Harn zu lassen. Der Harn fliesst nicht passiv ab, sondern wird unter Beihilfe des Bulbocavernosus ausgestossen. Bisweilen kann auch solche Harnentleerung durch äusseren Reiz reflectorisch hervorgerufen werden, es muss also ein Reflexcentrum im Lendenmark liegen. Aehnliches findet Goltz für den Afterschliesser.

Aehnlichen Schwierigkeiten, wie beim Darm, begegnen wir bei den Bewegungen des Uterus, über welche in neuerer Zeit namentlich von Oser und Schlesinger Versuche angestellt worden sind. Diese haben ergeben, dass auch hier, ähnlich wie dies auch beim Darmkanal beobachtet wurde, Abhalten des Blutes aus den Gefässen des Uterus Contractionen hervorbringt, dass aber der Erfolg einige Zeit auf sich warten lässt. Der Erfolg tritt aber viel plötzlicher auf, wenn man allgemeine oder wenn man Gehirnanämie hervorbringt. Sie überzeugten sich auch durch Durchschneidung der Medulla oblongata zwischen Atlas und Hinterhaupt, dass Impulse vom Gehirne zum Uterus gehen und ihn in Contraction versetzen, und dass sie das Rückenmark entlang fortgepflanzt werden. Die Gehirnanämie wurde nämlich unwirksam, wenn sie die Medulla oblongata durchschnitten hatten, während die locale Anämie noch ihre Wirkung äusserte. Diese Impulse sind aber sicher nicht die einzigen. Ein 24jähriges Mädchen erlitt während der Schwangerschaft einen Bruch des dritten und vierten Halswirbels. Obere und untere Extremitäten waren gelähmt, ebenso Mastdarm und Harnblase. Ebenso verbreitet war die Empfindungslosigkeit. Das Mädchen gebar ohne Schmerzen, aber das Vorhandensein von Wehen, von Uteruscontractionen, konnte objectiv sicher und deutlich constatirt werden. Von besonderem Interesse ist folgende Beobachtung von Goltz. Er hatte einer Hündin in ihrer Jugend das Rückenmark in der Höhe des ersten Lendenwirbels durchtrennt. Das Thier war geheilt, aber die Leitung nicht wieder hergestellt. Als es erwachsen war, wurde es brünstig, und Goltz liess es belegen. Es gebar ein lebendes Junges, dem noch zwei andere todte folgten, wenn auch so langsam, dass man die Entbindung durch Kunsthilfe beendigte. Es ist bemerkenswerth, dass das Thier, welches sonst alle männlichen Hunde weggebissen hatte, sich, nachdem es brünstig geworden, gutwillig belegen liess, obgleich ihm doch durch das Rückenmark keinerlei Empfindungen von seinen Geschlechtstheilen aus zugeleitet werden konnten. Es musste dies also entweder durch Bahnen des Sympathicus geschehen, oder es musste, wie es Goltz nicht für unwahrscheinlich hält, die geschlechtliche Umstimmung durch eine veränderte Beschaffenheit des Blutes bewirkt sein. Bemerkenswerth ist auch, dass sich sämmtliche Milchdrüsen entwickelten und mit Milch anfüllten, auch die vorderen, und dass das Thier dem Jungen dieselbe Zärtlichkeit und Obsorge zuwendete wie eine Hündin mit unverletztem Nervensystem.

Gesichtssinn.

Das Auge.

Im Alterthume sah man das menschliche Auge als aus drei Flüssigkeiten und drei Häuten bestehend an. Die drei Flüssigkeiten waren: der Humor aqueus, der diesen Namen auch jetzt noch trägt, der Humor crystal-

linus, den wir jetzt Lens crystallina nennen, und der Humor vitreus, den wir jetzt mit dem Namen des Corpus vitreum bezeichnen. Auch in den drei Häuten der alten Anatomen finden wir unsere Augenhäute wieder; aber die Namen haben mannigfache Wandlungen durchgemacht. Mit dem Namen Sclera, Cornea, Dura bezeichneten die alten Anatomen die jetzige Cornea und Sclerotica zusammengenommen, die äussere Haut des Augapfels. Erst später ist der Name Cornea auf den vorderen durchsichtigen Theil übergegangen, während der Name Sclera oder Sclerotica dem undurchsichtigen Theile geblieben ist. Die zweite Haut der alten Anatomen war die Tunica uvea. Sie war so genannt von einer Weinbeere, an der man den Stengel ausgerissen hat. Es war darunter nichts Anderes verstanden als die jetzige Chorioidea mit Einschluss der Iris, so dass die Pupille das Stengelloch für die Weinbeere darstellte, aus der eben der Stengel ausgerissen war. Diese Haut führte auch zugleich den Namen Chorioeides oder Chorioidea, wie es heisst, weil man ihr eine Aehnlichkeit mit dem Chorion zuschrieb. Später trennte sich der Name so, dass der hintere Theil den Namen Chorioidea behielt, und der Name Uvea, der ursprünglich das Ganze bezeichnet hatte, auf den vorderen Theil beschränkt wurde. Der vordere Theil aber, am lebenden Menschen von vorne gesehen, führte schon den Namen Iris, es blieb also jetzt nur übrig, dass eine hintere Partie dieser Iris mit dem Namen Uvea bezeichnet wurde, und daher ist das seltsame Missverständniss gekommen, welches eine Zeit lang herrschte, dass die Blendung aus zwei an einander liegenden und mit einander verwachsenen Häuten bestünde, von welchen die vordere den Namen Iris und die hintere den Namen Uvea führte. Wir werden in dem Folgenden immer den Namen Uvea, in demselben Sinne wie die alten Anatomen, für die Gesammtheit dieser Haut gebrauchen, und dagegen die Namen Iris und Chorioidea auf die einzelnen Partien in der jetzt üblichen Weise vertheilen.

Die dritte dieser Häute war die Tunica retina, auch Aranea Arachnoidea, die Spinnwebenhaut genannt. Diese umfasste das, was wir jetzt Retina nennen, ausserdem das, was wir jetzt Zonula Zinnii nennen, und in der ältesten Zeit auch noch die vordere Wand der Linsenkapsel. Die Namen dieser Haut rühren sämmtlich von einem Theile her, den wir jetzt nicht mehr mit dem Namen der Retina bezeichnen. Sie wurde Retina genannt, weil man sie mit einem Netze, das oben zusammengezogen ist, verglich, und der zusammengezogene Theil, der zu diesem Vergleiche Veranlassung gab, war, wie begreiflich, nicht unsere jetzige Retina, sondern die Zonula Zinnii. Auch der Name Aranea oder Arachnoidea rührt von der Zonula Zinnii her, indem man die strahlige Figur, die die Zonula Zinnii von vorne gesehen darbietet, mit dem strahligen Gewebe einer Kreuzspinne verglich. Später wurde die Linsenkapsel als besondere Haut, als Phakoeides, unterschieden, so dass also der Name Retina oder Aranea auf unsere jetzige Retina und auf unsere jetzige Zonula Zinnii, welche noch in verhältnissmässig später Zeit als ein Theil der Retina betrachtet wurde, beschränkt war.

Auch das, was wir jetzt mit dem Namen Conjunctiva bezeichnen, ist in der Weise, wie wir es jetzt beschreiben, erst in verhältnissmässig später Zeit beschrieben worden. Wir finden freilich eine Tunica adnata beschrieben, aber diese entspricht im Alterthume und in der ganzen gale-

nistischen Periode, ja selbst noch bei mehreren Anatomen des 17. Jahrhunderts nicht dem, was wir jetzt Conjunctiva nennen, sondern einem Bindegewebstracte, welcher sich aus der Tiefe der Orbita, vom Rande des Foramen opticum über den Augapfel hin verfolgen lässt. Es ist dies die Capsule du globe de l'œil einiger späterer französischer Anatomen. Vesal leitete als der Erste die Conjunctiva so wie wir von der inneren Haut der Augenlider her. In Wahrheit ist unsere Conjunctiva keine selbstständige Membran. So wie wir sie für die anatomische Demonstration präpariren, können wir sie nur darstellen, indem wir eine Menge von Bindegewebe durchschneiden. Wir unterscheiden bekanntlich eine Conjunctiva bulbi und eine Conjunctiva palpebrarum. Wir präpariren sie so, dass wir das ganze Auge mit den Augenlidern ausschneiden und dann das Bindegewebe rückwärts wegnehmen, so dass wir eine sackförmige Haut erhalten, an der, wenn wir sie an den Augenlidern aufheben, der Bulbus hängt, indem er mit der Hornhaut den convexen Boden dieses Sackes bildet. Wir sind aber dabei nur einer Oberfläche gefolgt, die uns durch ihre Erkrankungen ein wesentliches Interesse darbietet, nicht die Oberfläche einer anatomisch selbstständigen Haut darstellt. Wir haben mit dem Messer die Faserzüge durchtrennt, mittelst welcher sich die Substanz der sogenannten Bindehaut in die des tiefer liegenden Bindegewebes der Augenhöhle fortsetzte.

Die Hornhaut.

