

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Kurzes Lehrbuch der Physiologie für Mediciner

Boruttau, Heinrich

Leipzig [u.a.], 1898

XV. Gesichtssinn

Gesichtssinn¹⁾.

An das Sinnesorgan, welches uns die **Lichtempfindungen** vermittelt, ist bis weit herab in der Thierreihe die Anforderung gestellt, dass es entsprechend der Verschiedenheit der zu empfindenden Schwingungen, welche von verschiedenen Punkten der Aussenwelt ausgehen (Verschiedenheit nach Wellenlänge, resp. Geschwindigkeit einerseits und Amplitude andererseits), nebeneinander verschiedene Empfindungselemente zu Stande kommen lasse, welche in früher erörterter Weise unter besonderer Mitwirkung der Localzeichen zu einer sehr vollkommenen Vorstellung gewisser Eigenschaften der Dinge in der Aussenwelt führen. Dieser Anforderung ist bei dem „**refractorischen**“ **Auge** der Wirbelthiere, Kephalopoden u. A. dadurch genügt, dass auf eine **mosaikartige Anordnung der Aufnahmeelemente** der einzelnen Fasern des N. opticus ein **reelles Bild der aussenbefindlichen Gegenstände** entworfen wird durch einen **dioptrischen Apparat**, welcher das Auge im Wesentlichen einer Camera obscura der Photographen gleichen lässt.

Das „**facettirte**“ Auge der Arthropoden zeigt eine grosse Anzahl radial angeordneter optischer Elementarapparate, deren jeder aus einer bestimmten Richtung herkommendes Licht auf den entsprechenden Aufnahmeelementen concentrirt: man hat angenommen, dass so ein „**musivisches**“ Sehen der Gegenstände der Aussenwelt zu Stande kommen solle (Joh. Müller). Jeder dioptrische Elementarapparat liefert zwar von äusseren Objecten nachweisbare Bilder, doch

¹⁾ Genannt seien hier nur: H. v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik; in zweiter Auflage vollständig bei Voss, Hamburg 1896; hierin vollständigste Literaturangabe. H. Kaiser, Compendium der physiologischen Optik, Wiesbaden 1873; A. Fick, Dioptrik, Nebenapparate des Auges, Lehre von der Lichtempfindung; W. Kühne, Chemische Vorgänge in der Netzhaut; E. Hering, Raumsinn des Auges, Augenbewegungen; sämmtlich in Hermann's Handb. d. Physiol., Bd. III, Abteil. 1, Leipzig 1879.

ist es unwahrscheinlich, dass diesen als solchen Bedeutung zukomme; auch scheint dieses etwas streitige Gebiet¹⁾ im ersteren Sinne beleuchtet durch die offenbare Thatsache, dass das Sehvermögen der Arthropoden sehr unvollkommen ist.

Der dioptrische Apparat des Auges besteht in der Hauptsache aus vier hintereinander liegenden durchsichtigen Medien, der Hornhaut, dem vorderen Kammerwasser, der Linse und der Glaskörperflüssigkeit, welche gegeneinander im Wesentlichen **kugelschalige Trennungsflächen** besitzen, die auch annähernd centrirte sind, d. h. die Krümmungsmittelpunkte liegen annähernd auf einer geraden Linie — der optischen Achse des Auges, welche vom Hornhautscheitel zum „hinteren Pol“ des Augapfels verläuft.

Von einem solchen combinirten System brechender Medien mit centrirten Trennungsflächen wird nun ein von einem Punkte ausgehendes (homocentrisches) Strahlenbündel derartig gebrochen, dass — kleine „Oeffnungswinkel“

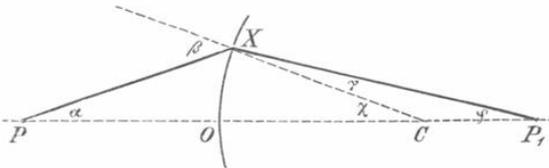


Fig. 62.

(siehe unten) vorausgesetzt — die Strahlen sich wieder in einem Punkte vereinigen, dessen Lage sich durch Berechnung und Construction aus den **Gesetzen** ergibt, welche **für ein einfaches System** von nur **zwei** brechenden Medien mit sphärischer Trennungsfläche gelten.

Diese werde in Fig. 62 dargestellt durch OX , mit dem Krümmungsmittelpunkt C . Ist der Punkt P im „ersten Medium“ ein leuchtender Punkt (Objectpunkt), so geht der „Hauptstrahl“ in der Richtung PC ungebrochen durch die Trennungsfläche; ein anderer Strahl PX wird bei X nach dem Brechungsgesetze gebrochen, wonach $\frac{\sin\beta}{\sin\gamma} = n$, d. h. dem Brechungsindex des „zweiten Mediums“ ist, derjenige des ersten gleich 1 angenommen. Der Schnittpunkt des gebrochenen Strahles und des ungebrochenen Hauptstrahles im zweiten Medium, P' , ist das Abbild von P (Bildpunkt).

Nach dem Satz vom Aussenwinkel sind nun für die Dreiecke PXC , resp. XCP' :

$$\alpha = \beta - \chi \quad (1)$$

$$\varphi = \chi - \gamma \quad (2)$$

¹⁾ Vgl. Exner, Die Physiologie der facettirten Augen von Krebsen und Insecten, Wien 1891.

Ist nun χ (der halbe „Oeffnungswinkel“) sehr klein, ebenso α und folglich die anderen Winkel, so kann man diese selbst für ihre Sinus setzen, und das Brechungsgesetz ergibt $\beta = n \cdot \gamma$ (3)

Setzt man diesen Werth in die mit n multiplicirte Gleichung 2:

$n \varphi = n \chi - n \gamma$, ein und addirt 1., so erhält man:

$$\begin{aligned} n \varphi &= n \chi - \beta \\ \alpha &= -\chi + \beta \\ \alpha + n \varphi &= \chi(n - 1) \end{aligned} \quad (4)$$

Da man für sehr kleine Winkel auch deren Tangente setzen kann und OX , wenn sehr klein, als geradlinig und senkrecht auf PC in O gelten kann, so gewinnt Gl. 4. die Form:

$\frac{OX}{OP} + \frac{OX}{OP'} \cdot n = \frac{OX}{OC} (n - 1)$, wobei OX herausfällt, und wenn wir für OP (den Objectabstand) p , für OP' (den Bildabstand) p' und OC (den Krümmungsradius) r setzen, so erhalten wir

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n - 1}{r} \quad (I)$$

Diese Gleichung nimmt besonders einfache Formen an in denjenigen Fällen wo P resp. P' in unendlicher Entfernung liegen.

Ist $p = \infty$, so wird $p' = \frac{n \cdot r}{n - 1} = f' = OF'$, d. h. alle aus unendlicher Entfernung im ersten Medium herkommenden, zueinander (und zum Hauptstrahl) parallelen Strahlen vereinigen sich in dem auf dem Hauptstrahl im zweiten Medium gelegenen Punkte F' , welchen man den zweiten Brennpunkt nennt. (Fig. 63 a.)

Ist $p' = \infty$, so wird $p = \frac{r}{n - 1} = f = OF$, d. h. alle aus dem Punkte F auf den Hauptstrahl im ersten Medium herkommenden Strahlen werden nach der Brechung im zweiten Medium parallel zum Hauptstrahl und untereinander. Man nennt F den ersten Brennpunkt. (Fig. 63 c.) Selbstverständlich gilt das Entsprechende für Strahlen, welche aus dem zweiten Medium in's erste gelangen.

Die Brennweiten $OF = f$ (erste Brennweite) und $OF' = f'$ (zweite Brennweite) haben in Bezug auf einander entgegengesetzte Vorzeichen. Ferner ergibt sich ohne Weiteres:

$$\frac{f'}{f} = n; \quad r = f' - f;$$

durch Einsetzen dieser beiden Werthe in obige Gleichung I erhält man

$\frac{1}{p} + \frac{f'}{f p'} = \frac{\frac{f'}{f} - 1}{f' - f}$ oder [ganze Gleichung mit $f'(f' - f)$ als Nenner versehen]:

$$\frac{f}{p} + \frac{f'}{p'} = 1 \quad (II)$$

womit die Lage des Bildpunktes für jeden Objectpunkt, als sogenannter conjugirter Punkte, deren einer das Abbild des anderen ist, ohne Weiteres sich ergibt: die Ausrechnung, wie die blosse Anschauung lehrt, dass zunächst für jeden auf dem Hauptstrahl jenseits des einen Brennpunktes in endlicher Entfernung liegenden Objectpunkt, der Bildpunkt im anderen Medium jenseits des anderen Brennpunktes, aber auch in endlicher Entfernung liegt. (Fig. 63 b.)

Liegt der Objectpunkt zwischen dem ersten Brennpunkte und der Trennungsebene, ist also $p < f$, so wird in Gleichung II das zweite Glied, somit p' negativ, d. h. derart stark divergente Strahlen werden nur weniger divergent gemacht, als ob

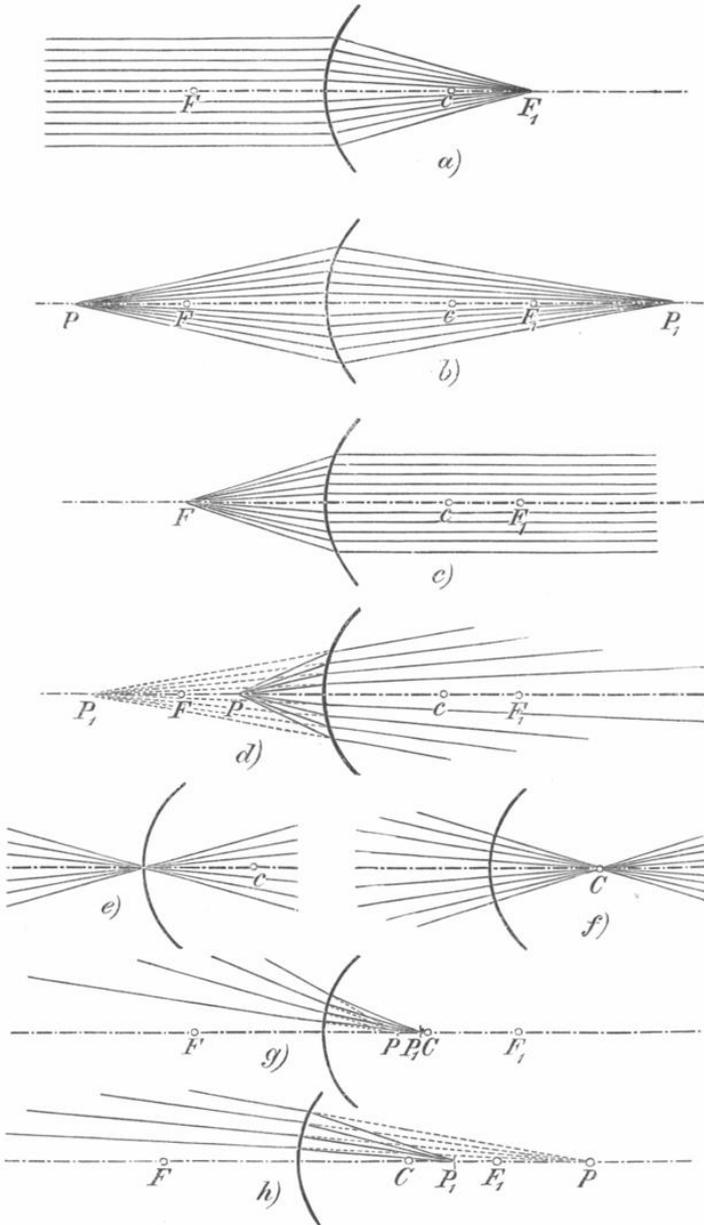


Fig. 63.

sie von einem im ersten Medium jenseits f gelegenen Punkte herkämen, welcher der virtuelle (im Gegensatz zum reellen) Bildpunkt genannt wird. (Fig. 63 d.)

Treffen convergente Strahlen derart auf die Trennungsfäche, dass sie sich in einem Punkte derselben vereinigen, so erhalten sie jenseits eine entsprechende Divergenz, denn für $p = 0$ in II, wird auch $p' = 0$; die Trennungsfäche ist der Ort ihres eigenen Bildes. (Fig. 63 e.)

Convergiren die aus dem ersten Medium kommenden Strahlen in der Weise, dass sie sich (ohne Trennungsfäche) in dem Krümmungsmittelpunkte vereinigen würden, so thun sie dies in der That, denn für $p = -r$ ist nach II $p' = r$ (wenn $r = f' - f$ eingesetzt wird): derartige Strahlen gehen aber ungebrochen durch die Trennungsfäche, da sie alle Hauptstrahlen sind, als deren Vereinigungspunkt der Krümmungsmittelpunkt C auch der Knotenpunkt heisst. (Fig. 63 f.)

Sind die Strahlen noch mehr convergent, so dass sie sich ohne Trennungsfäche zwischen dem Orte dieser und dem Knotenpunkt treffen würden, ist also $r <$ als $-r$, so muss nach obiger Gleichung auch $p' < r$, aber $> p$ sein, so dass der Bildpunkt P' also zwischen P und C fällt. (Fig. 63 g.) Ist umgekehrt der „virtuelle Objectpunkt“ P jenseits F' , oder zwischen C und F' gelegen,

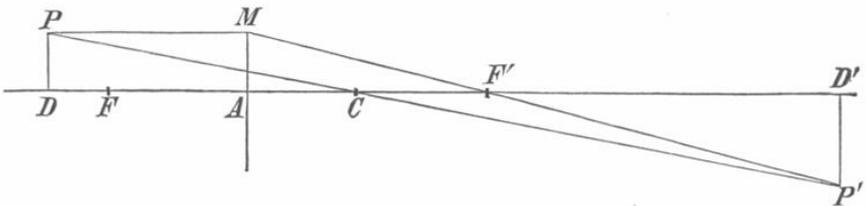


Fig. 64.

p also $> -r$, [entweder $> -f'$, oder $< -f'$], so liegt der (reelle) Bildpunkt zwischen C und F' , resp. jenseits F' , und analog für reelle Object- und virtuelle Bildpunkte.

