, daß also ein Gegenstand, der sich in der einen Hauptebene befindet, in der anderen in gleicher Größe abgebildet wird. Beim Auge liegt der erste Hauptpunkt 1,35 mm, der zweite 1,6 mm hinter der Hornhaut, so daß also der vordere Brennpunkt $17,05 - 1,35 = 15,7$ mm vor dem Hornhautscheitel liegt. Der hintere Brennpunkt liegt dann $22,79 + 1,6 = 24,39$ mm hinter dem Hornhautscheitel. Dies ist die Länge eines rechtsichtigen Auges, und der hintere Brennpunkt fällt dann mit der

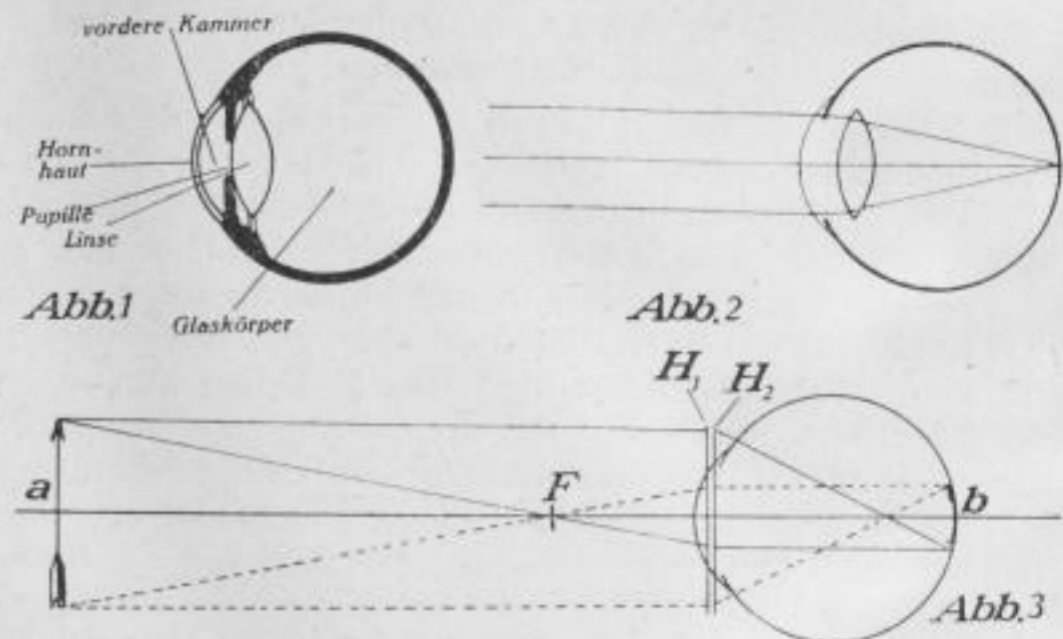


Abb. 1. Die brechenden Medien des Auges.

Abb. 2. Konvergenter Verlauf der Lichtstrahlen hinter der Linse.

Abb. 3. Konstruktion des von dem optischen Apparat des Auges entworfenen Bildes *b* eines Gegenstandes *a* unter Benutzung des vorderen Brennpunktes *F* und der beiden Hauptebenen *H*₁ und *H*₂.

Netzhaut, auf der die Bilder weit entfernter Gegenstände entstehen, zusammen. Ist letzteres nicht der Fall, so fällt das scharfe Bild vor oder hinter die Netzhaut, je nachdem das Auge länger (kurzsichtig) oder kürzer (übersichtig) ist als 24,39 mm.

Für die Größe des von einem optischen System entworfenen Bildes gilt allgemein, daß sie der Brennweite des Systems proportional ist. Der längeren Brennweite entspricht also ein größeres, der kürzeren ein kleineres Bild. Bei einer Brechkraft von 58,64 Dioptrien, entsprechend einer Brennweite von 17,05 mm, müssen die vom optischen System des Auges entworfenen Bilder sehr klein sein. Kennt man die Entfernung und die Größe eines Gegenstandes, so läßt sich aus den Beziehungen, die zwischen Brennweite des Systems und diesen Größen bestehen, die Größe des vom optischen System des Auges entworfenen Bildes leicht berechnen. So beträgt z. B. die Größe des auf der Netzhaut eines rechtsichtigen Auges entworfenen Bildes von einem 1,80 m großen, und 20 m weit entfernten Gegenstande nur 1,2 mm.

Alle diese Netzhautbilder sind umgekehrt wie die von einem photographischen Apparat entworfenen (Abb. 3). Daß wir trotzdem die Dinge aufrecht sehen, liegt daran, daß wir gewohnt sind, die vom Auge dem Bewußtsein übermittelten Eindrücke umgekehrt (in bezug auf den Gegenstand also aufrecht) in den Raum zu projizieren.

Die Fehler, die eine einfache Linse besitzt — Abweichung der Randstrahlen, Abweichung der im weißen Licht enthaltenen farbigen Strahlen, sowie Astigmatismus der schief auftreffenden Strahlenbündel —, haften auch dem Auge an. Daß diese Fehler nicht in Erscheinung treten, liegt daran, daß einmal der Bezirk des deutlichen Sehens sehr klein ist und das bewegte Auge auch ausgedehnte Gegenstände schnell zu überblicken vermag. Andererseits ist das Auge hauptsächlich für die gelbe Farbe empfindlich, während die Farbenabweichung mehr die blauen Strahlen zur Geltung bringt. Durch besondere Versuche lassen sich aber diese Fehler deutlich sichtbar machen.