Die Cornea stellt den Scheitelabschnitt eines etwas schiefliegenden Ellipsoids dar, das man sich durch Umdrehung einer Ellipse um ihre grosse Axe entstanden denken muss. Sie ist in ihrer ganzen Ausdehnung näherungsweise von gleicher Dicke, beim Erwachsenen aber in der Mitte, gegen den Corneascheitel hin, etwas dünner, am Rande etwas dicker. Beim Neugebornen findet das Umgekehrte statt, indem bei diesem die Cornea im Scheitel am dicksten ist und ihre Dicke gegen den Rand hin etwas abnimmt. Die Cornea besteht aus vier Schichten: einem vorderen geschichteten Pflasterepithel, dann aus der sogenannten Substantia propria corneae, die bei Weitem die Hauptmasse derselben ausmacht, drittens aus der glasartigen Lamelle der Hornhaut oder der sogenannten Descemet'schen Membran, und endlich aus einem Epithel, das die Descemet'sche Haut rückwärts bekleidet. Das vordere äussere Epithel steht in directem Zusammenhange mit dem der Bindehaut. Die tiefste Schicht desselben besteht aus verhältnissmässig hohen und schlanken Zellen, die durch polyedrische in abgeplattete übergehen, welche an der Oberfläche in mehreren Schichten über einander liegen. Die zweite Schicht, die Substantia propria corneae, hat zu mancherlei Controversen Veranlassung gegeben. Man erkannte frühzeitig, dass sie aus Fasern besteht, und Johannes Müller fand, dass das Hornhautgewebe sich auch in chemischer Hinsicht wesentlich von dem der Sclera und vom Bindegewebe und fibrösen Gewebe überhaupt unterscheidet. Er fand, dass es beim Kochen Chondrin gibt. Er sagte deshalb, die Cornea sei der einzige wahre Faserknorpel, weil der gewöhnlich sogenannte Faserknorpel aus leimgebenden Fasern und Knorpelsubstanz, die zwischen den leimgebenden Fasern eingesprengt ist, besteht. Morochowetz gibt indessen an, dass die Corneafasern beim Kochen nur Leim ohne alle Chondrinreactionen geben, wenn man ihnen durch Kalk-

oder Barytwasser alles darin Lösliche entzogen hat. Später ist die faserige Natur der Cornea geleugnet worden. Man hat sie als lediglich aus Lamellen bestehend dargestellt. Rollett hat aber nachgewiesen, dass die alte Ansicht, dass die Cornea aus Fasern bestehe, die richtige ist. Man hatte immer den Vorwurf erhoben, dass die Fasern durch künstliche Spaltung, durch Bearbeiten der Cornea mit der Nadel hervorgebracht würden; die Streifung, die man auf dem Schnitte sehe, rühre nicht von Fasern, sondern von Lamellen her. Rollett wies aber nach, dass man auch ohne Anwendung von Nadeln die Fasern erhalten könne, wenn man die Kittsubstanz, die dieselben hier, wie im Bindegewebe, miteinander verbindet, durch übermangansaures Kali zerstört. Dann kann man durch blosses Schütteln die ganze Cornea in ein Haufwerk von Fasern auflösen. Diese Fasern liegen in Bündeln, die mattenartig durchflochten sind und gerade in der menschlichen Cornea einen verhältnissmässig unregelmässigen Verlauf haben. Schon bei den Wiederkäuern haben diese Bündel eine etwas regelmässigere Lage, kreuzen sich mehr unter rechten Winkeln. In noch höherem Grade ist dies bei den Vögeln der Fall. In dem von den Bündeln gebildeten Mattenwerk sind bestimmt geformte und begrenzte Zwischenräume, und diese sind von lebenden Zellen bewohnt, welche den Bindegewebskörperchen analog sind, und die man hier mit dem Namen der Corneakörperchen bezeichnet. Diese Zellen haben aber nicht alle feste Wohnsitze. Sie strecken zum Theil nicht nur wie andere amöboide Zellen Fortsätze aus und ziehen sie zurück, sondern sie strecken Fortsätze in der Weise aus, dass sie sich in ein langes, keulenförmiges Gebilde verwandeln. Der Fortsatz ist in einen Communicationsgang zwischen zwei grösseren Räumen hineingesteckt, und wird immer weiter bis in den andern Raum vorgeschoben, dann immer mehr und mehr von dem Protoplasma nachgezogen, so dass endlich die Figur einer Keule in umgekehrter Lage entsteht, dass sich der Zellenleib dort befindet, wo früher die Spitze des Fortsatzes war. Der Fortsatz, der jetzt dem Protoplasmaleibe nachschleppt, wird endlich eingezogen, und auf diese Weise hat die ganze Zelle einen Weg in der Cornea zurückgelegt. Diese Zellen sind die sogenannten Wanderzellen der Cornea.

Recklinghausen hat vor einer Reihe von Jahren gezeigt, dass auch Lymphkörperchen in die interstitiellen Gewebsräume der Cornea einwandern können. Er zerstörte in einer Hornhaut auf mechanischem Wege die darin enthaltenen Hornhautkörperchen. Hierauf brachte er sie in den Lymphraum eines Frosches und fand nun, dass die amöboiden Zellen, die Lymphkörperchen, aus dem Lymphraume des Frosches in die Cornea einwanderten und sie von Neuem bevölkerten. Die Cornea niederer Thiere, namentlich die der Frösche und der Salamander, gibt das beste Object ab, um die Wanderung von amöboiden Zellen, wie sie unzweifelhaft auch an anderen Orten im menschlichen Körper stattfindet, zu beobachten. Sie wird frisch ausgeschnitten und als Ganzes in der feuchten Kammer, von der mehrere Formen von Recklinghausen und von Stricker angegeben wurden, vor Verdunstung geschützt, beobachtet. Dann sieht man, wie diese Zellen ihre Fortsätze ausstrecken und einziehen, wie sie ihren Ort verändern u. s. w.

Wenn man den todten Augapfel zwischen den Fingern presst, so wird die Hornhaut trüb, und klärt sich wieder, sobald der Druck nach-

lässt. Ebenso beobachtet man Trübung der Hornhaut am Lebenden, wenn der Druck im Inneren des Auges, der sogenannte intraoculäre Druck, sich über ein gewisses Maass steigert. Nach den Untersuchungen von E. v. Fleischl hängt diese Trübung damit zusammen, dass die Fasern der Hornhaut durch den von der stärkeren Spannung herrührenden Zug doppelbrechend werden.

Man hat an der Substantia propria corneae oder vielmehr zwischen ihr und dem Epithel eine Tunica elastica anterior beschrieben, so dass man dann die Descemet'sche Haut als Tunica elastica posterior bezeichnete. Eine solche selbstständige Tunica elastica anterior existirt aber nicht, sondern nur eine festere, dichtere, oberflächliche Lage der Substantia propria corneae. Beim Menschen zeichnet sie sich auf Querschnitten besonders aus, mehr als bei den meisten Thieren, und ihre Verbindung mit der übrigen Hornhaut ist namentlich gegen den Rand hin weniger fest. Hier sieht man bisweilen von hereinwuchernden Neubildungen eine Schicht abgehoben, die der Descemet'schen Haut täuschend ähnlich ist. Aber auch sie ist nichts Anderes als die von Hornhautkörperchen fast vollständig freie vorderste Schicht der Substantia propria corneae. Schon Rollett wies nach, dass diese vorderste Schicht von übermangansaurem Kali ebenso angegriffen wird wie die übrige Substantia propria, während die Descemet'sche Haut unversehrt bleibt. Auch durch entzündliche Auflockerung und Geschwürsbildung wird sie unter denselben Erscheinungen zerstört wie die übrige Substantia propria.

Auf die Substantia propria corneae folgt die Descemet'sche Haut. Diese ist eine glasartige, structurlose Membran. Sie ist so gleichmässig durchsichtig, dass, wenn ein Lappen von ihr unter dem Mikroskope liegt, der das halbe Sehfeld einnimmt, man nicht weiss, auf welcher Seite der Schnitt liegt und auf welcher Seite kein Object vorhanden ist. Nur auf Schnitt- und auf Rissflächen sieht man eine leichte Streifung, welche auf einen lamellösen Bau schliessen lässt. Beim Menschen bringt man sie gewöhnlich nur in kleineren Stücken herunter, die, wenn sie etwas grösser sind, sich krümmen und einrollen, in ähnlicher Weise wie ein Papier, das längere Zeit zusammengerollt gewesen ist. Bei manchen Thieren aber, beim Kaninchen und mehr noch beim Hasen, kann man sie durch Maceration als Ganzes darstellen. Sie wurde unter verschiedenen Namen beschrieben: als Membrana Descemetii, Membrana Demoursii, Membrana Duddeliana, Membrana humoris aquei u. s. w. Wenn man sie nach ihrem Entdecker nennen will, muss man sie Membrana Descemetii nennen, weil sie Descemet zuerst und richtig beschrieben hat. Den Namen der Membrana humoris aquei hat man ihr irrthümlicher Weise gegeben, indem man glaubte, dass sie die ganzen Augenkammern auskleide und den Humor aqueus absondere. Es hing das mit gewissen Vorstellungen zusammen, nach welchen die Flüssigkeiten, welche sich in den serösen Höhlen befinden, von den Häuten, die diese Höhlen begrenzen, durch eine eigene specifische Thätigkeit abgesondert werden sollten. Wir wissen aber heutzutage, dass es nicht die serösen Häute als solche, sondern vielmehr die Blutgefässe sind, welche in dem durch ihre Wandungen gedrungenen Plasma das Material zu solchen Flüssigkeiten hergeben. Wenn es aber eine Haut gibt, die ungeeignet wäre, Flüssigkeiten abzusondern, so ist es gewiss die Descemet'sche Haut, weil sie fester, widerstandsfähiger, undurch-

gängiger ist als irgend eine Membran des menschlichen Körpers, die Linsenkapsel etwa ausgenommen. Man kann mit mehr Wahrscheinlichkeit sagen, dass ihr wesentlicher Nutzen darin besteht, dass sie die hintere Fläche der Cornea mit einer für wässerige Flüssigkeiten schwer durchgängigen Schicht bekleidet und so die Infiltration des Humor aqueus in die Cornea beschränkt. Ihre Widerstandsfähigkeit zeigt sich auch bei Geschwürsbildungen. Wenn ein trichterförmiges Geschwür schon die ganze Substantia propria corneae durchbrochen hat, sieht man noch im Grunde des Geschwürs die Descemet'sche Membran erhalten, so dass sie wie eine helle, durchsichtige Perle im Grunde des Geschwürs steht und erst nach längerer Zeit durchbrochen wird. Ferner zeigt sie sich sehr widerstandsfähig gegen Reagentien und widersteht dem Kochen lange Zeit; von alkalischer Trypsinlösung aber wird sie nach Ewald und Kühne unter starkem Aufquellen verdaut. Sie bekleidet, wie gesagt, die Rückseite der Cornea, geht aber nicht auf die Iris über, sondern hört an der Grenze der Sclera mit einem Rande auf, der sich zwischen diese und den an ihr angehefteten Ciliartheil der Iris einschiebt, und an dessen Innenseite sich der später zu beschreibende Musculus tensor chorioideae ansetzt. Dieser Rand weist grosse Verschiedenheiten und merkwürdige Bildungen auf. Einerseits umgibt er bei manchen Thieren scheidenförmig Faserbündel, die als Theile des Ligamentum iridis pectinatum von der Iris zur Hornhaut gehen, andererseits endet er beim Menschen verdünnt und zugeschärft zwischen und hinter den Strängen des Ligamentum iridis pectinatum und stellenweise von denselben durchbohrt. Nach innen ist sie mit einem einschichtigen Pflasterepithel bekleidet, das aus einer einfachen Lage durchsichtiger Zellen mit stark prominirenden Kernen besteht. Dieses Epithel der Descemet'schen Haut setzt sich auf die Iris fort und geht in die oberste Lage der Zellen über, welche die Iris nach vorn zu überkleiden.