Auch für alle Objectpunkte, welche nicht in der durch den Mittelpunkt der Trennungsfäche und den Knotenpunkt gehenden optischen Achse liegen, sondern seitwärts von ihr, lässt sich der Bildpunkt mit Leichtigkeit construiren, wenn man von ihm aus einen ungebrochen verlaufenden Hauptstrahl durch den Knotenpunkt zieht und einen parallel zur optischen Achse verlaufenden, welcher die (bei kleinem Oeffnungswinkel als Ebene zu denkende) Trennungsfäche senkrecht trifft: dieser muss nach seiner Brechung durch den zweiten Brennpunkt gehen; dort, wo er sich mit dem Hauptstrahl trifft, ist der Bildpunkt: in Fig. 64 ist AM die Trennungsfäche, P' der Bildpunkt zum Objectpunkt P , D' der Bildpunkt zu dem auf der optischen Achse gelegenen Objectpunkt D , und $D'P'$ das — in diesem Falle reelle und umgekehrte — Bild von DP . Das

Grössenverhältniss von Bild und Object $\frac{D'P'}{DP}$ ergibt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke PDC und $P'D'C = \frac{D'C}{DC} = \frac{p' - r}{-p + r(\text{NB})}$. Im vorliegenden Falle erhalten $D'P'$ und DP natürlich mit Bezug aufeinander umgekehrte Vorzeichen, und absolute Gleichheit ihrer Werthe hat nur dann statt, wenn p so

wohl als p' gleich Null sind, Object und Bild also mit der Trennungsfäche und miteinander (vgl. oben) zusammenfallen. In diesem Sinn, nämlich als der Ort gleicher Object- und Bildgrößen, heisst AM , als Ebene gedacht, die Hauptebene, resp. A der Hauptpunkt, und die zu ihr parallelen durch F und F' zu legenden Ebenen die Brennebenen (erste und zweite), C , wie schon erwähnt, der Knotenpunkt.

Haben wir **zwei** (centrirte) brechende Flächen statt einer, so lassen sich Berechnung und Construction des zu einem Object gehörigen Bildes mit Leichtigkeit elementar durchführen (Anwendung auf Linsen, siehe unten). Man findet so, dass ein Strahl, welcher durch den Krümmungsmittelpunkt der einen Fläche gehen würde, von der zweiten derart gebrochen wird, als sei er durch ihren Krümmungsmittelpunkt parallel zur ursprünglichen Richtung gegangen, also parallel mit sich selbst verschoben wird. In diesem Sinn sind also zwei „Knotenpunkte“ vorhanden, welchen auch zwei „Hauptpunkte“ entsprechen, indem die Rechnung ergibt, dass bei bestimmten endlichen Entfernungen p und p' von den beiden Trennungsfächen die Werthe von Objectgrösse und Bildgrösse gleich werden; die durch diese beiden Punkte senkrecht zur optischen Achse gelegten Ebenen heissen die beiden „Hauptebenen“; endlich erhalten wir zwei auf der optischen Achse gelegene Punkte, von denen ausgehende Strahlenbündel nach Brechung durch beide Trennungsfächen parallel werden, die beiden „Hauptbrennpunkte“ resp. -Ebenen, für deren Entfernungen von dem respectiven Hauptpunkte resp. der Hauptebene die „Hauptbrennweiten“ die Rechnung genau der Gleichung II entsprechend ergibt, dass $\frac{f}{p} + \frac{f'}{p'} = 1$, wenn p und p' die Entfernung des Bildpunktes resp. Objectpunktes von dem respectiven Hauptpunkte ist.

Die elementare successive Berechnung resp. Construction des Strahlenverlaufs und der conjugirten Punkte lässt sich nun auch für **drei und mehr** Trennungsfächen durchführen; doch kommt man hier schneller durch allgemeine Rechnung zum Ziele, wenn man sich der Euler'schen Kettenfunctionen bedient, wie dies von Gauss¹⁾ entwickelt worden ist. Auf jede Weise findet man, dass für beliebig viele Trennungsfächen zusammen stets nur zwei Knotenpunkte K und K' , zwei Hauptpunkte resp. Hauptebenen H und H' und zwei Hauptbrennpunkte resp. Hauptbrennebenen F und F' vorhanden sind, welche die vorerwähnten allgemeinen Eigenschaften besitzen, so dass, wenn ihre Lage bekannt ist, sich die Lage des zu einem Objectpunkt gehörigen Bildpunktes mit Leichtigkeit construiren resp. berechnen lässt, indem man von dem ersteren einen Strahl bis zum ersten Knotenpunkt und dann vom zweiten Knotenpunkt ab parallel mit sich verschoben weiter gehen lässt, einen anderen Strahl parallel zur optischen Achse bis zur zweiten Hauptebene und von hier durch den zweiten Brennpunkt legt; wo die beiden sich schneiden, ist wieder der Bildpunkt. (Fig. 65.)

Die „optischen Constanten“ lassen sich nun auch für **das menschliche** oder thierische **Auge** bestimmen, und zwar die Brechungsindices für die Augenflüssigkeiten, indem man diese

¹⁾ Dioptrische Untersuchungen, Göttingen (Ges. d. Wissensch.) 1838—1843

aus Leichenaugen entnimmt, zwischen Glaslinsen bekannter Constanten und Dimensionen in geeigneter Weise einschaltet und die Brennweiten des Systems misst. Die Linse zeigt bekanntlich eine concentrische Schichtung und hat in ihren Schichten verschieden starkes Brechungsvermögen, nach innen zunehmend; bestimmt man ihren „Totalindex“, indem man (an der herausgenommenen Linse) ihre Brennweiten (siehe unten) misst, ihre Dimensionen bestimmt (die Dicke direct, die Krümmungsradien am Lebenden nach gleich zu erörternder Methodik), beides in die Gleichungen für den Index einsetzt und danach auflöst, so erhält man einen grösseren Werth, als dem für sich bestimmten Brechungsvermögen sowohl der „Hüllenschichten“, als des „Kernes“ entsprechen würde, was auch aus einer einfachen Betrachtung a priori hervorgeht und für die Zweckmässigkeit des geschichteten Baues spricht. Die Lage der Trennungsflächen, resp.

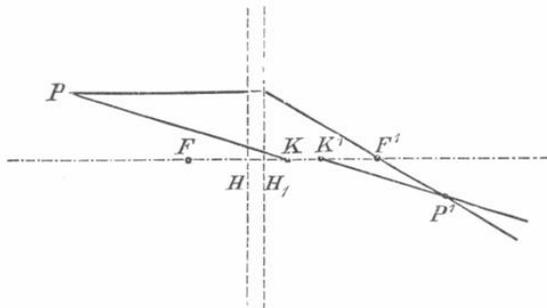


Fig. 65.

ihre Entfernung von einander, kann man (wie für die Dicke der Linse soeben schon angedeutet wurde) direct messen, am besten an gefrorenen Augen, doch auch am lebenden vermittelt geeigneter Methoden (Helmholtz, Donders). Die Grösse der Krümmungsradien endlich hat man mit Hilfe der **Spiegelbilder** ermittelt, welche die drei Trennungsflächen von selbstleuchtenden oder geeignet beleuchteten Gegenständen erscheinen lassen: Von einer seitlich vorgehaltenen Kerzenflamme beobachtet man drei Spiegelbilder, die Sanson-Purkinje'schen Bildchen, von welchen das hellste, aufrechte (links in Fig. 66) mittelgrosse das von der Hornhaut als Convexspiegel gelieferte virtuelle Spiegelbild ist und deshalb nicht nothwendig in den Bereich der Pupille zu fallen braucht: dies thun indessen die beiden anderen, nämlich das lichtschwächste, gleichfalls aufrechte und grösste (Mitte in Fig. 66), als von der

vorderen Linsenfläche, gleichfalls als Convexspiegel geliefertes virtuelles Spiegelbild der Flamme, und das dritte, helle, umgekehrte Bild (am meisten rechts in Fig. 66), welches die hintere Linsenfläche als Hohlspiegel liefert. Durch Messung jedes dieser Spiegelbilder liesse sich der Krümmungsradius der zugehörigen brechenden Fläche nach dem allgemeinen Princip finden, dass sich die Grösse eines jeden zur Grösse des betreffenden leuchtenden Gegenstandes verhält wie der halbe Krümmungsradius zum Abstand zwischen Gegenstand und Bild. Die Schwierigkeiten, welche die Grössenmessung der Spiegelbilder bietet (zumal bei den unvermeidlichen Bewegungen des beobachteten, lebenden Auges) hat man überwunden, indem man sie auf Winkelmessung zurückführt: Man verdoppelt das Bild für jede spiegelnde Fläche, indem man zwei leuchtende Punkte oder Flächen (Quadrate) in L und L'



Fig. 66.

(Fig. 67) aufstellt, deren Spiegelbilder (hinter der convex angenommenen Fläche FL) als in l und l' liegend, für das Auge des Beobachters zur Wahrnehmung gelangen werden; bringt man zwischen dieses und die spiegelnde Fläche eine planparallele Glasplatte, so erscheint die Lage der Spiegelbilder unverändert, wenn die Plattenebenen senkrecht zur gemeinschaftlichen optischen Achse liegen (Lage P , Fig. 68); wird die Platte z. B. im horizontalen Meridian gedreht (Lage P'), so erscheinen die Spiegelbilder seitlich verschoben um einen Betrag, welcher sich aus dem Drehungswinkel α leicht berechnet, wenn man noch den Brechungsindex des Glases, somit den entsprechenden Brechungswinkel β , und ausserdem die Dicke der Platte AB kennt, da ja der zuvor senkrecht auftreffende und daher ungebrochen durchgehende Strahl SA aus der Richtung AS parallel mit sich selbst verschoben in die Richtung BS' gelangt. Hat man über einander zwei planparallele Glasplatten P und P' (Fig. 67), welche in demselben Meridian gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung

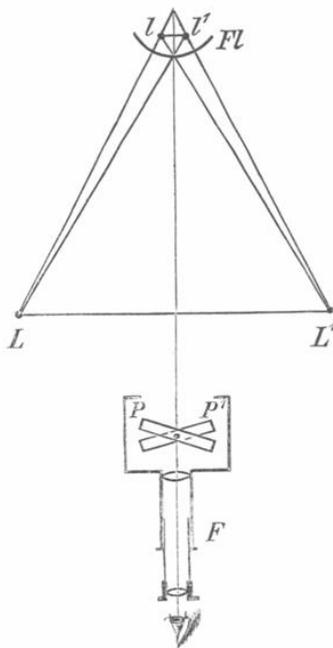


Fig. 67.

über einander zwei planparallele Glasplatten P und P' (Fig. 67), welche in demselben Meridian gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung

um den gleichen Winkel gedreht werden, derart angebracht, dass die Spiegelbilder mit ihrem unteren Theil durch die untere und mit ihrem oberen Theil durch die obere Platte betrachtet werden, so erscheinen bei deren Nullstellung einfach die zwei Spiegelbilder l und l' (Fig. 68); bei gekreuzter Stellung (Fig. 67) werden daraus vier, ll , und $l'l'$, und dreht man so lange, bis l , und l' über einander fallen, so entspricht der doppelte Drehungswinkel der Entfernung ll , wie oben entwickelt: Die beiden Platten mit feinen Messvorrichtungen und Beobachtungsfernrohr F bilden das **Ophthalmometer** von Helmholtz, mittelst dessen von verschiedenen Autoren die Krümmungsradien der brechenden Flächen menschlicher Augen bestimmt und bei verschiedenen Individuen etwas verschieden gefunden worden sind. Für die weitere Darstellung der optischen Eigenschaften des Auges hilft man sich mit Mittelzahlen aus den verschiedenen Angaben, und man nennt das angenommene Auge mit diesen Constanten das **schematische Auge**.

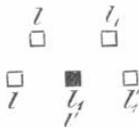
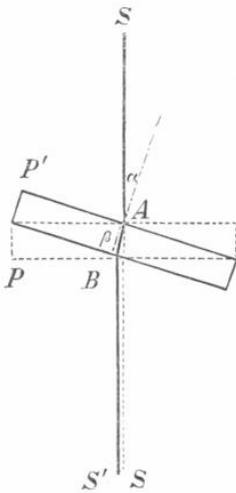


Fig. 68.

Man setzt in ihm als Brechungsindex n der Augenflüssigkeit (Humor aqueus und Glaskörper) . . . $\frac{103}{77}$

Totalindex (siehe oben) der Linse . . . $\frac{16}{11}$

Krümmungsradius der Hornhaut . . . 8 mm

„ „ vorderen Linsenfläche . 10 „

„ „ hinteren Linsenfläche . 6 „

Entfernung des vorderen Linsenscheitels vom Hornhautscheitel 3.6 „

Entfernung des vorderen vom hinteren Linsenscheitel (Linsendicke) 3.6 „

Erste Brennebene F 12.92 mm vor dem Hornhautscheitel

erste Hauptebene H 1.94 „ hinter „

somit erste Hauptbrennweite f 14.86 „

Zweite Hauptebene H' 2.36 „ „ „

zweite Brennebene F' 22.23 „ „ „

somit zweite Hauptbrennweite f' 19·87 mm

Erster Knotenpunkt K	6·96	„	hinter dem Hornhautscheitel
zweiter „ K'	7·37	„	„

Die Entfernung der beiden Hauptebenen, sowie der beiden Knotenpunkte unter einander ist hiernach eine so unbedeutende (je = 0·415 mm), dass man, in der Schematisirung noch weiter gehend, für jedes beider Paare nur eine Ebene, resp. nur einen Punkt annehmen kann, d. h. der dioptrische Apparat des Auges wäre ungefähr äquivalent einem einfachen System mit dem Brechungsindex des zweiten Mediums gleich n (siehe oben), dessen einzige sphärische Trennungsfläche 2·15 mm und deren Krümmungsmittelpunkt (Knotenpunkt, Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen) 7·17 mm hinter dem Hornhautscheitel läge, das sogenannte „**reducirte Auge**“ von Listing¹⁾. Schon aus den anatomischen Messungen ergibt sich, dass beim normalen „ruhenden“ Auge die zweite Hauptbrennebene mit der Lage der Netzhaut (Fovea centralis, siehe unten) zusammenfällt, unendlich weit entfernte Objecte sich also auf dieser scharf abbilden. Die von in endlichen Entfernungen befindlichen Objectpunkten ausgehenden Strahlen dagegen werden sich hinter der Netzhaut schneiden, und auf dieser entsteht statt des Punktes ein heller Kreis, welcher um so grösser ausfällt, je näher der Objectpunkt am Auge liegt, und dementsprechend unscharf würden sich äussere Gegenstände auf der Netzhaut abbilden und zur Wahrnehmung gelangen, wenn das Auge nicht eine Einrichtung besässe, den dioptrischen Apparat so zu verändern, dass auch die zu endlich entfernten Objectpunkten gehörigen Bildpunkte gerade auf die Netzhaut fallen: eine Ortsveränderung dieser letzteren selbst nach Art der Einstellscheibe resp. Platte in der Camera des Photographen (durch Verlängerung des Bulbus, welche etwa durch den Druck der angespannten Augenmuskeln zu Stande käme) muss ausgeschlossen werden. Es bleibt also nur Veränderung der Lage oder Gestalt des dazu geeigneten Antheils der brechenden Medien, nämlich der Linse. Beides ist in der Thierreihe realisirt; die „**Accommodation**“ des menschlichen Auges erfolgt wesentlich durch **Gestaltveränderung der Linse**.