Die Nerven der Cornea kommen von den Ciliarnerven und treten ringsum am Rande der Hornhaut als kleine Stämmchen ein. Sie verzweigen sich in der ganzen Ausdehnung derselben und scheinen in zweierlei Weise zu endigen. Zunächst in der Tiefe der Cornea. Hier hat Kühne auf ein eigenthümliches Verhalten der Nerven zu den Hornhautkörpern aufmerksam gemacht. Er fand, dass diese, wenn sie ihre Fortsätze ausgestreckt hatten, durch letztere wenigstens theilweise mit den Enden der Nervenfasern in Verbindung standen. Reizte er die Nerven, so zogen die Corneakörperchen ihre Fortsätze ein und standen nun nicht mehr mit den Nervenfasern in Verbindung, so dass hier kein wirkliches Zusammenhängen, sondern nur eine Aneinanderlagerung von Fortsätzen und Nervenfasern stattfindet und doch eine Uebertragung der Erregung, wenn man nicht etwa annehmen will, dass die Verbindung vorher eine wirkliche war und durch die plötzliche Contraction zerriss. Der Zusammenhang der Nervenfasern mit den Hornhautkörperchen ist mehrfach bestritten, aber in neuerer Zeit von Königstein insofern bestätigt worden, als er an Hornhäuten, die mit Gold gefärbt waren, die Hornhautkörperchen noch an den Nervenfäden hängend fand, nachdem er die Fasern durch Salzsäure zerstört hatte. Mit der anderen Art der Endigung der Nervenfasern sind wir durch die Untersuchungen von Cohnheim bekannt gemacht worden. Er fand an Goldpräparaten, dass auf der oberen Schichte der Substantia propria corneae ein dichter Plexus von sehr feinen marklosen Fasern liege,

die sich nach rückwärts bis zu den schon früher bekannten tieferliegenden Fasern verfolgen liessen. Von diesen dringen sehr feine marklose Fäden nach aufwärts zwischen die Epithelzellen, um zwischen denselben blind zu endigen.

Blutgefässe hat nur der Randtheil der Cornea. Sie kommen von der Conjunctiva und überschreiten den Rand der Cornea an beiden Seiten etwa um 1 Mm., von unten her etwa um $1^1/_2$ Mm., und von oben her etwa um 2 Mm. Es entsteht dadurch ein gefässfreies Feld auf der Cornea, welches seiner Gestalt nach einer Ellipse mit horizontal liegender grosser Axe nahe kommt. Am Rande dieser Ellipse endigen die Blutgefässe mit arkadenförmigen capillaren Schlingen. Mehr in der Tiefe werden die eintretenden Nervenstämmchen von umspinnenden Gefässen begleitet, die noch etwas weiter vordringen als die eben erwähnten, von der Conjunctiva stammenden Blutgefässe. Man hat der übrigen Hornhaut noch ein System von feineren Gefässen, welches von den Capillargefässen aus gespeist werden soll, zugeschrieben, ein System von so feinen Gefässen, dass in sie keine Blutkörper eindringen, sondern nur Plasma. Ein solches existirt hier nicht. Man glaubte die speisenden Capillaren in feinen, radial verlaufenden und anscheinend blind endigenden Gefässen am Hornhautrande zu sehen. Aber diese sind nichts Anderes als die radial verlaufenden Schenkel der Endschlingen. Wenn man dergleichen Injectionen im frischen Zustande untersucht, so findet man noch Blutkörperchen im Verbindungstheile zweier solcher Schenkel angesammelt. Diese Bilder entstehen dadurch, dass die Injectionsmasse von beiden Seiten eine Portion Blut zwischen sich eindrängt und nun nicht die ganze Schlinge erfüllen kann.

Man hat sich vielfach auf die pathologischen Erscheinungen berufen und gesagt, es müssten normaler Weise in der Hornhaut Gefässe vorhanden sein, weil diese bei Entzündung derselben so rasch erscheinen. Diese Beweisführung hat aber heutzutage keinen Werth mehr, seit man die Geschwindigkeit kennt, mit welcher sich pathologische Gefässe bilden können. Früher, als man sich noch der erstarrenden körperlichen Injectionsmassen bediente, konnte man glauben, dass hier in der That ein feines Gefässnetz sei, welches nur äusserst schwer injicirt wird. Heutzutage aber, wo wir mit Injectionsmassen, die keine festen Körper enthalten, mit Carmin, löslichem Berlinerblau u. s. w. injiciren, können wir mit Sicherheit sagen, dass hier keine Gefässe vorhanden sind, da an gesunden Augen sich die Gefässgrenze immer in ein und derselben Weise darstellt.

Lymphgefässe sind auch in der Cornea beschrieben worden. Es ist keine Frage, dass, wenn man einen Einstich macht und eine gefärbte Masse hineintreibt, mittelst derselben ein System von interstitiellen Gewebsräumen, von Saftkanälen, zwischen den Fasern der Cornea erfüllt wird. Es sind dies dieselben interstitiellen Gewebsräume, in welchen die Corneakörperchen theils liegen, theils ihre Wanderungen vollziehen, erweitert und gelegentlich auch vermehrt durch den Druck der Injectionsmasse. Von wirklichen Lymphgefässen kann aber hier keine Rede sein, schon deshalb nicht, weil hier keine Blutgefässe vorhanden sind und bekanntlich die Lymphgefässe immer nur die Kanäle darstellen, die das von den Capillaren überflüssig ausgeschiedene Plasma zurückführen.

Die Sclerotica.

Die Sclerotica ist eine fibröse Membran. Sie ist am dicksten am hinteren Umfange des Auges, verdünnt sich dann gegen den Aequator des Augapfels hin und dann noch mehr unter den Ansätzen der geraden Augenmuskeln; dann verdickt sie sich wieder, indem die Fasern von den Sehnen der geraden Augenmuskeln nach vorne und nach den Seiten hin in sie ausstrahlen und so gewissermassen, indem sie sich mit den Scleroticafasern verflechten, eine neue Schicht bilden. Diese vordere Verdickung, welche die Sclera unter Mitwirkung der Sehnen der geraden Augenmuskeln erfährt, ist als eigene Membran, als die sogenannte Tunica innominata Columbi beschrieben worden. Sie stellt aber keine solche dar, sondern lässt sich nur gewaltsam mit dem Messer ablösen. Die Sclera ist verhältnissmässig gefässarm und enthält unter ihrer inneren Oberfläche ein ziemlich weitmaschiges Netz von Capillaren. An der Eintrittsstelle des Sehnerven findet sich ein schon Haller bekannter arterieller Gefässkranz, der zahlreiche Aeste in das Bindegewebe sendet, welches die einzelnen Bündel der Sehnervenfasern von einander trennt. An der inneren Seite der Sclera hat man eine Lamina fusca scleroticae unterschieden. Unter diesem Namen sind aber zwei verschiedene Dinge beschrieben worden. Bei vielen Thieren hat die innere Partie der Sclera selbst Pigmentzellen, so dass die innere Oberfläche derselben gefärbt ist; und das hat man als Lamina fusca scleroticae beschrieben. Andererseits aber befindet sich zwischen der Chorioidea und der Sclera ein zartes, bei brünetten Menschen pigmentirtes Gewebe, das seinem histologischen Charakter nach dem Stroma der Chorioidea gleich ist, das aber häufig der Sclera fester anhaftet als der Chorioidea, so dass es, wenn man in der gewöhnlichen Weise die Sclera von der Chorioidea abtrennt, als ein weicher, gefärbter Ueberzug auf der Innenfläche der Sclera bleibt. Auch dieses Gewebe ist mit dem Namen der Lamina fusca scleroticae bezeichnet worden.

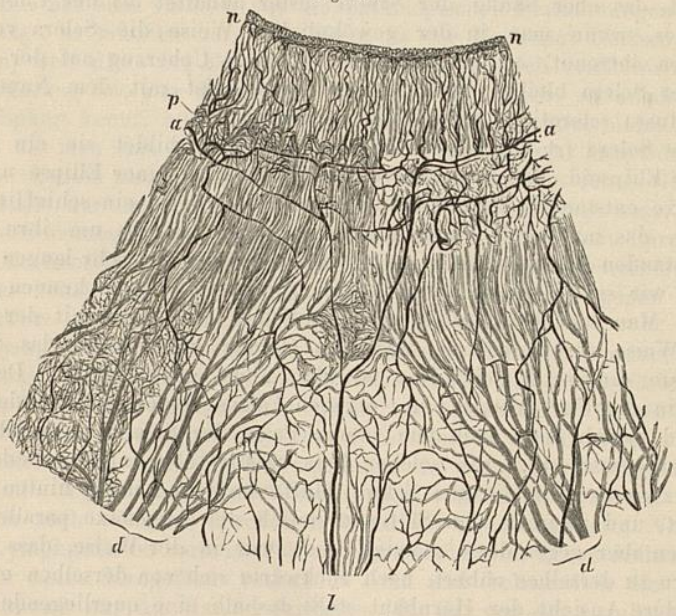
Die Sclera ist bald mehr kugelförmig, bald bildet sie ein schiefliegendes Ellipsoid, das man sich durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstanden denken kann; seltener bildet sie ein schiefliegendes Ellipsoid, das man sich durch Umdrehung einer Ellipse um ihre grosse Axe entstanden denken kann. Letzteres kommt bei den sehr langen Augen vor, die wir später als die sehr kurzsichtiger Individuen kennen lernen werden. Man sagt gewöhnlich, dass die Sclera nach vorn mit der Cornea in der Weise verbunden sei, dass die Cornea wie ein Uhrglas in eine Uhr in sie eingesetzt sei. Das ist aber nicht ganz richtig. Das Uhrglas ist in die Uhr mittelst eines eigenen Falzes eingefasst, und dem entsprechend sprach man auch von einem Falze der Sclera, in welchen die Cornea eingesetzt sei. Ein solcher Falz existirt aber nicht, sondern die Grenze zwischen Cornea und Sclera läuft von vorne nach hinten geradlinig fort, und zwar an den Seiten ziemlich der Augenaxe parallel, oben und unten aber gegen diese geneigt, und zwar in der Weise, dass sie sich nach vorn zu derselben nähert, nach rückwärts sich von derselben entfernt. Die vordere Ansicht der Hornhaut stellt deshalb eine querliegende Ellipse dar, während sie von rückwärts kreisförmig erscheint. Bei diesem theilweise schrägen Verlaufe zwischen Cornea und Sclera kann man bei der beträchtlichen Dicke der Häute schon in einiger Entfernung von der

äusserlich sichtbaren Grenze zwischen Cornea und Sclera ein Instrument durch die letztere stossen und gelangt mit demselben doch noch in die vordere Augenkammer. Erst wenn man noch weiter nach rückwärts eingeht, kommt man in die hintere Augenkammer und zum Linsenrande. Die Descemet'sche Haut hört an dieser Stelle, wie erwähnt, mit einem zugeschärften Rande auf. Unmittelbar an der Grenze der Cornea, aber noch in der Substanz der Sclera, liegt der sogenannte Canalis Schlemmii. Schlemm fand an Erhängten einen mit Blut gefüllten Ring, der die Peripherie der Cornea umfasste. Er untersuchte denselben näher und fand, dass er in jedem Auge vorhanden, nur nicht stets mit Blut gefüllt sei, dass man ihn aber an jedem Auge mit Quecksilber füllen könne. Er beschrieb diesen Ring, der schon früher gesehen, aber mit dem später zu beschreibenden Canalis Fontanae, dann auch mit dem Circulus venosus Hovii verwechselt war, als einen venösen Sinus, der die Cornea umfasse, und dieser Sinus ist nach ihm der Canalis Schlemmii genannt worden. Er ist aber kein einfacher Sinus im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sondern er besteht, wie spätere Untersuchungen gezeigt haben, aus mehreren Venen, die sich zu einem ringförmigen Plexus vereinigen und die Peripherie der Cornea umfassen.

Die Tunica uvea.

Die Tunica uvea kann räumlich eingetheilt werden in die Blendung, in den Ciliartheil (Corpus ciliare) und in die Chorioidea im engeren

Fig. 23.



Sinne des Wortes. Wenn man sich von dem Aufbaue der Uvea eine Vorstellung machen will, so fängt man am besten mit der Beschreibung

der Gefässe an, die hier einen grösseren Bruchtheil der Gesammtmasse als bei den meisten anderen anatomischen Gebilden ausmachen. Erst durch eine ausgezeichnete, von Leber im Ludwig'schen Laboratorium ausgeführte Arbeit haben wir eine richtige Einsicht in die Anordnung derselben und in den Blutlauf des Augapfels erhalten.

Man muss dreierlei arterielle Zuflüsse unterscheiden. Erstens die Arteriae ciliares posticae breves, kleine Stämmchen, die etwa zwanzig an der Zahl am hinteren Pole des Auges und im Umkreise des Sehnerven die Sclera durchbohren, in die Chorioidea eintreten, sich in derselben verbreiten und ein reiches, dichtes Capillarnetz bilden, welches die innerste Schichte des Gefässgerüstes bildet. Die Capillaren liegen also hier nach innen von den Arterien und Venen. Zweitens muss man die Arteriae ciliares posticae longae (Figur 23 *l*) unterscheiden, die, zwei an der Zahl, die eine an der Schläfenseite, die andere an der Nasenseite, nach vorwärts gehen, sich, wenn sie im Ciliartheile der Chorioidea angelangt sind, gabelförmig theilen und mit ihren Aesten einen Kranz bilden, indem diese miteinander anastomosiren. Dieser Kranz umfasst die Iris und heisst der Circulus iridis arteriosus major (Figur 23 *a*, *a*). Von diesem gehen Aeste in den Ciliartheil der Chorioidea, in den später näher zu beschreibenden Spannmuskel und in die Ciliarfortsätze. Ein anderer Theil der Aeste geht in die Iris. Die dritte Art der arteriellen Zuflüsse besteht in kleinen Aesten, die sich von den Augenmuskelarterien abzweigen, die Sclera in ihrem vorderen Theile durchbohren (Figur 24 *c*, *c*) und ihr Verbreitungsgebiet theils im Ciliartheile der Chorioidea, theils in der Iris haben. Diese Gebilde haben also zweifache arterielle Zuflüsse, die einen durch die Arteriae ciliares posticae longae, die anderen durch die Arteriae ciliares anticae. Die Arterien der Blendung bilden nahe dem Pupillarrande einen zweiten Anastomosenkranz, den Circulus iridis arteriosus minor (Figur 23 *n*, *n*). Das Venenblut, das aus dem vorderen Theile der Uvea zurückgeführt wird, hat verschiedene Abflüsse. Es geht theils durch Venen ab, welche als Venae ciliares anticae bezeichnet werden, am vorderen Theile des Auges die Sclerotica durchbohren und mit den Venen des Canalis Schlemmii, die aber kein Irisblut aufnehmen, zusammenhängen; theils fliesst es durch die Venennetze der Processus ciliares, Figur 23 *p*, Figur 24 *b*, die der Hauptsache nach von den Irisvenen gespeist werden, aber auch etwas Blut aus dem nach aussen von ihnen liegenden Spannmuskel aufnehmen. Diese Venennetze, welche das eigentliche Gerüst der Ciliarfortsätze bilden, sind, 70 bis 72 an der Zahl, zwischen die Falten der Zonula Zinnii eingesenkt. Aus ihnen verlaufen die Venen in kleinen, parallel neben einander liegenden

Fig. 24.

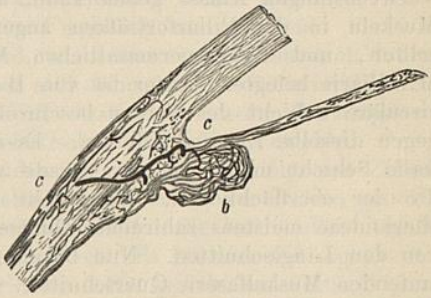


Fig. 23 und 24 nach Leber.

Stämmen nach rückwärts bis zur Ora serrata retinae, wo das Capillarnetz der Chorioidea beginnt. Sie nehmen dessen Blut auf und setzen sich zu grösseren Aesten (Figur 23 *d*) zusammen, die in bogenförmigem Verlaufe in sechs, bisweilen auch nur in fünf oder vier Stämme zusammenfliessen, so dass springbrunnenförmige Gefässfiguren entstehen, die schon mit blossem Auge und ohne Injection als solche kenntlich sind. Das sind die Vasa vorticosa Stenonis, so genannt nach dem dänischen Anatomen Stenson. Diese also führen, indem sie nicht weit hinter dem Aequator die Sclerotica durchbohren, den bei weitem grössten Theil des Venenblutes der Uvea aus dem Augapfel ab.

Die Tunica uvea enthält drei Muskeln. Erstens den M. tensor chorioideae, der mit einer Insertion, die, aus verzweigtem, netzförmigen Bindegewebe gebildet, am Rande der Descemet'schen Haut befestigt ist. Die Fasern laufen nach rückwärts und setzen sich an die Chorioidea an. Es sind glatte, organische Muskelfasern. Wenn sich diese Fasern contrahiren, so ist es begreiflich, dass sie die Chorioidea um die Retina und den Glaskörper anspannen müssen. Ich habe deshalb diesen Muskel Tensor chorioideae genannt. Er wird in neuerer Zeit auch als Ciliarmuskel bezeichnet. Gegen diesen Namen ist einzuwenden, dass er insofern zu Verwechslungen Anlass geben kann, als man früher irrthümlicher Weise Muskeln in den Ciliarfortsätzen angenommen hat, die zur Linse gehen sollten, und diese vermeintlichen Muskelfasern mit dem Namen des M. ciliaris belegte. Später ist von Heinrich Müller noch eine tiefere, circuläre Schicht des Tensor beschrieben worden. In späterer Zeit sind gegen dieselbe Zweifel erhoben. Es ist sicher, dass die Fasern der tieferen Schicht meist weniger gerade von vorn nach hinten verlaufen als die der oberflächlichen. Man sieht auf Meridianschnitten vom Tensor chorioideae meistens zahlreiche Querschnitte von Muskelfasern nach innen von den Längsschnitten. Nun bekommt man aber leicht von schräg verlaufenden Muskelfasern Querschnitte, und ausserdem geschieht es bei der Weichheit der Gebilde, dass, wenn die oberflächlichen Fasern sich etwas zusammenziehen, die tiefer liegenden sich im Zickzack biegen und dadurch Querschnitte entstehen. Es ist angegeben worden, dass man bisweilen glückliche Schnitte erhalte, auf denen gar keine Querschnitte von Muskelfasern zu sehen sind. Aber diese können wiederum nicht als beweisend betrachtet werden gegen die Existenz eines inneren Ringmuskellagers, denn nach den Untersuchungen von Iwanoff verhalten sich verschiedene Augen sehr verschieden. Nach ihm fehlt das Ringmuskellager in kurzsichtigen Augen in der Regel, ist aber in solchen, die in der Richtung der Axe besonders kurz sind, und die wir später unter dem Namen der hypermetropischen kennen lernen werden, auffallend stark und deutlich entwickelt. Diese Angaben sind auch von anderen Ophthalmologen bestätigt worden.