Diese besitzt nämlich im **Ruhezustand** der inneren Augenmuskeln keineswegs diejenige Form, welche sie herausgenommen be-

¹⁾ Beitrag zur physiol. Optik, Göttingen 1845; Artikel „Dioptrik des Auges“ in Rud. Wagner's Handwörterb. d. Physiol., IV, S. 451.

sitzen würde, vielmehr ist sie an ihrer vorderen Fläche abgeflacht, ihre Dicke verringert und ihr Umfang vergrößert durch eine in radialer Richtung nach allen Seiten hin bestehende **Anspannung ihrer Kapsel**, welche zu Stande kommt durch Zug der sie mit der Aderhaut und dem Ciliarkörper verbindenden sogenannten Zonula Zinnii, resp. mittelbar durch den intraocularen Druck (über dessen Entstehung und Bedingungen siehe unten), welcher die Augenhäute zur Kugelgestalt aufbläht. **Dieser Spannung nun gerade entgegen** wirkt der **M. ciliaris** s. tensor choroïdeae, welcher die Aderhaut nach vorne zieht (durch Contraction seiner meridionalen, in die Ciliarfortsätze einstrahlenden Fasern), resp. ihre Uebergangsstelle in die Iris zum engeren Kreise zusammenzieht (durch Contraction seiner Circulärfasern), wobei also die Zonula und damit die

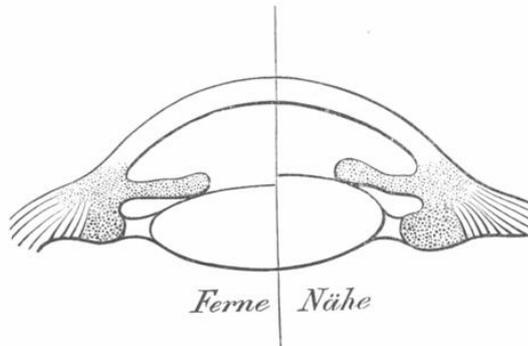


Fig. 69.

Linsenkapsel entspannt wird, und die Linse die ihr kraft ihrer Elasticität zukommende, nach vorn stärker gewölbte Form annimmt (Helmholtz); vgl. die schematische Fig. 69, in welcher links der „ruhende“ Zustand des Auges beim Sehen in die Ferne, rechts derjenige der Accommodation für die Nähe dargestellt ist.

Die Vorwölbung der vorderen Linsenfläche beim Accommodiren ist für den von der Seite hereinklickenden Beobachter ohne Weiteres am Vortreten des inneren Irisrandes (Pupillarrandes), oder aber bei seitlichem Lichteinfall an der Verschiebung der auf die Iris durch die Hornhaut als brechende Fläche entworfenen „Brennlinie“ erkennbar.

Ein kugeliges Vortreiben nur der Mitte der vorderen Hornhautfläche durch Contraction des Sphincter iridis, wie es von Cramer¹⁾ zur Grundlage der Accommodation gemacht worden ist, hat bestimmt nicht statt, ebenso wie auch

¹⁾ Accommodation etc., aus d. Holländ., Leer, 1853.

andere hiefür herangezogene Vorgänge [Verschiebung der Linse, Tscherning¹⁾ u. A.] gegenüber dem obigen, besonders durch Helmholtz und Donders sichergestellten Mechanismus für den Menschen nicht messbar in Betracht kommen; dagegen spielen sie bei manchen Thierarten eine Hauptrolle: Bei den Vögeln, den meisten Amphibien und Reptilien ist der Accommodationsmechanismus dem menschlichen analog, während bei den Wasserthieren (Fischen und Kephelopoden), entsprechend den Refractionsverhältnissen des Mediums, in der Ruhe Myopie (siehe unten) herrscht und activ für die Ferne accommodirt wird durch Zurückziehung resp. -Drängung der Linse durch Muskelmechanismen verschiedener Art [Th. Beer²⁾].

Dass beim Sehen in die Nähe Muskelanstrengung statt hat, zeigt uns übrigens das bei längerer Dauer derselben eintretende Ermüdungsgefühl.

Die Veränderungen der **optischen Constanten** des Auges **beim Accommodiren** für die Nähe sind natürlich **ophthalmometrisch** messbar (von den Purkinje-Sanson'schen Bildchen, siehe oben, wird das mittlere kleiner), und zwar wird angegeben:

	für das ruhende Auge (wie oben S. 368)	für das accommodirte Auge
Krümmungsradius der Hornhaut	8 mm	8 mm
" " vorderen		
Linsenfläche	10 "	6 "
Krümmungsradius der hinteren		
Linsenfläche	6 "	5·5 "
Entfernung der vorderen Linsen-		
fläche vom Hornhautscheitel . .	3·6 "	3·2 "
Entfernung der hinteren Linsenfläche		
vom Hornhautscheitel	7·2 "	7·2 "
Differenz = Linsendicke	3·6 "	4·0 "
Erste Brennebene	12·92 "	11·24 "
erste Hauptebene	1·94 mm	2·03 mm
	vor dem Hornhautscheitel	hinter dem Hornhautscheitel
somit erste Hauptbrennweite	14·86 mm	13·27 mm
Zweite Hauptebene	2·36 "	2·49 "
	hinter dem Hornhautscheitel	hinter dem Hornhautscheitel
zweite Brennebene	22·23 mm	20·25 mm
	hinter dem Hornhautscheitel	hinter dem Hornhautscheitel
somit zweite Hauptbrennweite	19·87 mm	17·76 mm
Erster Knotenpunkt	6·96 "	6·52 "
zweiter Knotenpunkt	7·37 "	7·97 "
	hinter dem Hornhautscheitel	hinter dem Hornhautscheitel

¹⁾ A. d. P., (5) VI, p. 40; (5) VII, p. 158, 181.

²⁾ A. g. P., LIII, 175, LVIII, 523; LXVII, 541; LXIX, 507.

Die **Geschwindigkeit der Accommodation** ist gering, die Einstellung für die Nähe = Contraction des Ciliarmuskels erfolgt langsamer (1·6 Secunden) als diejenige für die Ferne = Wiedererschaffung [0·8 Secunden, Angelucci und Aubert ¹⁾].

Ueber die Innervation und Associationen der Accommodationsbewegung siehe weiter unten.

Blickt man durch zwei feine Löcher, welche in geringerem Abstände, als die Pupillenweite beträgt, durch ein dicht vor's Auge zu haltendes Kartenblatt gestochen sind, auf einen Gegenstand (Nadelspitze), so erscheint er doppelt, wenn der Vereinigungspunkt der aus diesem Abstände kommenden Lichtstrahlen nicht auf die Netzhaut fällt (ohne die beiden feinen Löcher würde er „unscharf“ erscheinen durch die „Zerstreuungskreise“, vgl. oben), dagegen einfach, sobald auf ihn accommodirt wird und dabei die Strahlen sich auf der Netzhaut schneiden (**Scheiner's Versuch**): die geringste Entfernung des Gegenstandes vom Auge, in welcher dies letztere noch möglich ist, ergibt den sogenannten **Nahepunkt**, die grösste den sogenannten **Fernpunkt**; zu deren Bestimmung — „Optometrie“ — eben der Scheiner'sche Versuch mit Vortheil benützt werden kann („Optometer“ von Stampfer, Young u. A.); indessen ist diese „Functionsprüfung“ des Auges auch durch Aufsuchen der Grenzen der „Erkennbarkeit“ geeigneter Leseproben möglich.

Der Fernpunkt des normalen Auges liegt in unendlicher Entfernung, der Nahepunkt, entsprechend der äussersten Grenze der Accommodationsanstrengung, in **12—13 cm** Entfernung vor dem Auge: der geometrische Ort sämmtlicher in der Richtung der Blicklinie gelegenen Punkte, welche das normale Auge deutlich zu sehen vermag, die Accommodationslinie oder das „Accommodationsspatium“ ist also unendlich gross. Die Veränderung, welche die Linse bei der Accommodation vom Ruhezustande (Fernpunkt) bis zum Nahepunkt erfährt, ist dieselbe, als ob dicht vor sie eine zweite concavconvexe oder überhaupt convexe Linse gesetzt würde, welche aus einer Entfernung von **12—13 cm** divergent auftreffende Strahlen parallel macht, resp. umgekehrt parallel auftreffende Strahlen in **12—13 cm** Entfernung vereinigt oder eine Brennweite von **12—13 cm** hat.

¹⁾ A. g. P., XXII, S. 69.

Als „Linsen“ bezeichnet man bekanntlich allgemein von zwei centrirten sphärischen Flächen begrenzte durchsichtige Körper, deren optische Eigenschaften aus den oben entwickelten allgemeinen Principien sich leicht ergeben: auch hier

gilt die Hauptgleichung $\frac{f}{p} + \frac{f^1}{p^1} = 1$, wobei jeder Werth je nach der Krümmungs-

richtung und der Grösse des Krümmungsradius jeder von beiden Flächen, sowie dem Werthe „ positives oder negatives Vorzeichen erhalten kann: Parallel auftreffende Strahlen werden nach dem Durchtritt convergent durch Convexlinsen („Sammellinsen“) — als aus Glas bestehend und in Luft befindlich vorausgesetzt —, deren eine Fläche also mindestens nach aussen convex ist, während die andere gleichfalls convex, eben oder concav, aber minder stark als die Convexität der ersteren sein kann (biconvex, planconvex und concavconvex), so dass die Dicke jedenfalls in der Mitte grösser als am Rande ist: solche Linsen entwerfen von einem Gegenstand ein umgekehrtes reelles Bild. Dagegen werden parallel auftreffende Strahlen divergent nach dem Durchtritt durch Concavlinen („Zerstreuungslinsen“), deren eine Fläche also mindestens nach aussen hin concav sein muss, während die andere gleichfalls concav, eben oder convex, aber weniger als die Concavität der ersteren, sein kann (biconcav, planconcav und convexconcav), so dass also die Dicke jedenfalls am Rande grösser als in der Mitte ist: solche Linsen lassen von einem Gegenstand nur ein virtuelles, aufrechtes Bild erkennen. Als Brennweiten einer Linse misst man für gewöhnlich wohl die Entfernung des Vereinigungspunktes parallel auftreffender Strahlen (resp. ihrer Rückverlängerungen nach der Divergentmachung) von dem Mittelpunkte der Begrenzungsfläche auf der nämlichen Seite; und da sie für beide Seiten auf diese Weise annähernd gleich gefunden werden, spricht man schlechthin von der „Brennweite“ einer Linse, welcher Werth der theoretischen Entfernung der Brennpunkte von ihren resp. Hauptpunkten (siehe oben) um so näher kommt, je symmetrischer die Linse ist: bei Linsen mit gleicher Krümmung beider Flächen sind, wie die Rechnung oder schon einfache Ueberlegung zeigt,

beide „Hauptbrennweiten“ gleich gross, also gilt: $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^1} = \frac{1}{F}$.

Um von der Ruhestellung aus auf einen in 25 cm Entfernung vor dem Auge befindlichen Gegenstand zu accommodiren, ist eine Veränderung der Linsenform zu erzielen, welche dem Vorsetzen einer Linse von 25 cm Brennweite entspricht, deren zwei einer einzigen von 12½ cm, also dem Werth der gesammten Accommodation bis zum Nahepunkt entsprechen würden: unter der Voraussetzung, dass die Muskelanstrengung beim Accommodiren dem refractorischen Werthe der Linsenveränderung, ausgedrückt als vorgesezte Linse, entspricht, gebraucht man als ihr Maass den (jeweiligen) reciproken Werth der Brennweite der letzteren, wobei als Einheit die Linse von 1 m Brennweite angenommen wird: „Dioptrie“. Die Accommodationsanstrengung für die Einstellung vom Ruhezustande (= ∞) auf 25 cm Entfernung beträgt also, einer Linse von ¼ m Brennweite entsprechend, vier („Meterlinsen“ oder Dioptrien, und doppelt

so gross, also acht Dioptrien ist die gesammte verfügbare Accommodationskraft oder das „**Accommodationsvermögen**“¹⁾ des normalen Auges, oder allgemeiner gleich der Differenz: reciproker Werth des Nahepunktabstandes minus reciprokem Werth des Fernpunktabstandes: $A = \frac{1}{N} - \frac{1}{F}$ (Donders);

letzterer ist beim normalen Auge $\frac{1}{\infty} = 0$, braucht dies aber nicht immer zu sein, denn die Augen vieler Menschen weichen von dem bisher betrachteten als „**Normalsichtigkeit**“ („Emmetropie“) bezeichneten Verhalten ab:

Ist die zweite Hauptbrennweite des Auges kleiner als die Entfernung der Netzhaut von dem zweiten Hauptpunkte (resp. der brechenden Fläche der „reducirten Auges“), resp. das Auge für seine Refractionsverhältnisse zu „lang“, so können unendlich weite Gegenstände nicht scharf gesehen werden, da sich die von jedem Punkte derselben ausgehenden Strahlen bereits vor der Netzhaut schneiden und, wieder auseinandergehend, auf ihr Zerstreuungskreise bilden. Erst von einer gewissen Nähe der Objectpunkte ab ist jenes der Fall — der Fernpunkt liegt also in endlicher Entfernung; dafür können bei eintretender Accommodation näher vor dem Auge befindliche Gegenstände deutlich gesehen werden, als von Seiten des normalsichtigen Auges — der Nahepunkt liegt also **abnorm nahe**. Das Accommodationsspatium (siehe oben) ist also bei diesem als **Kurzsichtigkeit** (Myopie) bezeichneten Zustande verringert gegenüber jenem, wo es ja unendlich gross ist; dabei kann aber das Accommodationsvermögen im oben angegebenen Sinne gleich gross sein wie dort, und in diesem Falle kann vollkommen normales Functioniren des dioptrischen Apparates erreicht, die „Refractionsanomalie“ vollkommen „**corrigirt**“ werden durch Vorsetzen einer Concavlinse als „**Brillenglas**“, deren negative Brennweite dem Fernpunktabstande gleich ist, so dass dieser also auf ∞ , und der Nahepunkt in normale Entfernung hinausgeschoben wird. Der reciproke Werth jener Brennweite oder des Fernpunktabstandes in Meter bildet daher auch den Ausdruck des jeweiligen Grades der Kurzsichtigkeit in Dioptrien.