Der zweite Muskel ist der Sphincter pupillae, der als ein Band von etwa 1 Mm. Breite die Pupille umgibt und hier, abgesehen von der hinteren Pigmentlage, sich durch die ganze Iris erstreckt. Von ihm aus lässt sich der viel ausgedehntere, aber viel dünnere M. dilatator pupillae verfolgen. Dieser inserirt sich einerseits am Sphincter pupillae, andererseits an der Verbindung des Margo ciliaris Iridis mit dem Ciliartheile der Chorioidea. Er bildet eine dünne radiale Lage, die nach hinten

von den Blutgefässen, den Nerven und dem Irisstroma, aber nach vorn von der hinteren Pigmentbekleidung der Iris liegt.

Das Stroma, in welches alle diese Gebilde eingelagert sind, ist sowohl bei der Chorioidea als bei der Iris verzweigtes Bindegewebe. Die braunen und die schwarzen Augen sind solche, in denen dieses Stroma pigmentirt ist, die blauen sind solche, bei denen dieses Stroma nicht pigmentirt ist, wo deshalb das durchscheinende Gewebe der Iris als ein trübes Medium vor einem dunklen Hintergrunde, vor der hinteren Pigmentbekleidung der Iris, liegt. Da dieses Stroma sein Pigment meistens erst im extrauterinen Leben bekommt, so werden die Kinder in der Regel mit blauen Augen geboren, wie dies schon Aristoteles gewusst hat. Er sagt: Die Kinder werden mit dunkelblauen Augen geboren und erst später bekommen sie braune oder hellblaue Augen. Das Letztere ist ebenfalls richtig. Die Augen werden heller blau, weil die Masse des trübenden Gewebes sich vermehrt, und deshalb eine grössere Menge Lichtes reflectirt wird, als dies bei Neugeborenen der Fall ist. — Dieses verzweigte Bindegewebe bildet einen dichten Filz, so dass namentlich in der Chorioidea des Erwachsenen es kaum noch möglich ist, die einzelnen Zellen mit ihren Fortsätzen von einander zu isoliren. Man kann aber bei schwach pigmentirten Augen sehr gut einzelne stark pigmentirte Zellen mit ihren Ausläufern in der schwächer pigmentirten Umgebung wahrnehmen.

Das Stroma der Chorioidea wird, wenn man von aussen nach innen fortschreitet, immer fester und schliesst nach innen zu ab mit einem dünnen, glashellen, von feinen, wie es scheint, elastischen Fasern durchzogenen Häutchen, Kölliker's Glashaut oder elastischer Lage der Chorioidea.

Das Innere der ganzen Chorioidea ist von einer Schicht von Zellen ausgekleidet, welche ihrer Entwickelung nach schon zur Retina gehört, anatomisch aber zur Chorioidea gerechnet wird. Sie ist in allen Augen mit Ausnahme derer von Albinos pigmentirt. Es ist dies die sogenannte innere Pigmentauskleidung der Chorioidea. Sie besteht aus sechseckigen, sehr regelmässigen Zellen, die mit körnigem Pigmente erfüllt sind und in welche die äussersten Elemente der Retina, die Stäbchen und Zapfen, eingesenkt sind. Nach den Untersuchungen von Ant. Frisch wird das Pigment erst nach dem Tode rundkörnig oder, wie es oft abgebildet wird, nierenförmig. Im Leben stellt es scharfkantige Gestalten dar, oft prismen- oder schienenförmig, die sich in die Zwischenräume zwischen den Enden der Retinastäbchen einschieben. Die Zellen setzen sich nach vorn zu fort, werden im Ciliartheile der Chorioidea mehr platt und geschichtet, überziehen die Processus ciliares, und das Lager erreicht seine grösste Dicke an der hinteren Seite der Iris, wo es sich bis zum Rande derselben fortsetzt. Es ist in diesem ganzen Verlaufe pigmentirt, nur auf den Firsten der Ciliarfortsätze ist es bei Erwachsenen nicht pigmentirt. Wenn man deshalb das Auge eines Erwachsenen durchschneidet und die vordere Hälfte desselben von rückwärts ansieht, so sieht man um die Linse herum einen weissen Strahlenkranz, der durch die nicht pigmentirten Firste der Ciliarfortsätze hervorgebracht wird. Bei neugeborenen Kindern ist dies nicht der Fall.

Die Nerven der Tunica uvea sind die Ciliarnerven. Sie durchbohren die Sclerotica in vierzehn, selten weniger, häufig mehr Stämmen an ihrer hinteren Hemisphäre in der Richtung von hinten nach vorn, so dass sie

häufig in einer Länge von 3 bis 4 Millimetern in derselben verharren. Der grösste Theil derselben nimmt seinen Ursprung aus dem Ganglion ciliare, durch das sämmtliche motorische Fasern für das innere Auge gehen, während demselben ein Theil der sensiblen durch die N. ciliares longi aus dem Nasociliaris zukommt. Die auf und in dem Gewebe der Chorioidea nach vorn verlaufenden Ciliarnerven verzweigen sich im Ciliartheil, zumeist im Spannmuskel der Chorioidea, dann in der Iris und in der Hornhaut.

Die Tunica uvea ist mit dem Rande der Descemet'schen Haut und der Sclera durch die Insertion des Spannmuskels der Chorioidea verbunden, und andererseits gehen nach vorn von dieser Faserbündel von dem Gewebe der Iris zur Descemet'schen Haut und durch diese hindurch zur Substantia propria corneae, so dass, wenn man die Iris etwas anzieht, diese Fasern, über welche das Epithel hinübergeht, sich in kleinen Riffen anspannen. Die gestreifte Verbindung, die auf diese Weise entsteht, ist das sogenannte Ligamentum iridis pectinatum. Zwischen diesen Verbindungsstellen, zwischen der Uvea einerseits und der Cornea und Sclera andererseits, ist mehrfach ein Kanal unter dem Namen des Canalis Fontanae beschrieben worden. Der eigentliche Canalis Fontanae, d. h. das, was Fontana an Ochsenaugen als solchen beschrieben hat, existirt im Menschenauge nicht. Im Menschenauge liegen die Befestigung der Iris an der Cornea und die Insertion des Tensor chorioideae unmittelbar nebeneinander. Beim Ochsenauge dagegen besteht eine Verbindung zwischen Iris einerseits und Cornea und Sclera andererseits, und dann kommt erst nach einer Strecke die Insertion des Tensor chorioideae, welche die zweite Verbindung der Uvea und der Sclera darstellt. Zwischen diesen beiden Verbindungen liegt nur lockeres Chorioidealstroma, so dass man, wenn man Quecksilber hineinlaufen lässt, einen ringförmigen Raum erfüllen kann, der nach innen von der Uvea, nach vorn von der Verbindung der Iris mit der Cornea, beziehungsweise Sclerotica, nach hinten von der Verbindung des Tensor chorioideae mit der Sclera und nach aussen von der Sclera begrenzt ist. Dieser Raum war es, welchen Fontana in einem Briefe an den Anatomen Murray als einen von ihm neuentdeckten Kanal beschrieb. Dieser Kanal wurde mit dem Canalis Schlemmii verwechselt, indem man Schlemm, als er seinen Kanal beschrieb, den Vorwurf machte, dass derselbe nichts sei als der längst bekannte Fontana'sche Kanal. Das ist aber unrichtig, denn der Schlemm'sche Kanal ist ein ringförmiger Venenplexus, welcher in der Sclera liegt, während der Fontana'sche Kanal kein Venenplexus ist und auch kein Sinus, und nicht in der Sclera liegt, sondern zwischen der Sclera und der Uvea. Der Canalis Fontanae ist ferner mit dem Circulus venosus Hovii verwechselt worden. Dieser ist aber erstens vom Canalis Fontanae gänzlich verschieden, und zweitens ist der Circulus venosus Hovii im menschlichen Auge auch nicht vorhanden. Dieser Circulus venosus Hovii, der in der berühmten Dissertation von Hovius de circulari motu in oculis beschrieben wurde, ist nichts Anderes als eine grosse Venenanastomose zwischen den Aesten der Vasa vorticosa, die den hinteren Rand des Tensor chorioideae umfasst, während der wahre Canalis Fontanae nach vorn vom Tensor chorioideae liegt.

Ausser ihrer Verbindung mit der Sclera und Cornea hat die Uvea noch eine Verbindung mit der Zonula Zinnii, die darin besteht, dass die Ciliarfortsätze in den Falten der Zonula Zinnii stecken und mit letzterer

verbunden sind. Da andererseits die Zonula Zinnii sich an die Linsenkapsel ansetzt, so ist hiemit eine indirecte Verbindung zwischen der Linsenkapsel und der Tunica uvea hergestellt. Es ist aber unrichtig, wenn behauptet wird, dass die Ciliarfortsätze selbst bis an die Linse heranreichen. Es ist dies an der Leiche nicht der Fall und auch nicht im Leben. Man kann sich davon überzeugen an Albinos, d. h. an solchen Individuen, bei welchen mit den übrigen sonst mehr oder weniger pigmentirten Geweben die Uvea und ihre Auskleidung nicht pigmentirt und deshalb durchscheinend ist, so dass die Augen durch die Farbe des Blutes roth erscheinen. Bei diesen kann man bei passender Beleuchtung durch die Iris hindurch erstens den Rand der Linse und zweitens auch die Enden der Ciliarfortsätze sehen. Professor Otto Becker hat mir einmal einen solchen Albino vorgestellt, den er selbst bereits untersucht hatte, und bei dem man sich mit Leichtigkeit überzeugen konnte, dass sowohl bei der Accommodation für die Nähe, als auch beim Sehen in die Ferne, kurz unter allen Umständen immer noch ein kleiner Raum zwischen den Enden der Ciliarfortsätze und der Linsenkapsel blieb.

Dagegen ruht die Iris mit ihrem Pupillarrande auf der Linse auf, wie dies in dem bekannten Augendurchschnitte von Arlt dargestellt worden ist, und schleift bei ihren Bewegungen auf der Oberfläche der Linse. Damit hängt die Ruhe und die Regelmässigkeit ihrer Bewegungen zusammen, denn bei Augen, bei welchen die Linse aus ihrer Lage gebracht oder extrahirt ist, sieht man nicht selten die Iris schlottern, kleine wellenförmige Bewegungen an ihrem Pupillarrande ausführen. Mit dem Schleifen des Pupillarrandes auf der Linse hängt es auch zusammen, dass, wenn die Iris sich contrahirt, der Pupillarrand etwas nach vorn geht, und, wenn die Pupille sich erweitert, der Pupillarrand etwas zurückweicht. Es ist dies die natürliche Folge davon, dass die vordere Fläche der Linse convex ist. Man kann sich von diesen Verhältnissen am besten durch ein kleines Instrument überzeugen, welches bereits von Petit angegeben wurde, das aber dann in Vergessenheit kam und in neuerer Zeit von Czermak wieder selbstständig erfunden wurde. Es besteht in einem Kasten mit rechtwinkelig gegen einander gestellten Seitenwänden, die aus planparallelen Gläsern gemacht sind. An diesem Kasten fehlt die obere und die hintere Wand, und die untere, die innere, für die Nasenseite bestimmte, und die äussere, für die Schläfenseite bestimmte sind so ausgeschnitten, dass das Instrument an Wange und Schläfe genau angelegt werden kann. Dieser Kasten wird fest angedrückt und mit Wasser gefüllt, dann kann man von der Seite hineinsehen und sieht nun die vordere Kuppe der Linse und die auf derselben schleifende Iris in ihrer natürlichen Lage. Dass man die Iris und die Linsenkapsel ohne ein solches Instrument nicht in ihrer natürlichen Lage sieht, beruht ja darauf, dass die Cornea eine convexe brechende Oberfläche hat. Da nun aber der Humor aqueus näherungsweise die Dichtigkeit des Wassers hat, und andererseits die Cornea an ihrem Rande nur wenig dicker ist als in der Mitte und daher nahezu wie ein gekrümmtes Planglas wirkt, so sehen wir, wenn wir eine solche Wasserschicht vor die Cornea gelegt haben, in welche wir durch eine plane Oberfläche hinsehen, indem die Brechung der convexen Oberfläche der Cornea aufgehoben ist, die Theile in der Tiefe der vorderen Augenkammer in ihrer wahren Lage. Man kann sich dann überzeugen, dass

die Iris bei mittlerem Stande der Pupille meist ziemlich eine Ebene bildet, dass, wenn die Pupille sich verengert, die Iris einen flachen abgestumpften Kegel nach vorn bildet, und dass, wenn die Pupille sich stark erweitert, der Pupillarrand der Iris sich nach rückwärts begibt, bisweilen in solchem Grade, dass die Fläche der Iris vom Ciliarrande gegen den Pupillarrand hin deutlich nach rückwärts gekrümmt erscheint.

Eine Zeit lang glaubten Viele, dass die ganze hintere Oberfläche der Iris, nicht nur der Pupillarrand derselben, auf der Linse aufliege. Das ist aber nur bei neugeborenen Kindern der Fall. Es ist deshalb nicht wahr, dass auch bei Erwachsenen eine hintere Augenkammer nicht existire. Es existirt eine solche im alten Sinne des Wortes. Es ist nur keine so breite Communication zwischen vorderer und hinterer Augenkammer, als früher angenommen wurde, als man nicht wusste, dass der Rand der Iris auf der Oberfläche der Linse aufruht.

Retina.

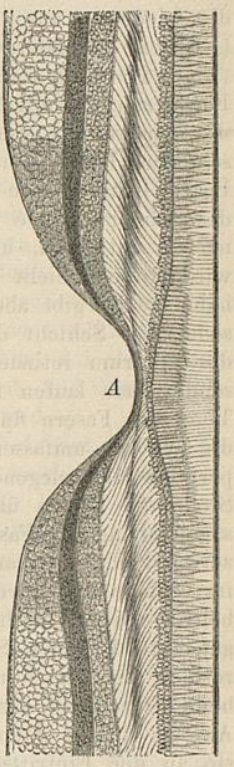
Wir kommen jetzt zur dritten Schicht der Augenhäute, zu der Retina und zur Zonula Zinnii. Die Retina ist als die vordere, peripherische Ausbreitung des N. opticus anzusehen. Man kann sie aber nicht mit der peripherischen Ausbreitung eines gewöhnlichen sensiblen Nerven vergleichen, sondern man muss sie als einen Theil des Centralnervensystems ansehen, der in ein Sinnesorgan, in das Auge hinein, vorgeschoben ist.

Die Retina wird nach vorn durch die sogenannte Ora serrata begrenzt. Hier hören die nervösen Elemente mit einem gezackten Rande (Ora serrata) auf. Es setzt sich aber noch eine Schicht von Zellen fort, welche zwischen der Pigmentauskleidung der Chorioidea und der Zonula Zinnii liegt. Diese Zellenschicht ist zu verschiedenen Zeiten als Pars ciliaris retinae beschrieben worden. Wir wissen heutzutage, dass diese Partie keine Lichteindrücke mehr empfängt, wir lassen deshalb die Netzhaut mit der Ora serrata endigen.

Die Retina selbst besteht aus folgenden Schichten. Erstens aus der sogenannten Stäbchenzapfenschicht (Figur 25 *a*). Die Stäbchen sind palissadenartige, helle, durchsichtige Gebilde, welche sich nach dem Tode sehr bald verändern, namentlich wenn sie mit Wasser oder anderen Flüssigkeiten in Berührung kommen, sich krümmen, sich der Quere nach in plattenartige Stücke aufblättern u. s. w. Sie sind mit ihren Enden in das Protoplasma und zwischen das Pigment der sechseckigen Zellen eingesenkt, die das Innere der Chorioidea auskleiden. Diese so eingepflanzten Palissaden sind nach einer Entdeckung von Boll im Leben mehr oder weniger stark roth gefärbt, um so stärker, je weniger sie dem Lichte ausgesetzt waren. Kühne fand, dass man vermöge dieses lichtempfindlichen Roth auf der Netzhaut förmlich photographiren könne. Es gelang ihm auch, mittelst Gallensäuren den rothen Farbstoff als solchen auszuziehen und in Lösung zu bringen. Man hat dieses Roth Sehroth, auch Sehpurpur genannt. Zwischen ihnen stehen andere Gebilde, die man mit dem Namen der Zapfen bezeichnet. Diese Zapfen, Coni, sind namentlich in ihrem unteren Theile dicker als die Stäbchen. Sie bestehen aus einem Innengliede, welches in die nächstfolgende Schicht eingesenkt ist und sich mit Carmin roth färbt, und aus einem äusseren konischen Gliede, welches sich

mit Carmin nicht oder weniger färbt, glashell, durchsichtig und zwischen die Stäbchen eingeschoben ist, so dass das Ganze die Form einer sehr langen, dünnen Flasche erhält. Van Genderen, Stort und Engelmann haben beobachtet, dass die Innenglieder der Zapfen sich auf Lichteinwirkung verkürzen, doch scheint die Lichtempfindung hiermit nicht in unmittelbarer Verbindung zu stehen, denn wenn man gleichzeitig das andere Auge bedeckt und später auch dieses untersucht, so findet man auch in diesem die Innenglieder der Zapfen verkürzt. Dasselbe findet man an Fröschen, die mit Strychnin vergiftet sind. Auch die Zeit stimmt nicht, indem die Verkürzung langsamer eintritt und langsamer wieder verschwindet, als dies von der Lichtempfindung vorausgesetzt werden kann. Es erwächst aber andererseits aus den gemachten Versuchen die sehr merkwürdige Thatsache, dass zu den Zapfen und, wie sich zeigte, auch zum Pigmentepithel reflectorisch, also auch in centrifugaler Richtung, Impulse fortgepflanzt werden. Es wurden die Augen von Fröschen durch Kopfkappen geschützt und dann der Körper gleichzeitig berieselt und belichtet. An den im Dunkeln exstirpirten Augen fanden sich ähnliche Veränderungen vor, als ob sie belichtet worden wären.

Fig. 25.



Die Zapfen sind nicht überall gleichmässig in der Netzhaut vertheilt. Sie sind in grösster Menge an der Stelle der Netzhaut vorhanden, mit welcher wir am deutlichsten sehen, und auf welcher wir deshalb die Gegenstände abzubilden suchen, die wir sehen wollen. Diese Stelle bezeichnen wir mit dem Namen des Centrum retinae. Sie ist im todten Auge gekennzeichnet durch einen gelben Fleck, die Macula lutea oder Macula flava retinae. In dessen Mitte liegt eine kleine Grube, die wir mit dem Namen der Fovea centralis retinae bezeichnen (Figur 25 *A*). An dieser Stelle, die nach Kühne's Untersuchungen nicht immer wie die übrige Macula gelb gefärbt, sondern bisweilen farblos oder doch weniger gefärbt ist, finden sich nur Zapfen, ohne dass Stäbchen zwischen sie eingeschlossen wären. Je weiter man sich aber von ihr entfernt, um so mehr Stäbchen treten auf, und zwar zuerst nur ein einfacher Ring um jeden Zapfen, später in grösserer Menge.