¹⁾ Der Ausdruck „Accommodationsbreite“ ist hier als unsicher vermieden worden, indem er von den verschiedenen Autoren bald im Sinne des „Accommodationsspatiums“ als Streckenlänge, bald im Sinne des optischen Werthes der Accommodationskraft gebraucht sich findet.

Ist umgekehrt die zweite Hauptbrennweite des Auges grösser als die Entfernung der Netzhaut von dem zweiten Hauptpunkte, resp. das Auge für seine Refraktionsverhältnisse zu „kurz“, so können auch unendlich weite Gegenstände nicht scharf gesehen werden, weil die von jedem Punkte derselben ausgehenden Strahlen sich erst hinter der Netzhaut schneiden, auf dieser einen Zerstreuungskreis bilden; nur convergente Strahlen, wie sie von keinem Gegenstande ohne Weiteres ausgesandt werden, würden jenes thun: der Fernpunktabstand ist negativ. Erst durch Anstrengung der Accommodation können unendlich weit entfernte Gegenstände scharf gesehen werden, und weiterhin auch endlich weit entfernte, aber nur bis zu einem grösseren Abstände des Nahepunktes, als beim normalen Auge, weshalb man diese Refraktionsanomalie als **Weit- oder Uebersichtigkeit** (Hypermetropie) bezeichnet; auch bei ihr kann das Accommodationsvermögen, gemessen als Differenz des reciproken Werthes des Nahepunktabstandes minus demjenigen des (negativen!) Fernpunktabstandes, normale Grösse besitzen. Corrigirt wird sie durch Vorsetzen einer Convexlinse als Brillenglas, deren (positive) Brennweite dem negativen Fernpunktabstande gleich ist, so dass also der Fernpunkt auf ∞ und der Nahepunkt auf normale Distanz herangerückt wird; der reciproke Werth ihrer Brennweite, resp. des negativen Fernpunktabstandes in Meter bildet auch hier wieder den Ausdruck für den Grad der Weitsichtigkeit in Dioptrien.

Mit zunehmendem Alter vermindert sich das Accommodationsvermögen durch Elasticitätsverlust (Starrerwerden) der Linse: der Nahepunkt rückt weiter hinaus, wodurch für das emmetrope Auge Auftreten, resp. für das hypermetrope Verstärkung der Weitsichtigkeit, für das myope Auge Abnahme der Kurzsichtigkeit vorgetauscht wird; man bezeichnet diesen Zustand als **Alterssichtigkeit** (Presbyopie).

In seiner Ausbildung als dioptrisches System ist das Auge **relativ unvollkommen** (z. B. im Vergleich mit unseren vollkommensten, künstlich angefertigten optischen Apparaten, wie Mikroskopen, Fernrohren und photographischen Objectiven); indessen beschränken sich seine Unvollkommenheiten auf ein für gewöhnlich nicht störendes Maass. So sind die **sphärischen Trennungsflächen** nicht genau centrirt, jedoch mit nur geringen Abweichungen von einer mittleren optischen Achse. Ferner unterliegen Lichtstrahlen, zunächst gleiche Wellenlänge vorausgesetzt, beim Durchgang durch

die brechenden Medien des Auges der sphärischen Aberration, indem ja bei nicht ganz kleinem Oeffnungswinkel die durch den Rand einer sphärischen Trennungsfläche gehenden Strahlen stärker gebrochen werden, als die durch die Mitte gehenden, so dass also zunächst bei einem Strahlenbündel, welches von einem in der optischen Achse liegenden Punkte ausgeht, die einen Strahlen einen Zerstreungskreis auf der Netzhaut bilden, wenn die anderen sich gerade auf ihr vereinigen. Diesem Fehler wirkt ausser der Verkleinerung des Oeffnungswinkels durch die Iris als Blende (siehe unten) auch der Umstand entgegen, dass die brechenden Flächen des Auges im Allgemeinen in der Mitte etwas stärker gekrümmt sind als am Rande, so dass die Randstrahlen also nicht zu stark gebrochen werden, sondern sich ebenso wie die centralen Strahlen auf der Netzhaut schneiden können: das Auge besitzt einen gewissen Grad von „Aplanasie“ (von $\alpha\lambda\alpha\nu\acute{\alpha}\sigma\mu\alpha\iota$, ich irre herum, also: Vermeidung der sphärischen Abweichung).

Von besonderer Bedeutung für die Bildschärfe ist fernerhin der Fall der „schiefen Incidenz“, indem nämlich die von ausserhalb der optischen Achse gelegenen Punkten herkommenden Strahlen, statt in je einem Punkte, im Verlauf einer vorn und hinten von zwei zu einander senkrecht stehenden „Brennlinien“ begrenzten, sogenannten „Brennstrecke“ sich vereinigen. Auch dieser Fehler kann durch geeignete Einrichtung bei einem dioptrischen Apparat verringert werden; so ist besonders beim Auge die Fähigkeit, auch seitlich gelegene Gegenstände scharf abzubilden, oder die „Periskopie“ in hohem Maasse vorhanden, welche Eigenschaft specieller der Krystalllinse kraft ihres geschichteten Baues zukommt, wie solches auch die Theorie ergibt [Hermann, Peschel¹⁾, Matthiessen²⁾ u. A.].

Die „schiefe Incidenz“ auf eine sphärische Trennungsfläche ist nun aber, wie leicht ersichtlich, nur ein besonderer Fall des allgemeinen Vorkommens, dass die brechende Fläche in verschiedenen Ebenen, welche man durch den mittelsten oder Leitstrahl des auffallenden Bündels legen kann, verschieden stark gekrümmt ist, wobei eben niemals eine Vereinigung zu einem Punkte stattfinden kann: daher die Benennung dieser dioptrischen Unvollkommenheiten als „**Astigmatismus**“. Insbesondere werden bei (senkrecht) Auftreffen eines Strahlenbündels auf eine ellipsoïdische brechende Fläche, welche

¹⁾ A. g. P., XX, S. 338.

²⁾ A. g. P., XIX, S. 480.

also in zwei zu einander senkrecht stehenden „Meridianen“ die grösste Krümmungsdifferenz zeigt, die durch den Meridian von stärkster Krümmung (kleinstem Krümmungsradius) gehenden Strahlen sich zuerst, und zwar in einer zu ihm senkrechten „Brennlinie“ vereinigen, dagegen die durch den Meridian von schwächster Krümmung (grösstem Krümmungsradius) gehenden Strahlen zuletzt, nämlich in einer zu diesem letzteren und der anderen Brennlinie senkrechten, dem erstgedachten Meridian entsprechenden Brennlinie; auf zwischen diesen beiden gedachte Aufgabebenen werden in der einen oder anderen Richtung mehr weniger gestreckte Ellipsen, resp. bei Mittelstellung ein „Zerstreuungskreis“ entworfen werden. Einen derartigen „regelmässigen Astigmatismus“ besitzt in geringem Grade auch das normale Auge, wie daraus ersichtlich ist, dass von einem Stern auf Papier gezeichneter gleich dicker (feiner) Linien die horizontale Linie am schärfsten (dünnsten) erscheint, wenn das Papier dem Auge am nächsten gehalten wird, die verticale, wenn vom Auge am fernsten: in der That besitzt, wie auch die ophthalmometrischen Messungen ergeben, bei den meisten Menschen die Hornhaut im verticalen Meridian die stärkste Krümmung, im horizontalen die geringste [Young¹⁾, Donders²⁾, Knapp³⁾]; einen genau entgegengesetzten Astigmatismus geringeren Grades besitzt die Linse (Helmholtz), so dass derjenige der Hornhaut zum Theil compensirt wird.

Abnormerweise kann Astigmatismus in störendem Grade vorhanden sein, welcher dann durch sogenannte Cylinderlinsen als Brillengläser corrigirt werden muss, d. h. durchsichtige Körper, welche mindestens eine cylindermantelförmige Begrenzungsfläche besitzen, deren Krümmung derartig ist, dass die in ihrem Meridian verlaufenden Strahlen sich auf der Netzhaut vereinigen, wenn die zu ihm in senkrechter Ebene verlaufenden es ohnehin thun; in demselben Brillenglas können damit natürlich anderweitige cylindrische, resp. sphärische, brechende Flächen vereinigt sein zur Correction gleichzeitig vorhandener anderer Refraktionsanomalien.

Stets vorhandene regellose, wenn auch geringe Abweichungen der Krümmungsverhältnisse der Trennungsfächen, resp. der Dichte-

¹⁾ Philos. Transact., 1801, I, S. 39.

²⁾ Astigmatismus, Berlin 1862; Poggendorf's Annalen d. Physik, CXX, S. 452. Arch. f. Ophthalmol., VIII, 2, S. 185.

³⁾ Arch. f. Ophthalmol., X, 2, S. 83; u. On the anomalies etc., London 1864.

verhältnisse der brechenden Medien des Auges führen zu Unvollkommenheiten der Bildschärfe, welche man als „**unregelmässigen Astigmatismus**“ bezeichnet; von fernen, leuchtenden Gegenständen — Sternen, entfernten Laternen — sehen wir statt der „punktförmigen“ Bilder gezackte, strahlige oder sonstwie unregelmässige, besonders bei unrichtigem Accommodationszustand; bei richtiger Accommodation wirkt diese Unvollkommenheit in ihrem normal vorhandenen Grad nicht störend, vielmehr würden wir ohne sie aus unten näher ersichtlichen Gründen die so gut wie unendlich weit entfernten Fixsterne überhaupt nicht sehen können. In abnormem Grade vorhanden, kann natürlich auch sie sehr hinderlich werden.

Zu den bisher betrachteten Unvollkommenheiten des dioptrischen Apparates kommt nun noch der Umstand hinzu, dass die (verschieden-„farbigen“, siehe unten) Strahlen verschiedener Wellenlänge unter gleichen Verhältnissen verschieden stark gebrochen werden, die „rothen“ von grösster Wellenlänge am wenigsten stark, die „violetten“ von kleinster Wellenlänge am stärksten. Dort, wo sich Lichtstrahlen einer bestimmten Farbe in einem Punkt vereinigen, bilden deshalb diejenigen einer anderen Farbe einen Zerstreungskreis von um so grösserem Durchmesser, je weiter von einander beide im Spectrum liegen; von einem Punkte ausgehendes weisses Licht wird zerlegt, derart, dass die Regenbogenfarben in concentrischer Anordnung auftreten, das Violett in der Mitte bei geringerer, das Roth bei grösserer Entfernung der auffangenden Fläche; bei in weissem Licht leuchtenden Flächen oder Gegenständen decken sich die benachbarten Zerstreungskreise derartig, dass die complementären Farben (siehe unten) auf einander fallen und einander wieder zu Weiss ergänzen, ausser am äussersten Rande, weshalb auch dem Auge solche Gegenstände oder Flächen weiss, aber mit farbigen Rändern erscheinen, insbesondere an der Grenze gegen Schwarz (z. B. bei Abdeckung der einen Pupillenhälfte), und dann, wenn ungenau accommodirt wird — mit bläulich-violettem Rande bei zu geringer, mit röthlich-gelbem Rand bei zu starker Accommodationsanstrengung — ebenso wird auch, dem oben Gesagten entsprechend, der Fern- und Nahepunkt für einfarbiges violettes Licht näher liegen, als für rothes; auch erscheinen der nöthigen grösseren Accommodationsanstrengung wegen rothe (orangefarbene, gelbe) Gegenstände näher als violette (blaue, grüne) Objecte, bei gleicher wirklicher Entfernung. Indessen ist auch der Grad der „**chromatischen Ab-**

weichung“ des Auges für gewöhnlich nicht störend, und es dürfte eine gewisse Art der Anordnung der brechenden Medien nach Art der achromatischen Linsen optischer Instrumente für ihre Geringfügigkeit vielleicht mit in Betracht kommen.

Die zweite Brennweite des „reducirten Auges“ beträgt nach den Berechnungen von Helmholtz für Roth 20·52, für Violett 10·14 mm.

Durch Verkleinerung des Oeffnungswinkels oder Abblendung der Randstrahlen werden die herabsetzenden Einflüsse der besprochenen dioptrischen Unvollkommenheiten des Auges auf die Bildschärfe bedeutend gemindert, und zwar erfolgt dies durch die **Iris**, welche eine **Blende** (Diaphragma) von veränderlicher Weite darstellt¹⁾. Der Durchmesser ihrer als Sehloch oder Pupille bezeichneten Oeffnung wird verkleinert durch die Thätigkeit der circular angeordneten (glatten) Muskelfasern des *M. sphincter pupillae*, vergrössert durch den Nachlass dieser und die Thätigkeit der Radialfasern des *M. dilatator pupillae*. Ersterer wird innervirt vom Oculomotorius aus (vgl. S. 300) letzterer vom sympathischen Systeme auf dem Wege durch die Gefässgeflechte der *Art. carotis* und *ophthalmica*, doch zum Theil vielleicht ebenfalls auf demjenigen der Trigeminusbahn (Anastomosen an der Schädelbasis, vgl. S. 321).

Reflectorisch erfolgt **Verengerung der Pupille auf Lichteinfall** in's Auge, und zwar um so stärker, je intensiver der Lichtreiz, resp. je grösser die beleuchtete Netzhautfläche ist: die Grösse der Pupille regulirt sich „tonisch“ je nach der Beleuchtung, in absoluter Dunkelheit ist sie ad maximum dilatirt. Auch directe Reizung des Opticusstammes macht Pupillenverengerung (Herb. Mayo). Beim Menschen verengert sich bei Lichteinfall in das eine Auge auch die Pupille des anderen Auges in gleichem Maasse, wenn dieses nicht beleuchtet wird („**consensuelle**“ Pupillenreaction); die Pupillen sind deshalb normalerweise stets gleich weit. Das Gleiche gilt für manche Thierarten, während bei anderen die consensuelle Pupillenreaction fehlt [z. B. beim Kaninchen, Steinach²⁾]. Das Centrum für den Pupillenreflex ist am Boden des dritten Hirnventrikels, ganz nahe dem *Aq. Sylvii* zu suchen [Hensen und

¹⁾ Dementsprechend bezeichnet man auch die neuerdings in optischen Instrumenten vielfach gebräuchlichen Blenden mit verstellbarer Oeffnung als „Irisblenden“.