Die zweite Schicht ist die sogenannte äussere Körnerschicht (Figur 25 *r*), die aus kernartigen Gebilden besteht, welche mit feinen Fäden zusammenhängen, die sich an das System von Fäden anschliessen, das in senkrechter Richtung, das heisst senkrecht auf der Oberfläche des Glaskörpers, die Retina durchzieht. Dann kommt eine Schicht, an der sich keine bestimmte Structur erkennen lässt, die im frischen Zustande durchsichtig ist, in der

---

Figur 25 stellt einen Durchschnitt durch das Centrum retinae nach Max Schultze dar.

man nur feine radiäre Fäden durchgehen sieht, und die an in Chromsäure oder Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Augen fein gekörnt erscheint. Diese Schicht heisst deshalb die molekuläre Schicht (Figur 25 *p*). Sie verdickt sich gegen den gelben Fleck bedeutend, und die Fasern, die sonst die Schichten der Retina senkrecht oder nahezu senkrecht durchsetzen, richten sich hier in der Weise schief, dass, wenn man ihren Verlauf von aussen nach innen verfolgt, sie sich immer mehr vom Centrum retinae entfernen (siehe Figur 25). Unter dem Boden der Fovea centralis verdünnt sich diese Schicht wie alle folgenden auf ein Minimum. Ihr folgt eine Lage, die wiederum aus kernartigen Gebilden besteht, die innere Körnerschicht (Figur 25 *q*), dann wieder eine ähnliche molekuläre, eine Zwischenschicht (Figur 25 *c*), und hierauf eine Lage von Ganglienzellen (Figur 25 *d*) mit Fortsätzen, die mit Nervenfasern in Verbindung stehen. Dann folgt endlich die Ausbreitung dieser letzteren (Figur 25 *s*). Sie hat eine sehr verschiedene Dicke je nach dem Orte der Retina, welchen man durchschneidet. Begreiflicher Weise ist sie am dicksten unmittelbar an der Eintrittsstelle des Sehnerven. Je mehr sich die Bündel von der Eintrittsstelle des Sehnerven entfernen, um so mehr Fasern finden ihre Endigung, und daher wird diese Schicht um so dünner, je mehr man sich der Ora serrata nähert. Es gibt aber noch eine andere Stelle der Netzhaut, an welcher sich diese Schicht der Retina auf ein Minimum verdünnt, und diese ist das Centrum retinae. Durch dieses geht keine einzige Sehnervenfaser, sondern sie laufen theils direct, theils im Bogen zu derselben hin. Ein Theil der Fasern findet hier in der Fovea centralis seine Endigung, und die anderen umfassen bogenförmig das Centrum retinae, um in den mehr peripherisch gelegenen Theilen ihre Endigung zu suchen. Da an dieser Stelle die Retina überhaupt verdünnt ist und namentlich hier keine zusammenhängende Faserschicht existirt, so ist sie an dieser Stelle besonders zerreisslich, und man findet die Netzhaut deshalb an Leichen nicht selten im Grunde der Fovea centralis retinae mit einem kleinen Loche durchbohrt. Diese Durchbohrung, die am Lebenden nicht existirt, ist das sogenannte Foramen Sömmeringii. Die Sehnervenfasern für das Centrum retinae und dessen nächste Umgebung, Grube und gelben Fleck, scheinen beim Durchtritt des Sehnerven durch das Foramen opticum in dessen Axe zu liegen, dann aber schräg und schläfenwärts zu verlaufen, so dass sie an der Eintrittsstelle des Sehnerven in den Bulbus ein keilförmiges Bündel an der Schläfenseite des ersteren bilden.

Die Retina ist im lebenden Zustande durchsichtig. Man kann sich davon überzeugen, wenn man irgend einem Thiere die Augenlider öffnet und ihm dann den Kopf unter Wasser taucht, so dass man, ähnlich wie mit dem Petit'schen Kästchen, in das Auge des Thieres hineinsehen kann. Man kann sich aber auch am lebenden Menschen durch den Augenspiegel davon überzeugen. Nach dem Tode wird die Retina trübe. Dass die Retina durchsichtig sei, erfordert natürlich, dass die Sehnervenfasern ihr Mark verlieren, wenn sie einmal in die Retina eingetreten sind und sich in derselben verbreiten. Das ist auch beim Menschen normaler Weise der Fall. Bei manchen Thieren aber, z. B. beim Kaninchen und Hasen, existiren zwei Faserbüschel, die nach entgegengesetzter Richtung ausstrahlen und aus markhaltigen und deshalb weissen Fasern bestehen. Beim Menschen kommt dies als Anomalie vor, und bei solchen Menschen hat

deshalb der blinde Fleck, von dem wir später sprechen werden, eine grössere Ausdehnung und eine andere Gestalt als im normalen Auge.

Die grossen Blutgefässe der Retina verlaufen auf der Innenfläche derselben als Arteria und Vena centralis retinae mit ihren Aesten. Die Hauptmasse des Gefässnetzes liegt auf der inneren Oberfläche der Sehnervenfaserschicht: wo dieselbe noch dick ist, gehen auch kleinere Aestchen und Capillaren in die Tiefe hinein, so dass sie die Sehnervenbündel umspinnen. Einzelne Capillaren dringen bis in die innere Körnerschicht, ja bisweilen selbst bis in die Zwischenkörnerschicht vor.

Die Retina ist nach innen von einer glashellen Haut, der Membrana limitans Pacini (Figur 25 *l*) begrenzt. Mit dieser steht ein grosser Theil der die Retina senkrecht durchsetzenden Fasern in Verbindung, die gegen dieselbe hin spitzbogenförmige Arkaden bilden, in deren Lichtungen die Bündel der Sehnervenfasern eingebettet sind. Man hat diese Membrana limitans Pacini auch als Membrana limitans interna unterschieden, indem Max Schultze an der äusseren Grenze der Körnerschicht, zwischen ihr und der Stäbchenzapfenschicht, auch eine festere Grenzschicht unterschieden hat, welche er als Membrana limitans externa bezeichnete. Es muss aber bemerkt werden, dass diese letztere Membran kein so selbstständiges und für sich abziehbares Gebilde darstellt wie die Membrana limitans interna; man hat sie sich vielmehr als ein Gitterwerk zu denken, das sich an erhärteten Netzhäuten durch seine Consistenz unterscheidet, und durch dessen Maschenräume die einzelnen Elemente durchgesteckt sind.

Nachdem wir die histologischen Elemente der Netzhaut kennen gelernt haben, kommen wir zu der wichtigen Frage, welche Elemente es sind, die dem Lichte als erster Angriffspunkt dienen. Es ist schon von vornherein klar, dass dies nicht die Nervenfasern in ihrem Verlaufe sein können, da alles deutliche Sehen darauf beruht, dass auf der Netzhaut Localzeichen erzeugt werden, welche einzeln und gesondert zum Gehirne gebracht werden. Wenn aber dergleichen Localzeichen im Verlaufe einer Faser erzeugt werden könnten, so würden gleichzeitig verschiedene auf ein und dieselbe Faser fallen können, und es würde dadurch eine Verwirrung der Eindrücke entstehen. Das Princip, nach welchem diese Eindrücke empfangen werden, muss das sein, dass sie zunächst auf mosaikartig angeordnete Gebilde übertragen werden, die einzeln entweder direct oder indirect mit den Sehnervenfasern in Verbindung stehen. Ein Versuch von Heinrich Müller, den wir später beschreiben werden, hat überdies gezeigt, dass der Angriffspunkt für das Licht gar nicht auf der vorderen Seite der Netzhaut liegen kann, sondern dass er an der andern Seite, nahe der Chorioidea liegen muss. Er hat gezeigt, dass er in der Stäbchenzapfenschicht liegen muss. Fragen wir da nun wieder, ob es die Stäbchen oder die Zapfen sind, welche wir mit Wahrscheinlichkeit als diejenigen bezeichnen können, die zunächst erregt werden, so müssen wir sagen, dass es wahrscheinlicher ist, dass wir die Zapfen dafür in Anspruch zu nehmen haben. In der Fovea centralis retinae sehen wir am deutlichsten, hier haben wir das feinste Unterscheidungsvermögen, also auf einem gegebenen Raume die grösste Summe von Localzeichen; hier aber befinden sich gar keine Stäbchen, sondern nur Zapfen. Je weiter wir zu den Seitentheilen der Netzhaut fortschreiten, je mehr wir ins indirecte Sehen hineinkommen, um so mehr Stäbchen finden wir zwischen die Zapfen eingelagert, und

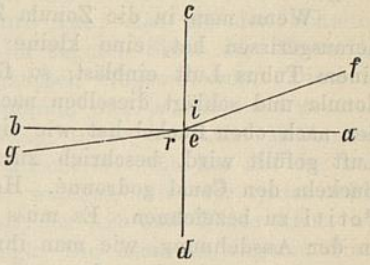
um so geringer wird auch unser Unterscheidungsvermögen. Man hat deshalb auch eifrig nach dem nervösen Zusammenhange zwischen den Zapfen und den Sehnervenfasern geforscht, ist aber über die Art desselben noch nicht völlig einig. Die erste Verbindung eines Zapfens mit einer Nervenzelle beschrieb schon im Jahre 1853 von Vintschgau, während man andererseits wusste, dass die Nervenzellen (Ganglienkugeln) Fortsätze aussenden, die mit den Sehnervenfasern in Verbindung stehen. Wenn aber nicht die einzelnen Opticusfasern noch aus Fibrillen zusammengesetzt sind, so kann nach den von Fr. Salzer im hiesigen Laboratorium vorgenommenen Zählungen nicht jeder Zapfen seine eigene Faser bekommen, denn darnach mögen die Zapfen die Opticusfasern an Zahl um das Sechs- bis Achtfache übertreffen. Da die Sehschärfe der Seitentheile der Netzhaut sehr weit hinter der des Centrum retinae zurücksteht, so ist es möglich, ja wahrscheinlich, dass jeder Zapfen der Fovea centralis seine eigene Leitung hat, die Nervenfasern aber, welche auf den mehr peripherisch gelegenen Regionen endigen, sich verzweigen und gleichzeitig mehrere Zapfen versorgen. E. v. Fleischl hat es ferner durch physiologische Gründe wahrscheinlich gemacht, dass dann hier die Aeste jeder einzelnen Faser nicht an eine geschlossene Gruppe von Zapfen gehen, sondern sich über ein grösseres Gebiet verbreiten, in dem auch Zapfen stehen, welche von anderen Fasern versorgt werden. Ob die Stäbchen bei der Lichtperception direct betheiligt sind oder nicht, wissen wir bis jetzt nicht. Es spricht dafür bis jetzt kein einziger haltbarer Grund. Wir wissen auch nicht, ob sie überhaupt mit Opticusfasern in Verbindung stehen. Aber das können wir sagen, dass auf alle Fälle ihre palissadenartige Gestalt und ihre mosaikartige Anordnung für das Sehen von Bedeutung ist. Es geht dies aus folgender Betrachtung hervor.