²⁾ A. g. P., XLVII, S. 289.

Völkers¹⁾]; es steht in „Association“ zu den Oculomotoriusfasern, welche den Ciliarmuskel und den M. rectus medialis versorgen, wie daraus zu schliessen ist, dass beim Accommodiren für die Nähe (siehe oben), sowie bei Drehung der Augäpfel medianwärts („Convergenz“, siehe unten) stets Verengerung der Pupille zu beobachten ist.

Reflectorische Pupillenerweiterung tritt ein bei Reizung sensibler Nerven, besonders Schmerzempfindungen erregender (Bernard u. v. A.), Dyspnoe, Muskelanstrengung u. s. w.; cerebrale Centren hiefür werden in den Vierhügeln und der Oblongata angegeben, nachdem ein Centrum für die pupillenerweiternden Fasern im oberen Rückenmark schon länger bekannt [Centrum ciliospinale, Budge²⁾].

Für die letztgenannten Einwirkungen, wie für alle sympathischen Innervationsvorgänge (vgl. S. 321), zumal auch Veränderungen der Weite der Irisgefäße hier mitspielen, sind indessen weiter peripherisch gelegene Neuronen in ihrer Bedeutung als Centren heranzuziehen, die man theils im Ggl. ciliare, theils auch in der Iris selbst anzunehmen hätte.

Besonders unsicher in dieser Hinsicht ist die Localisation der Wirkung von Giften, welche theils pupillenerweiternd („Mydriatica“, Atropin), theils verengernd („Myotica“, Eserin = Physostigmin, Muscarin) wirken; zum Theil mögen sie sowohl central als auch peripherisch angreifen, da sie in den Kreislauf eingeführt und auch local applicirt wirken können.

Für den hineinblickenden Beobachter erscheint die Pupille stets **schwarz**, weil er durch seinen eigenen Körper alle Strahlen, welche den Hintergrund des beobachteten Auges erleuchten könnten, abschneidet. Eine Ausnahme bilden die vom schwarzen Aderhautpigment freien, durchscheinenden Augen der Albinos, deren Hintergrund durch die allseitige Beleuchtung in seiner rothen Farbe erscheint. Beim Menschen kann ein Beobachter, welcher sich dicht neben eine Lichtflamme stellt, die Pupille eines anderen roth erleuchtet sehen, wenn das beobachtete Auge nicht accommodirt, auf seiner Netzhaut also ein heller „Zerstreuungskreis“ entworfen wird [Brücke's „Augen-

¹⁾ Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation, Kiel 1868; Arch. f. Ophthalm., XIX, XXIV.

²⁾ Ueber die Bewegungen der Iris, 1855.

leuchten“¹⁾). Durch eine total reflectirende Schicht mehrerer Glasplatten, oder besser einen in der Mitte durchbohrten Hohlspiegel, durch welche der Beobachter hindurchblickt, kann ein Augenhintergrund in grösserer Ausdehnung erleuchtet und der Untersuchung zugänglich gemacht werden [„**Augenspiegel**“ von Helmholtz²⁾], indem entweder der Beobachter, die Krystalllinse des zu untersuchenden Auges als Lupe verwendend, ein aufrechtes virtuelles Bild des Augenhintergrundes zu sehen bekommt oder durch eine in passender Entfernung vor jenes gehaltene Convexlinse ein umgekehrtes reelles Bild desselben entwirft und betrachtet; Berücksichtigung resp. Corrigirung etwaiger eigener Refractionsanomalien vorausgesetzt, kann die Brennweite der benützten Linse resp. Messung der Distanzen zur Refractionsbestimmung des beobachteten Auges dienen. Wegen der Technik des Augenspiegels sei im Uebrigen auf die Lehrbücher der Augenheilkunde verwiesen.

Die lichtpercipirenden Elemente der Netzhaut sind die an deren **Aussenseite** gelegenen Stäbchen und Zapfen, welche als „Sinnesepithelzellen“ durch ihre Fortsätze zu Schaltneuronen in der Netzhaut selbst — den bipolaren und horizontalen Zellen — in Beziehung stehen, die wiederum die Uebertragung auf die „grossen Ganglienzellen“ und deren Hauptfortsätze, die Opticusfasern, vermitteln³⁾. An der gemeinschaftlichen Austrittsstelle dieser letzteren, wo die Stäbchen und Zapfen fehlen, findet auch keine Lichtperception statt, wovon man sich überzeugen kann, wenn man [mit nur einem Auge bei Schluss des anderen] einen derart seitlich von einer Marke — grösserer schwarzer Fleck — gelegenen Punkt fixirt, dass das Bild der ersteren gerade auf jene Stelle, den „**blinden Fleck**“ fällt: die Marke erscheint verschwunden (Mariotte's Versuch).

Dass der blinde Fleck keinen Ausfall im „Gesichtsfelde“ bedeutet, liegt offenbar daran, dass wir durch einen psychischen Vorgang diesen für gewöhnlich ergänzen. Der „scheinbare Durchmesser“ des betreffenden Gesichtsfeldtheiles beträgt 7°, seine Form ist etwas unregelmässig, der Verzweigungsweise des Opticus beim „Eintritt“ entsprechend. Die Grösse ist übrigens derart, dass bei geeigneter Entfernung man den Kopf einer Person „verschwinden lassen“ kann.

¹⁾ A. A. P., 1847, S. 225, 479.

²⁾ Beschreibung eines Augenspiegels u. s. w., Berlin 1851, und Arch. f. physiol. Heilkunde, II, 827.

³⁾ Vgl. die histologischen Arbeiten von M. Schultze, Ramón y Cajal u. v. A., insbesondere die Bemerkungen von Kallius, Anatom. Hefte, III, 527.

Dafür, dass thatsächlich die Lichtschwingungen die sämtlichen Schichten der Netzhaut durchdringen müssen, um zu den percipirenden Elementen zu gelangen, liegt ein Beweis in der Erscheinung der sogenannten Purkinje'schen Aderfigur, d. h. eines sternförmigen Schattens der (vor den Aufnahmeelementen liegenden) Netzhautgefäße, welchen man, weil er beständig vorhanden, für gewöhnlich nicht zu beachten pflegt, aber in der That gewahrt, wenn man Morgens die Augen aufschlägt, oder beim Verfolgen eines bewegten Lichtpunktes mit dem Blicke.

Die Einwirkung des Lichtes auf die **Netzhaut** hat **Veränderungen** in derselben zur Folge: ein sie roth färbender Stoff, der durch Boll¹⁾ in den Aussengliedern der Stäbchen nachgewiesene „Sehpurpur“ [„Rhodopsin“, Kühne²⁾] wird durch das Licht gebleicht; wie weit dieser Vorgang für den Sehsact von Bedeutung sei, ist indessen noch äusserst zweifelhaft.

In vorher im Dunkeln gehaltenen Augen lebender oder todter (ausgeschnittene Augen) Frösche und Kaninchen können nach Art des photographischen Processes durch locale Bleichung des Sehpurpurs Bilder von hellen Gegenständen auf dunkeln Grunde (beleuchtete Fenster) weiss auf roth erhalten und durch Alaun haltbar gemacht werden („Optogramme“). Auch kann bei gelbem Natriumlicht der Purpur mit Lösungen gallensaurer Salze extrahirt und getrocknet werden. Der so isolirte Farbstoff ist gegen Oxydationsmittel u. s. w. sehr resistent, wird aber durch chemisch wirksame Lichtstrahlen sofort ausgebleicht; nicht so der in den Zapfen-Innengliedern nachgewiesene gelbe Farbstoff und andere aus der Retina z. B. von Vogelaugen erhaltene, zum Theil körnige Pigmente (Untersuchungen von Kühne u. A.). Der im Lichte ausgebleichte Sehpurpur wird im lebenden Auge wieder regenerirt, möglicherweise von den suprarretinalen („Chorioidea“-) Pigmentzellen aus.

Im Lichte schwellen die Pigmentzellen zwischen Aderhaut und Netzhaut an und senden Fortsätze zwischen die Elemente der letzteren [Boll, Angelucci³⁾]; auch diese zeigen bei manchen Thieren Bewegungserscheinungen (Verkürzung im Lichte, Ausdehnung im Dunkeln; [Engelmann, v. Genderen⁴⁾, Héger und Pergens⁵⁾], doch ist die Bedeutung dieser Dinge für die Lichtempfindungen nicht genügend aufgeklärt. Von den elektrischen Thätigkeitserscheinungen in der Netzhaut ist schon früher die Rede gewesen (S. 254).

¹⁾ Ac. Berl. Monatsber. 1876 und 1877; A. (A.) P. 1877, S. 4; Mem. dell' Accad. d. Lincei, 1877.

²⁾ Untersuch. aus d. physiol. Inst. Heidelb., Bd. I u. ff.

³⁾ A. (A.) P. 1878, S. 352; Ann. d'Ottalmol., X, S. 518.

⁴⁾ Arch. f. Ophthalmol., XXXIII, S. 229.

⁵⁾ Bull. Acad. roy. de Belg., X, S. 167, 781.

An den durch das Auge vermittelten Elementen der Lichtempfindung unterscheiden wir, wie bei jeder Sinnesempfindung, die Intensität, hier = **Helligkeit** und die Qualität, hier = **Farbe**. Fehlen der Lichtempfindung, „absolute Dunkelheit“ des ganzen oder eines Theiles des Gesichtsfeldes, nennen wir den Eindruck des „**Schwarzen**“. (Näheres unten.)

Die Intensität der Lichtempfindung hängt ab von der einwirkenden Reizstärke = Lichtstärke, im Allgemeinen nach dem Weber'schen Gesetz, siehe S. 327, und dem Zustand der Netzhaut: Näheres über deren Ermüdung, Erholung, den zeitlichen Verlauf ihrer Erregung u. s. w. siehe weiter unten. Die Qualität der Lichtempfindung hängt ab von der Wellenlänge: innerhalb des Gebietes der Wellenlängen, die den unendlich vielen Strahlen zukommen, in welche das Sonnenlicht durch ein Prisma zerlegt wird, erregt indessen nur ein gewisser Antheil die Netzhaut, nämlich die etwa zwischen 710 und 390 Millionstel Millimeter gelegenen Wellenlängen (also da auch die Schwingungszahlen als reciproke Werthe der Wellenlängen sich kaum wie 1:2 verhalten, ein nicht einmal einer Octave der Schallschwingungen entsprechendes Gebiet), denen die Empfindungen der **Spectralfarben** von Roth bis zu Violett entsprechen. Die nächstgrösseren Wellenlängen („ultrarothe“ Strahlen) erzeugen Wärmewirkung, erregen aber trotz genügender Durchlässigkeit der Augenmedien [nachgewiesen durch Franz u. A.] die Netzhaut nicht. Die nächstkleineren Wellenlängen hinter 390 μ („ultraviolette Strahlen“), ausgezeichnet durch ihre chemische und Fluorescenzwirkung (auf Chininbisulfatlösung auffallend erzeugen sie bekanntlich intensiv blaue Lichtwirkung), erregen als solche die Netzhaut zum Mindesten sehr wenig; ob ihre gelegentliche Sichtbarkeit als „lavendelgraues“ Licht auf Fluorescenzwirkung im Auge beruht, ist unsicher; das Gleiche gilt für die Röntgen'schen Strahlen, über deren Wirksamkeit auf die Netzhaut noch gestritten wird.

Ein eigenthümliches **Verhalten** zeigen die **Farbenempfindungen**, wenn **zwei oder mehrere** von derselben Netzhautstelle aus **gleichzeitig hervorgerufen** werden, sei es, dass Strahlen verschiedener Wellenlänge gleichzeitig auf dieselbe einwirken („objective Farbenmischung“), sei es, dass sie nach einander in so rascher Folge auftreffen, dass die durch den ersten Reiz gesetzte Erregung diesen überdauert (Näheres siehe unten) und sich mit der durch den

zweiten Reiz bedingten verbindet („subjective Farbenmischung“): **Mischung sämtlicher Spectralfarben ergibt „Weiss“, resp. „Grau“,** d. h. eine weniger intensive, zwischen Weiss und Schwarz liegende Empfindung; und dasselbe wird erzielt durch Mischung eines **Paares von Spectralfarben** bei geeignetem Intensitätsverhältniss, **die man dann „complementär“ nennt.** So sind Roth und Grün, Gelb und Violett, Orange und Blau Complementärfarben. Mischung nicht complementärer Paare ergibt eine dazwischen liegende Mischfarbe, aber in um so hellerem („weisslichem“) Tone, je näher sie nach den Complementärfarben hin liegen; so ist „Orange“ Mischfarbe zwischen Roth und Gelb, Hellgrün zwischen Gelb und Blauviolett („Indigo“). Solche Mischfarben können zu anderen einfachen Spectralfarben oder Mischfarben wieder complementär sein, oder mit ihnen weitere Mischfarben ergeben, wie man ohne Weiteres ersieht: bei Mischung von Roth und Blau erhält man die im Spectrum nicht enthaltenen „Purpurtöne“; diese sind complementär zu gelbgrünen Tönen.

Die objective Farbenmischung erfolgt durch Aufeinanderprojiciren (resp. Betrachten) verschiedener Theile zweier oder mehrerer Spectren (Helmholtz u. A.), die subjective Farbenmischung meist durch den Farbenkreisel, d. h. schnell rotirende Scheiben, in welchen Sektoren (Ausschnitte) verschieden gefärbt sind. Die Breite der einzelnen Sektoren, in Graden des Kreisumfanges ausgedrückt, stellt ceteris paribus die relative Intensität der farbigen Componenten dar, so dass der Farbenkreisel zur Ermittlung sogenannter „Farbengleichungen“ dienen kann, welche besagen, dass so und so viel Grade = Intensitätseinheiten der einen Farbe + so und so vielen der anderen die und die Mischfarbe ergeben u. s. w. Freilich erscheint bei Verwendung der mit festen, lichtabsorbirenden Pigmenten bemalten Papierflächen jede Farbe zu dunkel, resp. statt des Weissen Grau, auch bei bester Beleuchtung, weshalb man versucht hat, auch hier Projection mit farbigen Gläsern anzuwenden [Rollett¹⁾]. Das Lichtverschlucken der Pigmente ist auch die Ursache davon, dass objective Farbenmischung nicht durch farbige Flüssigkeitsschichten oder Gläser erfolgen kann, und Mischung von Pigmenten (Malerfarben) meist nicht die theoretischen Mischfarben ergibt, sondern zu dunkle oder unter Umständen ganz falsche Töne.

Die Ergebnisse der Farbenmischung hat man graphisch darzustellen versucht, sogenannte **Farbentafeln** (Newton, Young, Maxwell); die Contour einer annähernd dreieckigen Fläche entspricht mit ihren einzelnen Punkten den Spectralfarben und Purpurtönen; an den Ecken liegen Roth, Grün und Violett, die Seite zwischen Roth und Grün enthält die gelben, diejenige zwischen Grün und Violett die blauen und diejenige zwischen Violett und Roth die Purpurtöne. Die Mitte entspricht der Empfindung des Weissen; zwei Complementärfarben entsprechen zwei Punkten, welche durch eine durch die Mitte gehende Grade

¹⁾ A. g. P., XLIX, 1.

zu verbinden sind; jeder Punkt der Fläche entspricht einem um so weisslicheren Farbenton, je näher nach der Mitte zu er liegt; denkt man sich in die einzelnen Punkte deren Farbenintensitäten entsprechende Massen hineingelegt, so entspricht die Mischfarbe von zwei oder mehreren Farben stets der Lage des gemeinsamen Schwerpunktes jener Massen. Erzeugten sämtliche Spectralfarben in uns Empfindungen gleicher relativer Intensität, so würde die Farbentafel kreisförmig ausfallen; die Dreieckform weist bereits auf die nunmehr zu besprechende Theorie der Zusammensetzung der Farbenwahrnehmungen aus drei Grundempfindungen hin.

Dass wir das Spectrum continuirlich sehen und ohne besondere Hilfsmittel das weisse Licht nicht in seine Componenten zerlegen können, weist bereits darauf hin, dass die Zahl der **specifischen Energien der Aufnahmeelemente** (von den Localzeichen zunächst abgesehen) eine viel geringere sein muss, als bei den schallpercipirenden Aufnahmeelementen des Ohres, welche uns die Empfindung der Tonhöhen vermitteln (vgl. vorigen Abschnitt); dafür spricht auch, was wir über den Bau der Netzhaut wissen. Die von Young¹⁾ aufgestellte und besonders von Helmholtz²⁾ vertretene Theorie der Farbenempfindung nimmt nun an, dass drei verschiedene Arten farbenempfindlicher Elemente in der Netzhaut vertreten seien, welche die Grundempfindungen Roth, Grün und Violett vermitteln; bei gleichzeitiger, gleich starker Erregung derselben entstehe die Empfindung „weiss“; im Uebrigen wirke jede Spectralfarbe („einfarbiges“ Licht von bestimmter Wellenlänge) mehr weniger erregend auf alle drei Arten von Aufnahmeelementen, nur in verschiedenem Maasse. Nachdem man nun die Strahlungsenergie der Lichtquellen nach absolutem Maass gemessen sich ein für alle Mal gleichbleibend denken, ferner die zur Erzeugung der Weissempfindung nöthig relative „Intensität“ jeder von zwei Complementärfarben einerseits, und die zur Erzeugung einer eben merklichen Farbenempfindung nöthige Intensität jeder einzelnen andererseits feststellen kann, ist es möglich, die relativen Erregungs- (Empfindungs-) intensitäten der drei Arten von Aufnahmeelementen als Ordinaten dreier Curven darzustellen, deren Abscissen die Wellenlängen für die Spectralfarben darstellen. Dies ist geschehen in Fig. 70, wo die Curven für die roth-, grün- und violett empfindenden Elemente mit *R*, *G*, *V* bezeichnet, die Wellenlängen in Millionstel Millimeter an der Abscissenachse angegeben und die complementären Farben mit *a* resp. α , *b* resp. β , und *c* resp. γ angedeutet sind: zum

¹⁾ Lectures on natural philosophy, 1807.

²⁾ A. a. O.

Gelbgrünen zwischen c und α gibt es eben keine „homogene“ Complementärfarbe, sondern nur die nicht spectrale Mischfarbe Purpur.

Die punktirte Curve s veranschaulicht die Gesamtintensität der Erregungen (Ordinatensummen aus den drei Curven) für die einzelnen Spectralfarben bei gleichgedachter Strahlungsintensität und entspricht der Thatsache, dass grünes Licht am leichtesten (z. B. bei kurzer Einwirkungsdauer Weiss grün erscheinend), Roth am schwierigsten, resp. erst bei verhältnissmässig stärkerer Strahlung percipirt wird, vgl. unten.

Da alle objectiven Farbenscheinungen auf gleichzeitiger Erregung der drei hypothetischen Arten von Aufnahmeelementen beruhen, so würden in die Farbtafel (siehe oben) drei ausserhalb der Figur gelegene Punkte einzutragen sein für die Empfindungen bei eventueller Erregung nur je einer Art und Weiss

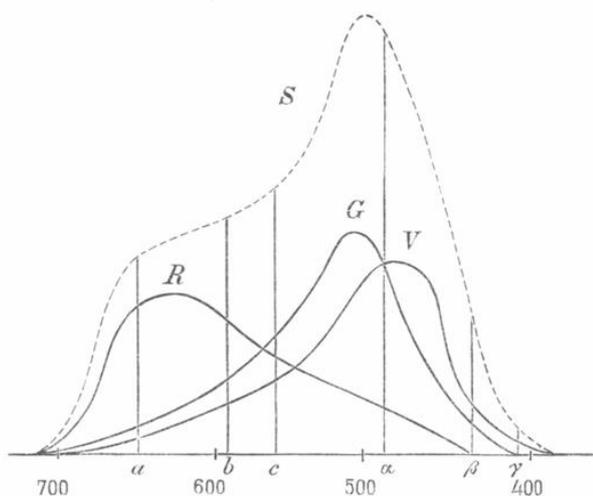


Fig. 70 (nach Gad.)

müsste in den Schwerpunkt des so umschriebenen Dreiecks zu liegen kommen. Die zwischen beiden Figuren liegenden Punkte würden Empfindungen entsprechen, die eventuell rein subjectiv zu Stande kommen können (siehe unten).

Obwohl die Young'sche Theorie die meisten Erscheinungen des Farbensehens vortrefflich erklärt, ist ihr von Hering¹⁾ eine andere entgegengestellt worden, welche drei Arten von Aufnahmeelementen annimmt, deren jede zwei verschiedene Empfindungen vermittelt, je nachdem durch den optischen Reiz in ihr Dissimilationsprocesse oder Assimilationsprocesse zum Ueberwiegen gebracht werden (vgl. S. 8); bei der ersten sollen diesen beiden Zuständen die Empfindungen Weiss und Schwarz resp. Hell und Dunkel ohne Farbe, bei der zweiten Roth und Grün, bei der dritten Gelb und Blau entsprechen: die

¹⁾ Ac. W., LXVI, LXVII, LXVIII, versch. Abhandl.

Weisempfindung bei Farbenmischung entstünde dadurch, dass Assimilation und Dissimilation in diesen beiden letzteren sich gerade aufheben und nur die dissimilatorische Erregung der Schwarzweiss-elemente übrig bliebe: es wäre also von antagonistischen statt complementären Farben zu reden, weil sich ihre Wirkungen gegenseitig aufheben, statt, wie nach der Young'schen Theorie, zu ergänzen.

Dasjenige Gebiet, auf welchem die beiden Theorien vor Allem gegeneinander die Probe zu bestehen haben, bilden die Erscheinungen der „**Farbenblindheit**“. Wie von Dalton, Maxwell und einigen Anderen bereits frühzeitig beschrieben worden und später insbesondere durch Holmgren¹⁾ genauer untersucht und zur Berücksichtigung für gewisse praktische Gebiete (Verkehrswesen: farbige Signale der Eisenbahnen und Schiffe) betont worden ist, ist bei verhältnissmässig zahlreichen Menschen (angeblich bis zu $2\frac{1}{3}\%$) das Farbenunterscheidungsvermögen herabgesetzt, indem gewisse Farben nicht als solche erkannt werden: am häufigsten fehlt die Empfindung des Roth, dementsprechend, dass die rothempfindlichen Elemente im Sinne der Young'schen Theorie auch normal relativ am wenigsten empfindlich sind (vgl. oben); hierzu gesellt sich in den meisten Fällen auch „Grünblindheit“, während Gelb und Blau noch erkannt werden; da dies für Gelb bei Festhalten an Young's Theorie nur durch Hilfshypothesen erklärlich ist, nimmt die Hering'sche Theorie einerseits eine Rothgrünblindheit, andererseits eine in der That aber viel seltener vorkommende Gelbblaublindheit an; ausserdem kommt gelegentlich auch „totale Farbenblindheit“ vor, bei welcher überhaupt keine Farben unterschieden, vielmehr Alles „grau in grau“, aber doch mit sehr „richtigen“ Helligkeitsabstufungen gesehen wird. Diese letzteren Vorkommen zwingen auch bei Festhalten an der Young'schen Theorie zur Annahme besonderer, farblose Lichtempfindungen vermittelnder Aufnahme-elemente neben jenen drei Arten: Für das anatomische Substrat dieser farblosen Lichtempfindungen einerseits und der farbigen Lichtempfindungen andererseits hat man nun aus der Thatsache, dass das Farbenunterscheidungsvermögen von der Netzhautmitte nach der Peripherie hin abnimmt [und zwar für die verschiedenen Farben in verschiedenem, ihren relativen Empfindungsintensitäten (siehe oben) entsprechendem Maasse, so dass Roth an der

¹⁾ Upsala läkareför. förhandl., versch. Jahrgänge, und De la cécité des couleurs etc., Stockholm 1877.

Peripherie des Gesichtsfeldes kaum mehr erkannt wird] [Purkinje¹⁾, v. Wittich²⁾, Aubert³⁾ u. A.], und aus dem Umstande, dass die Anzahl der Zapfen in ihrem Verhältniss zu den Stäbchen von der Netzhautmitte nach der Peripherie gleichfalls abnimmt, geschlossen, dass die Träger der Farbenempfindungen die Zapfen, die Vermittler der farblosen Lichtempfindung dagegen die Stäbchen seien [M. Schultze⁴⁾, König⁵⁾ und v. Kries⁶⁾].

Dazu würde gut stimmen, dass bei Nachtthieren (Eule, Fledermaus), für welche das Farbensehen ziemlich unnütz wäre, die Zapfen ganz fehlen. v. Kries⁷⁾ schreibt ausschliesslich den Stäbchen die Fähigkeit zur Dunkeladaptation (siehe unten) zu. Dagegen tritt Hering⁸⁾ den in Rede stehenden Annahmen durchaus entgegen, insbesondere auf Grund der mit Hess⁹⁾ gemachten Constatirung, dass bei absoluter Farbenblindheit (siehe oben) die Fovea centralis, welche normal nur Zapfen besitzt, nicht total blind sei.

Damit ein Lichteindruck empfunden werde, muss er, wie jeder Sinneseindruck (siehe S. 318), eine gewisse **Zeit** andauern; nach dem Aufhören eines solchen dauert die Erregung der Netzhaut noch eine gewisse Zeit an („Abklingen der Erregung“). Deshalb können die aufeinander folgenden Phasen eines geschwinden Bewegungsvorganges nicht getrennt wahrgenommen werden: die Speichen eines Rades verschwimmen zum grauen Schleier (Abwechseln von Hell und Dunkel); hierauf beruht die subjective Farbmischung — Farbkreis (siehe oben), sowie die Reproduction von Bewegungsvorgängen aus ihren als Einzelbilder dargestellten Phasen durch stroboskopische Vorrichtungen — Stampfer's Scheibe, Plateau's Phenakistoskop; Schnellseher, Kinetoskop und Kinematograph (vgl. S. 219). Vollkommenes „Verschwimmen“ der Empfindungsbilder beginnt bei etwa 25 Eindrücken in der Secunde; übrigens hängt der **zeitliche Verlauf der Netzhaut-erregung** in hohem Maasse von der Intensität des Eindruckes und der **Ermüdung** ab. [Versuche von Fick¹⁰⁾, Exner¹¹⁾, C. F.

¹⁾ Beobachtungen u. Versuche z. Physiol. der Sinne, Bd. I.

²⁾ Königsb. medic. Jahrbücher, IV, 23.

³⁾ Arch. f. Ophthalmol., III, 2, S. 60; Physiol. d. Netzhaut, Breslau 1864/65.

⁴⁾ Sitzungsber. d. niederrhein. Ges. f. Naturk., 1872.

⁵⁾ Ac. Berl. Monatsber., 1894, S. 577.

⁶⁾ Bericht der naturf. Gesellsch. Freiburg, IX, 2; C. P., VIII, 694; X, 472.

⁷⁾ A. a. O.

⁸⁾ Vgl. A. g. P., XLII, 119, 488; XLIII, 264, 329.

⁹⁾ Ibid., LXXI, 105.

¹⁰⁾ A. A. P., 1863, S. 764.

¹¹⁾ Ac. W., LXVI, 59.

Müller¹⁾, Riccò²⁾ u. A.]. Die Ermüdung der Netzhaut als solche hat zur Folge, dass z. B. helle Gegenstände bei fortwährendem Ansehen immer weniger hell erscheinen; ferner, dass beim Uebertritt aus einem hellen in einen relativ dunkeln Raum dort zunächst nichts gesehen wird, indem die vorhandenen Lichteindrücke zur Erregung der ermüdeten Netzhaut nicht genügen; erst allmählig werden Gegenstände erkannt, indem **Erholung** der Netzhaut eintritt; gleichzeitig ist durch Erweiterung der Pupille (siehe oben) für eine grössere Intensität der Eindrücke gesorgt worden, welche Vorgänge man unter der Bezeichnung der **Adaptation** des Auges für's Dunkle zusammenfasst.

Das „Nachklingen“ der Netzhauterregung kann bewirken, dass man nach längerem Anblicken eines hellen Gegenstandes ein gleichfalls helles Bild desselben wahrnimmt, wenn man in's Dunkle blickt, — das „**positive**“ **Nachbild**³⁾; dagegen beruht es auf Netzhautermüdung, dass man statt desselben umgekehrt ein dunkles — „**negatives**“ **Nachbild** wahrnimmt, wenn man auf eine sehr helle Fläche blickt. War es eine farbige Fläche, welche man längere Zeit angesehen hatte, so nimmt man ein Nachbild in der complementären Farbe wahr, nach der Young'schen Theorie deshalb, weil die die erstere Farbenempfindung vermittelnden Aufnahmeelemente am meisten ermüdet sind (für die Young'sche Theorie spricht auch das Nacheinanderauftreten verschiedenfarbiger Nachbilder sehr heller weisser Objecte), — nach Hering, weil auf die vorwiegende Dissimilation in der betreffenden Elementengruppe überwiegende Assimilation nachfolgt. Man hat die Erscheinung der negativen resp. complementären Nachbilder wohl auch als successiven Contrast bezeichnet, welcher aber wohl unterschieden werden muss von den Erscheinungen des eigentlichen oder simultanen **Contrastes**: dieser besteht darin, dass helle Gegenstände auf dunklem Grunde besonders hell und umgekehrt erscheinen, dass farblose Flächen neben farbigen deren Complementärfarben annehmen, z. B. sieht ein graues Papier-

¹⁾ Diss. Zürich 1866 u. Unters. physiol. Lab. Zürich, I, 78.

²⁾ Annali d'ottalm., V, 387; VI, 547.

³⁾ Hierher oder zur oben besprochenen „Phasenverschmelzung“ kann auch das „Purkinje'sche Phänomen“ gerechnet werden: ein im Dunkelraum im Kreise rasch herumgeführter Lichtpunkt (glühende Kohle) erscheint dem Auge als leuchtender Kreis.

stück auf grünem Grunde röthlich, auf rothem grünlich aus; ein vom Mond- und von (gelbrothem) Lampenlicht gleichzeitig beleuchteter Gegenstand wirft zwei Schatten, einen vom Lampenlicht beleuchteten, welcher gelbroth, und einen vom Mondlicht beleuchteten, welcher bläulich erscheint (Goethe).

Für diese Contrasterscheinungen nehmen Einige die psychologische Erklärung als Urtheilstäuschung, Andere [Hering¹⁾] eine entgegengesetzte Beeinflussung benachbarter Netzhautstellen an. Zwei analoge Erklärungsweisen bestehen auch für die Erscheinungen der **Irradiation**, — d. h. dass helle Gegenstände auf dunklem Grunde zu gross erscheinen, resp. grösser als gleich grosse dunkle Gegenstände; hier ist eine Miterregung benachbarter Netzhaut-elemente in der That nicht unwahrscheinlich. Die ganze Reihe wirklicher Urtheilstäuschungen bei Gesichtswahrnehmungen — „optische Täuschungen“ — wird erst unten bei Abhandlung des Zustandekommens der Wahrnehmungen durch die Localisation der Lichtempfindungselemente zu erwähnen sein.

Dass rein subjective Gesichtsempfindungen und -Wahrnehmungen auftreten, ist in pathologischen Zuständen häufig: Gesichtshallucinationen und -Illusionen, siehe S. 309.

Objectiv begründete Gesichtsempfindungen können andererseits durch im Auge selbst befindliche Objecte erzeugt werden — **entoptische Erscheinungen**: hierher gehören ausser der bereits erwähnten Purkinje'schen Aderfigur die durch gelegentliche Trübungen resp. bewegte Partikelchen in den brechenden Medien erzeugten Schattenerscheinungen — fixe Trübungen und „fliegende Mücken“ (Mouches volantes), letztere besonders deutlich bei Anblicken des hellen Himmels o. Ä. (Einfall parallelstrahligen, die Trübungen scharf projicirenden Lichtes); ferner die gelegentliche Erkennung des Blutzellenstromes in den Capillaren der eigenen Netzhaut, die Haidinger'schen Büschel bei Auftreffen polarisirten Lichtes (vielleicht durch Doppelbrechung in der Netzhaut) und andere zum Theil nicht genügend aufgeklärte Erscheinungen.

Damit äussere Gegenstände auf optischem Wege als solche wahrgenommen werden, ist die „**Localisation**“ — in dem früher schon genauer erörterten Sinne — der durch die Abbildung ihrer einzelnen Punkte hervorgerufenen Empfindungselemente nothwendig. Die Wahrnehmung,

¹⁾ Ac. W., LXVIII, 186, 229.

zunächst durch ein Auge, wird um so vollkommener sein, je näher einander die je ein Empfindungselement vermittelnden Aufnahmeelemente oder Elementgruppen der Netzhaut-„Mosaik“ stehen, ganz analog der Grösse der „Empfindungskreise“ beim Tastsinn der Haut (siehe S. 329). Als solche „Empfindungskreise“ der Netzhaut nimmt man wohl, den Messungen der Minimalentfernungen getrennt zu erkennender Gegenstände einerseits und der Grösse der Netzhautelemente andererseits (durch Volkmann, Salzer¹⁾, Cl. du Bois-Reymond²⁾ u. A. entsprechend, den Bereich je eines Zapfens mit umgebenden Stäbchen an: jedenfalls ist der Ort des „schärfsten“ Sehens die Fovea centralis retinae, in welcher nur Zapfen dicht beieinander, ohne dazwischenliegende Stäbchen, vorhanden sind.

Hier kommen auf $\frac{1}{100}$ Quadratmillimeter 130—150 Zapfen resp. Empfindungskreise. Der Widerspruch gegen diese Uebereinstimmung, welcher darin liegt, dass Salzer nur den 7. Theil an Fasern im Opticusstamm (vgl. S. 300) fand, als Zapfen in der Netzhaut, ist noch nicht genügend aufgeklärt, ebenso wenig wie das Verhältniss der Empfindungskreise resp. Aufnahmeelemente zum Farbensehen (vgl. oben).

Wenn wir einen Punkt scharf anblicken — „fixiren“ —, so richten wir es so ein, dass sein Bild in die Fovea centralis fällt; der ihn mit dieser verbindende (durch den Knotenpunkt des reducirten Auges gehende oder Haupt-)Strahl heisst die **Gesichtslinie**; sie fällt nicht zusammen mit der früher erwähnten optischen Achse des Auges, sondern weicht von ihr um $3\frac{1}{2}$ — 7° nach innen und oben ab (Helmholtz).

Natürlich ist die „**Sehschärfe**“ beim Fixiren individuell, je nach Alters- und etwaigen pathologischen Umständen, nicht die gleiche: man drückt sie aus (nach Donders) durch das Verhältniss der Entfernung, in welcher Buchstaben von bestimmter Grösse (Snellen's Schriftproben), bei corrigirter etwaiger Refractionsanomalie, noch erkannt werden, zu der entsprechenden Entfernung bei einem normalen Auge.

Nach der Peripherie der Netzhaut zu werden die Empfindungskreise grösser, die Schärfe der Wahrnehmungen geringer; um diese zu messen, kann man Vorrichtungen benützen, welche, während bei festgestelltem Kopfe ein bestimmter Punkt fixirt wird, es gestatten, Objecte mittelst Kreisbogenverschiebung in beliebige Lage zu jenem Fixationszeichen zu

¹⁾ Ac. W., LXXXI, 7.

²⁾ Arch. f. Ophthalm., XXXII, 3, S. 1.

bringen: solche „**Perimeter**“ [Förster, Aubert¹⁾ u. A.] dienen vor Allem zur Ermittlung des Umfanges der Ebene, in welche wir sämtliche dem (zunächst einem) unbewegten Auge gleichzeitig erkennbaren Punkte hineinverlegen („projiciren“), des — uniocularen — „**Gesichtsfeldes**“. Dem Bau und der Anordnung des Auges entsprechend, ist dieses ungefähr kreisförmig, indessen horizontal von grösserer Ausdehnung — einem „Gesichtswinkel“ (d. h. Winkel zwischen den äussersten Sehstrahlen) von 135°—145° entsprechend, — als vertical — 100° bis 125°; ferner besteht, insbesondere bei geradeaus gerichtetem Blick (Primärstellung, siehe unten), eine Einschränkung medianwärts, welche von der Nase herrührt.

Pathologisch können natürlich bedeutende Einschränkungen resp. Asymmetrien des Gesichtsfeldes vorkommen, welche die perimetrische Untersuchung nachweist.

Zu unterscheiden von dem „Gesichtsfelde“ in dem erörterten Sinne ist — gleichfalls immer zunächst nur für ein einziges Auge betrachtet — der Raum, welcher bei fixirtem Kopfe durch die Zuhilfenahme der Augenbewegungen wahrgenommen werden kann; dieses sogenannte „**Blickfeld**“ (Helmholtz) umfasst vertical etwa 200°, horizontal etwa 260°.

Die **Augenbewegungen** erfolgen als Drehungen um einen Punkt, welcher im Innern des Bulbus, hinter dessen Mitte, und zwar etwa 13¹/₂ mm hinter dem Hornhautscheitel liegt (Donders). Die durch diesen Drehpunkt des Bulbus und den Knotenpunkt seines reducirten dioptrischen Systems gehende Grade, die mit der Gesichtslinie (siehe oben) oder Sehachse ungefähr zusammenfällt, nennen wir die **Blicklinie**; die Stellung beider Augen bei gleichzeitiger Fixation vor ihnen liegender unendlich ferner Punkte, in welcher beide Blicklinien in der Horizontalebene und zu einander sowie zur Medianebene des Körpers parallel verlaufen, wird als **Primärstellung** bezeichnet. Von ihr ausgehend kann die Blicklinie jedes Auges nach allen Richtungen hin gedreht werden; nun könnte man sich denken, dass in jeder solchen neuen Stellung noch beliebig Drehung des Bulbus um diese seine Blicklinie möglich wäre, welche Drehung man **Raddrehung** oder **Rollung** nennt: es zeigt sich indessen, dass für jede bestimmte Abweichung aus der Primärstellung der Grad der Rollung unveränderlich bestimmt ist (sogenanntes

¹⁾ A. a. O.

Donders'sches Gesetz). Legt man nämlich durch die neue und die ursprüngliche Lage der Blicklinie, welche sich ja im Drehpunkte schneiden, eine Ebene, so kann die Bewegung des Augapfels zum Uebergang aus der ersten Stellung in die zweite stets vollständig ausgedrückt werden durch eine Drehung um die auf dieser Ebene im Drehpunkte senkrecht stehende Grade als Achse (Listing's Bewegungsgesetz), — eine gleichzeitige Drehung um die Blicklinie findet nicht statt. Diejenigen Abweichungen von der Primärlage, welche durch Drehung nur um die verticale Achse des Bulbus, oder nur um seine horizontale, die Drehpunkte beider Bulbi verbindende zu Stande kommen, werden als **Secundärstellungen** bezeichnet, diejenigen, in welchen Drehung um eine andere Achse anzunehmen ist, als **Tertiärstellungen**: dass in diesen letzteren Rollung des Augapfels, und zwar um einen für jede Stellung constanten Winkel statthat, hat man constatiren können: 1. durch Fixation eines horizontalen resp. verticalen Strichs in Primärlage und Beobachtung seines Nachbildes (siehe oben) bei einer bestimmten Abweichung, wobei seine Lage auf der betrachteten Ebene der „Projection“ des betreffenden Netzhautmeridians entspricht [Ruete, Donders¹⁾, Wundt, Helmholtz²⁾]; 2. durch Untersuchung der Neigung der Doppelbilder (siehe unten) eines verticalen Stabes in den verschiedenen Augenstellungen [Meissner³⁾, v. Recklinghausen⁴⁾]; 3. durch Bestimmung der Lageveränderungen betrachteter Objecte, welche nöthig sind, um sie in jeder Augenstellung im blinden Fleck „verschwinden zu lassen“ (siehe oben), Fick⁵⁾, Meissner.

Dabei fand man übrigens beim Sehen mit beiden Augen (siehe unten) mancherlei Abweichungen vom Listing'schen Gesetz vorkommend; ferner findet beim Seitwärtsneigen des Kopfes eine wirkliche compensatorische Raddrehung statt [Nagel⁶⁾ u. A.]: ein Anzeichen des nervösen Zusammenhangs zwischen Augen- und Kopfbewegungen, wie er sich ja auch in den bereits früher (S. 304) besprochenen Erscheinungen des Nystagmus zeigt.

Von den **einzelnen Augenmuskeln** wirken nur der Rectus lateralis und Rectus medialis derart, dass sie für sich allein

¹⁾ Holländische Beiträge zur Heilk., I, 1848.

²⁾ Arch. f. Ophthalm., IX.

³⁾ Beitr. z. Anat. u. Physiol. des Sehorgans, 1854; Arch. f. Ophthalm., Bd. II; Zeitschr. f. rat. Med. (3), VIII, 1.

⁴⁾ Arch. f. Ophthalm., V, 2, S. 127.

⁵⁾ Unters. z. Naturlehre, V, 193.

⁶⁾ Holl. Beiträge etc. I.

den Bulbus aus der Primärlage in reine Secundärstellungen bringen, indem sie ihn um seine verticale Achse drehen, der Rectus lateralis den Hornhautscheitel schläfenwärts und der Rectus medialis nasenwärts führend. Die Drehungsachse für den Rectus superior und Rectus inferior verläuft dagegen von nasenwärts vorn nach schläfenwärts hinten, so dass also alleinige Wirkung des erstgenannten Muskels (für den Hornhautscheitel) Hebung, verbunden mit Drehung und Rollung nasenwärts, des letzteren Senkung, verbunden mit Drehung nasenwärts und Rollung schläfenwärts zur Folge hätte; ebenso würde der Obliquus superior für sich allein Senkung, verbunden mit Drehung schläfenwärts und Rollung nasenwärts, der Obliquus inferior Hebung verbunden mit Drehung und Rollung schläfenwärts bewirken. Die Stellungenänderungen des Hornhautsheitels resp. eines Nachbildes (vgl. oben), projicirt auf eine Fläche, wie sie für bestimmte resp. gleiche Drehungswinkel jeder der genannten Muskeln hervorbringen würde, sind durch Ruete in einer einfachen Figur zusammenfassend dargestellt worden. Zu reinen Drehungen um die horizontale Verbindungslinie beider Augendrehpunkte müssen also, und zwar für Hebung der Hornhaut der Rectus superior und Obliquus inferior, für Senkung der Rectus inferior und Obliquus superior in geeignetem Verhältniss zusammenwirken.

Gleichzeitige Contraction der vier Recti kann Retraction des Bulbus in der Orbita zuwege bringen; viele Säugethiere und Amphibien besitzen einen eigenen Retractor bulbi (z. B. der Frosch).

Man hat die Wirkungsweise der Augenmuskeln auch durch Modelle veranschaulicht, bei welchen durch Gewichte spannbare Schnüre an die Augen darstellenden Kugeln drehen („Ophthalmotrop“ von Ruete, Knapp u. A.).

Das eben genannte Zusammenwirken findet auch statt, wenn die Blickrichtung für beide Augen gehoben resp. gesenkt wird: in der That findet normal **motorische Correspondenz beider Augen** statt, indem beim „Binoculärsehen“ unendlich weiter Gegenstände beide Blicklinien parallel laufen, und zwar in der Horizontalebene (Visirebene) entweder parallel zur Medianebene (geradeaus, Primärlage beider Bulbi, siehe oben), oder um gleiche Winkel nach rechts oder links gedreht; ersteres bewirken der rechte Rectus lateralis, zusammenwirkend mit dem linken Rectus medialis, letzteres der linke Rectus lateralis zusammen mit dem rechten Rectus medialis. Wird ein endlich entferntes Object mit beiden Augen fixirt, so schneiden sich beide Blicklinien in diesem Punkte in einem mit zunehmender Nähe des Punktes wachsenden Winkel, welcher den Grad der

„**Convergenz**“ markirt: das Convergiren wird bewirkt durch eine gleichzeitige, motorische Innervation beider Recti mediales, zu welcher entsprechende Accommodation und Pupillenverengerung (siehe S. 380), ferner bei Fixation nicht gradeaus liegender Objecte noch die erwähnten, zur binoculären Seitwärtswendung resp. Hebung, Senkung oder zu Tertiärstellungen nöthigen combinirten Innervationen oder Muskelwirkungen theils verstärkend, theils antagonistisch hinzukommen müssen (Hering).

Abweichung von der in dem normalen Associationsverhältniss der Augenmuskelcentren begründeten (siehe S. 300) motorischen Correspondenz beider Augen wird als **Schielen** bezeichnet: Strabismus divergens resp. convergens; Blicken des einen Auges nach oben, des anderen nach unten ist pathologisch selten, lässt sich aber durch einen besonderen Kunstgriff willkürlich vorübergehend bewirken.

Trotzdem wir mit zwei Augen sehen, erscheinen uns doch die Gegenstände meistens einfach; es rührt dies daher, dass die Erregung gewisser zusammengehöriger Punkte der beiden Netzhäute im Bewusstsein an dieselbe Stelle des Raumes verlegt werden, so dass die Gesichtsfelder (siehe oben) beider Augen zum grossen Theil sich decken, so ein „gemeinschaftliches binoculäres Gesichtsfeld“ bildend, welches von dem gesammten binoculären Gesichtsfeld wohl zu unterscheiden ist, ebenso dieses wieder von dem „binoculären Blickfeld“ (Hinzutreten der Bewegungen, vgl. oben). Die zusammengehörigen Punkte beider Netzhäute bezeichnet man als ihre „**identischen**“ oder „**correspondirenden**“ Punkte.

Werden identischen Netzhautstellen verschiedene Objecte dargeboten, so erscheint dem Bewusstsein abwechselnd das eine und das andere: „Wettstreit der Gesichtsfelder“. Verschiedene Helligkeiten können die Erscheinungen des „stereoskopischen“, (siehe unten) Glanzes bedingen. Zwischen den beiden Augen können Erscheinungen des Contrastes und Nachbilder zu Stande kommen (binoculärer Simultan- und Successivcontrast, vgl. oben). Alle diese Verschmelzungen werden von der einen Schule (Helmholtz), ebenso wie auch das Aufrechtsehen der Gegenstände trotz umgekehrter Netzhautbilder auf einen durch Erfahrung erworbenen psychischen Vorgang zurückgeführt — „empiristische Theorie“ —, während Andere (Hering) ihn als angeborene Eigenschaft betrachten — „nativistische Theorie“. Für die Rolle der Erfahrung spricht z. B. das Einfachsehenlernen Schielender.

Es correspondiren je die linken und die rechten Netzhauthälften beider Augen (auf die Semidecussation der Opticusfasern, siehe S. 300, zurückgeführt: bei einseitigen Störungen im Bahnverlaufe, oder Läsion eines Occipitallappens „Hemianopsie“),

und in jedem Paare die oberen und unteren „Quadranten“. Die horizontalen „Trennungslinien“ liegen in der Visirebene, die verticalen aber nicht, den Meridianen entsprechend, parallel, sondern convergiren bis zu 3° nach unten. Die Punkte im Raume, welche beim Sehen mit beiden Augen überhaupt einfach erscheinen, sind für alle Augenstellungen nicht immer dieselben; ihr Gesammtinbegriff für eine bestimmte Stellung wird als der „**Horopter**“ für dieselbe bezeichnet.

Man findet ihn als „geometrischen Ort aller Schnittpunkte der von identischen Netzhautstellen herkommenden Richtungsstrahlenpaare“ durch Berechnung resp. Construction aus „Linienhoroptern“ (Orten der theilweisen Deckung der Projectionen von Netzhautlängs- und Querschnitten, oder aber, Parallelkreisen und Meridianen): unter diesen hat der „Meridianhoropter“ oder die „Normalfläche“ (v. Recklinghausen) noch die besondere Eigenschaft, dass in ihm alle binoculär gesehenen geraden Linien einfach scheinen.

So ergibt sich für symmetrische Augenstellungen: in der Primärlage und bei Hebung und Senkung der Blicke ohne Convergenz, entsprechend der Schiefe der Trennungslinien (siehe oben), der 1,5 m unter der Augenhöhe liegend gedachte Fussboden als Horopter (Helmholtz); für die übrigen symmetrischen Secundärstellungen setzt er sich aus einem durch die Knotenpunkte beider Augen und einer in der Medianebene auf der Visirebene senkrecht stehenden Graden zusammen; für die symmetrischen Tertiärstellungen beschränkt er sich auf den fixirten Punkt. Dass der blinde Fleck der einen Netzhaut mit einer empfindenden Stelle der anderen correspondirt, mag zu seiner „Ergänzung durch das Bewusstsein“ (siehe oben) wohl beitragen; freilich findet diese auch beim Sehen mit nur einem Auge statt.

Von Gegenständen, welche auf nicht identischen Netzhautstellen sich abbilden, müssen Doppelbilder gesehen werden, gekreuzte, wenn sich die Blicklinien vor, ungekreuzte, wenn sie sich hinter dem fixirten Punkt schneiden. Ueber solche Doppelbilder haben Schielende thatsächlich zu klagen (vgl. übrigens oben); dem Normalen kommen die Doppelbilder, welche von ausserhalb des Horopters gelegenen Punkten resp. Gegenständen, welche nicht fixirt, auf die nicht accommodirt und convergirt wird, gar nicht als solche zu Bewusstsein, resp. sie werden im Bewusstsein „zur Deckung“ gebracht, oder aber mit den einfachen Bildern zu einer Gesamtvorstellung vereinigt; dieses letztere hat statt bei allen körperlichen Gegenständen (mit „Tiefendimension“), von deren Oberfläche gar nicht sämtliche Punkte in den Horopter fallen können, sondern etwelche doppelt und etwelche auf der einen Seite liegende nur von dem einen, etwelche auf der anderen Seite liegende nur von dem anderen Auge gesehen werden

müssen: dies bedingt eben den **Eindruck des „Körperlichen“**, „Plastischen“, welcher bedeutend schwächer, weil nur durch Augen- und Kopfbewegungen erzielbar, beim Sehen mit einem Auge ist.

Der Eindruck des Körperlichen kann künstlich hervorgerufen werden, wenn zwei Abbildungen desselben Gegenstandes, von zwei etwas auseinanderliegenden, etwa den beiden Augen entsprechenden Standpunkten aus aufgenommen, jede nur mit dem entsprechenden Auge betrachtet werden, so dass statt der Convergenz jedes auf den das Gleiche darstellenden Fleck beider Zeichnungen blickt: Da dies den Meisten nur durch besondere Übung gelingt, so hat man besondere Apparate construiert, in welchen durch zwei Spiegel (Wheatstone) oder zwei Prismen (Brewster) die Bilder zur Deckung gebracht werden für die unter dem der Bildweite entsprechenden Convergenzgrade hineinblickenden Augen (eventuell unter schwacher Vergrößerung durch Convexlinsenform der Prismen): sogenannte **Stereoskope**.

Dem entsprechend hat man auch stereoskopische Mikroskope und Teleskope construiert. Vertauschung der Abbilder bringt statt des Erhabenen beim Original den Eindruck des Vertieften im Bilde. Apparate mit zur Bildvertauschung angeordneten Prismen oder Spiegeln hat man Pseudoskope genannt (Wheatstone, R. Ewald).

Verschieden starke Lichtreflexion, resp. verschiedene Beleuchtungsintensität zweier auf identischen Netzhautstellen sich abbildenden Flächen verursacht den „stereoskopischen“ Glanz, ebenso wie eine und dieselbe Fläche durch verschieden starke Reflexion von ihren verschiedenen, durchscheinend zu denkenden Schichten „glänzend“ (nicht spiegelnd) erscheint. Auch verschiedene Färbung kann im Stereoskop ähnliche Effecte hervorbringen.

Das Sehen mit beiden Augen ist ein wichtiges Hilfsmittel für die **Beurtheilung der Entfernung der Gegenstände**, indem wir sie unwillkürlich nach dem Convergenzgrade schätzen; ein viel ungenaueres Urtheil gibt uns bei Betrachtung mit nur einem Auge das Gefühl der Accommodationsanstrengung; hier müssen Augenbewegungen resp. Veränderungen der Kopfstellung zu Hilfe genommen werden, um bis zu einem gewissen Grade das stereoskopische Sehen zu ersetzen. Ist uns die wirkliche Grösse eines Gegenstandes gerade bekannt, so liefert uns der Gesichtswinkel (siehe oben), unter welchem er erscheint, ein Hilfsmittel zur Beurtheilung seiner Entfernung; für gewöhnlich pflegen wir umgekehrt unter Zugrundelegung der aus dem Convergenzgrade u. s. w. herausgefühlten Entfernung auf die **Grösse der Gegenstände**

aus dem Gesichtswinkel zu schliessen, unter welchem sie uns erscheinen; die „Abmessung“ erfolgt natürlich in Form des schätzungsweisen Vergleiches mit bekannten Grössen. Hierbei erfolgen nun zahlreiche regelmässig wiederkehrende Urtheilstäuschungen aus psychologischen Motiven, sogenannte „**optische Täuschungen**“: z. B. das Grössererscheinen von Sonne und Mond, wenn sie am Horizonte, also in scheinbarer Nähe „vergleichbarer Gegenstände“ erscheinen; dementsprechend die scheinbar flache, statt halbkugelige Wölbung des Himmels.

Noch nicht genügend erklärt ist die Thatsache, dass stumpfe Winkel zu klein und spitze zu gross geschätzt werden (Hering), womit zusammenhängt, dass eine Linie jenseits ihrer schiefen Kreuzung mit einem breiten Bande nicht als Fortsetzung des diesseitigen Theiles, sondern parallel mit sich verschoben erscheint, ferner die scheinbare Convergenz paralleler Geraden, welche Systeme von Strichen schneiden, die einander entgegengesetzt schräg gerichtet sind (Zöllner'sche Figur) u. m. A.

Näher auf diese Dinge einzugehen, ist hier nicht möglich; ebenso muss wegen der Lehre von der Perspective (monoculäre, stereographische, Schatten-Perspective) auf die Detailwerke verwiesen werden.

Die kugelige Form des Augapfels wird erhalten durch eine beträchtliche Wandspannung, die man mit geeigneten, den zur Abplattung einer kleinen Fläche nöthigen Druck angehenden Instrumenten [Ophthalmotonometer von Fick¹⁾] gemessen hat, und welche den Ausdruck eines beträchtlichen Druckes bildet, unter welchem der flüssige Augeninhalt steht — „**intraoculärer Druck**“. Da die Augenflüssigkeit — vorderes Kammerwasser, hinteres Kammerwasser, Glaskörperflüssigkeit —, ein schwach eiweisshaltiges, Zucker und Bernsteinsäure führendes Transsudat, von dem stark gefässhaltigen Ciliarkörper u. s. w. geliefert („secernirt“) wird, auch Resorption dahin stattfinden kann, so wird die Grösse des intraoculären Druckes von den **Kreislaufverhältnissen des Augapfels** stark abhängen. Die Gefässversorgung der Netzhaut erfolgt durch die Art. centralis retinae, der Choroïdea durch die Art. ciliares, deren Systeme um die „Papille“ (Sehnerveneintrittsstelle) anastomosiren; der Abfluss erfolgt für die erstere durch die Vena centralis, für letztere durch die Venae vorticosae. Der intra-

¹⁾ A. g. P., XLII, 86.

oculäre Druck steigt und sinkt im Allgemeinen mit dem Blutdruck; pulsatorische und respiratorische Schwankungen fehlen gewöhnlich. Pathologische Steigerung kann zu Gefässverschluss, besonders in der Papille und Netzhautatrophie führen.

Die Augenhöhle kann völlig abgeschlossen werden durch den Schluss der **Lider**: Wirkung des *M. orbicularis palpebrarum*; Wiederöffnung des oberen Augenlides durch den *M. levator palpebrae sup.*, des unteren passiv durch die Schwere, ausserdem durch glatt-faserige Retractoren. Lidschluss kann erfolgen willkürlich, unwillkürlich beim Einschlafen und reflectorisch auf Berührung oder Lichtreiz (vgl. S. 303), letzterenfalls beim Menschen „consensuell“ wie der Pupillenreflex, d. h. auf beiden Augen bei Reizung nur des einen.

In ihrer Wirkung als **Schutzorgan** des Auges werden die Lider unterstützt durch die daran befindlichen Wimpern, sowie durch die zur Feucht- und Reinhaltung der vorderen Augenfläche dienende **Thränenflüssigkeit**. Diese klare, farblose, alkalisch reagierende, Salze (*Na Cl*), etwas Mucin und Eiweiss enthaltende Flüssigkeit wird von der als „Eiweissdrüse“ (S. 121) aufgebauten Thränendrüse beständig secernirt — über die Innervation siehe S. 299; sie gelangt durch die capillaren Lidräume, unterstützt durch den Lidschlag, nach dem Thränensee im medialen Augenwinkel, um von hier durch die Thränenröhrchen in den Thränensack als Sammelraum und weiter in den unteren Nasengang abzufließen; unterstützende resp. ansaugende Muskelkräfte — Erweiterer des Thränensacks — sind behauptet. Ueberfliessen der Thränen über die Lidränder wird durch das fettige Secret der Meibom'schen Drüsen gewöhnlich verhindert, findet aber bei psychisch angeregter („Weinen“) vermehrter Secretion doch statt.