Das deutliche Sehen kommt dadurch zu Stande, dass ein Lichtkegel von einer bestimmten Farbe ein einzelnes Nervenelement erregt. Nun ist die Retina durchsichtig, er geht also durch das Nervenelement hindurch, gelangt zur Chorioidea und wird hier beim Menschen zum grossen Theile durch das Chorioidealpigment absorbirt. Alles Licht wird aber hier nicht absorbirt, wie dies heutzutage aus den Augenspiegelbeobachtungen hinreichend bekannt ist, wo wir ja die Dinge im Auge nur vermöge des Lichtes sehen, das aus demselben zurückkommt. Noch viel mehr Licht wird aber bei manchen Thieren reflectirt, z. B. bei den Katzen, Hunden, Schafen, Rindern u. s. w. Bei diesen liegt auf der pigmentirten Chorioidea zwischen dem Stroma derselben und dem Capillargefässnetz eine eigene Schicht, das sogenannte Tapetum oder die Membrana versicolor Fieldingii. Diese besteht bei den Carnivoren aus Zellen, bei Herbivoren aber und bei allen denjenigen Beutelthieren, welche ein Tapetum haben, aus Fasern. Bei allen diesen Thieren hat sie aber das gemein, dass sie Interferenzfarben gibt und eine grosse Menge von Licht reflectirt. Wenn man die Fasern des Tapetum des Rindes bei schwacher Vergrösserung unter das Mikroskop legt, so sieht man sie darunter im auffallenden Lichte in schönen Farben, und wenn man das auffallende Licht abblendet und durchfallendes Licht macht, so sieht man in diesem die complementären Farben, zum Beweise, dass man es hier mit Interferenzfarben, mit sogenannten Newton'schen Farben zu thun habe. Dieses Tapetum reflectirt also eine grosse Menge von Licht, und wenn dieses Licht unregelmässig zerstreut auf die Netzhaut zurück-

kommen würde, so würde dadurch eine Verwirrung in den Eindrücken entstehen. Nun bilden aber die Stäbchen mit den zwischen ihnen liegenden Aussengliedern der Zapfen einen Apparat, vermöge dessen das Licht auf seinem Rückwege grösstentheils wieder durch das Nervenelement hindurchgehen muss, durch welches es eingefallen ist. Das beruht auf der totalen Reflexion.

Denke ich mir (Figur 26) eine Trennungsfläche *a b* zwischen zwei Medien und errichte ich mir darauf eine Senkrechte *c d* und denke mir, ich hätte einen einfallenden Strahl *f e*, so ist *i* der Einfallswinkel. Wenn ich annehme, dass das zweite Medium dünner ist als das erste, so müssen die Strahlen vom Einfallslothe abgebrochen werden. Der Brechungswinkel *r* ist also grösser als der Einfallswinkel *i*. Nach der Fundamentalgleichung der Dioptrik ist $\frac{\sin i}{\sin r} = c$, wobei *c* eine Constante vorstellt, welche man erhält, wenn man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im ersten Medium dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im zweiten Medium. Da diese Constante in unserem Falle kleiner als 1 ist, so muss beim Wachsen von *i* der *sin r* schon gleich 1 werden, wenn *sin i* noch kleiner als 1 ist. Wächst dann *i* noch weiter, so erhalten wir durch unsere Gleichung für *sin r* einen Werth, der grösser ist als 1. Nun gibt es aber keinen Sinus, der grösser ist als 1, und unser Resultat hat keinen anderen Sinn als den, dass hier kein gebrochener Strahl mehr existirt, sondern dass alle Strahlen reflectirt werden.

Fig. 26.



Nimmt man ein leeres Reagirglas und taucht es ins Wasser, so erhält es einen metallischen Glanz. Das beruht darauf, dass eine sehr grosse Menge Lichtes wegen der schiefen Incidenz an der inneren Oberfläche, wo es in die Luft übergehen sollte, reflectirt wird, eine Menge, die ähnlich gross ist wie die, welche ein metallischer Körper reflectirt. Die stabförmigen Körper nun sind stark lichtbrechend und sind von einander getrennt durch eine schwächer brechende Zwischensubstanz. Diese trifft alles Licht, welches einmal in einen solchen Stab eingetreten ist, unter sehr schiefer Incidenz, es wird deshalb total reflectirt, es ist gewissermassen eingesperrt und muss, abgesehen von dem, was etwa nach dem Austritte am äussersten Ende zerstreut wird, auf demselben Wege zurück, auf dem es gekommen ist. Die Hauptmasse des zurückkommenden Lichtes geht also durch dasselbe Netzhautelement, das es schon auf dem Hinwege getroffen hat. Hieraus erklärt es sich, dass die Thiere mit einem Tapetum nicht nur nicht schlechter sehen als wir, sondern dass sie in der Dämmerung sogar viel besser sehen als wir. Beim Menschen kommt das Licht, das durch die Netzhaut hindurchgeht, grösstentheils nur einmal zur Wirkung. Bei diesen Thieren aber kommt eine viel grössere Menge Lichtes zurück. Dieses Licht, das zurückkehrt, verbrauchen sie ein zweites Mal, es muss also dieselbe Lichtmenge eine stärkere Erregung in ihrer Netzhaut hervorrufen, als dies bei Thieren der Fall ist, die kein Tapetum haben. Möglicherweise ist auch bei den Zapfen blos das Innenglied der eigentliche Angriffspunkt für das Licht, und das Aussenglied des Zapfens, das

zwischen den Stäbchen steckt, ist vielleicht nur ein Theil des katoptrischen Apparates des Auges, der dazu dient, durch totale Reflexion die Strahlen wieder auf dasselbe Element zurückzubringen, durch welches sie eingefallen sind.

Zonula Zinnii.

Die Zonula Zinnii entsteht an der Ora serrata retinae, geht unter Aufnahme von Verstärkungsfasern, welche theils von den Ciliarfortsätzen, theils aus den Tiefen zwischen denselben entspringen, nach vorwärts, faltet sich wie eine Halskrause und setzt sich mit auf- und absteigenden Falten an die Linse an, und zwar, wenigstens grösstentheils, an den vorderen Theil der Linse, indem die absteigenden Falten den grössten Kreis derselben wenig oder gar nicht überschreiten. In diese Falten sind, wie wir gesehen haben, die Ciliarfortsätze hineingesteckt, und da diese Falten sich andererseits wieder an der Linse befestigen, so ist dadurch eine Verbindung zwischen dem Ciliartheile der Chorioidea und der Linse gegeben.

Wenn man in die Zonula Zinnii, nachdem man die Ciliarfortsätze herausgerissen hat, eine kleine Oeffnung macht und von oben her mit einem Tubus Luft einbläst, so fängt sich die Luft unter den Falten der Zonula und schlägt dieselben nach aufwärts. Dadurch entsteht ein Kanal, der nach oben Buckel hat wie eine Halskrause. Diesen Raum, der so mit Luft gefüllt wird, beschrieb zuerst Petit und nannte ihn nach seinen Buckeln den Canal godronné. Heutzutage pflegt man ihn als den Canalis Petiti zu bezeichnen. Es muss aber bemerkt werden, dass dieser Raum in der Ausdehnung, wie man ihn hier darstellt, nicht im lebenden Auge vorhanden ist, sondern dass es erst möglich ist, ihm durch Lufteinblasen diese räumliche Ausdehnung zu geben, nachdem man die Ciliarfortsätze aus den Falten der Zonula herausgerissen hat. So lange diese darin stecken, existirt nur ein capillarer Raum zwischen den absteigenden Falten der Zonula und dem darunter liegenden Glaskörper.

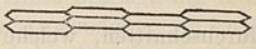
Früher hat man die Zonula für eine continuirliche Membran gehalten, welche in der beschriebenen Weise in Falten gelegt sei. Aber schon im Frühjahr 1870 sind mir von Professor Vlacovitsch in Padua Präparate zugeschickt worden, an welchen man sehen konnte, dass Oeffnungen in der Zonula waren, und dass dieselbe aus Fasern bestand, welche zur Linse hingingen und sich, indem das Auge in Terpentinöl gehärtet worden war, in einzelne Stränge zusammengezogen hatten. Zu demselben Resultate ist auch Schwalbe gekommen, indem er fand, dass lösliches Berlinerblau, das er in die vordere Augenkammer einspritzte, in den Canalis Petiti eindrang. Nun fragt es sich: Wie ist es den möglich, dass man doch die Zonula Zinnii als Ganzes aufblasen und dadurch den Canalis Petiti in der alten Weise darstellen kann, wenn sie kein Continuum ist, sondern aus einer Menge von radiären Fasern besteht? Man kann sich dies nur daraus erklären, dass die sehr feinen, radiären Fasern durch die anhaftende Flüssigkeit aneinander kleben und deshalb, so lange sie nass sind, ein Continuum bilden, wenn aber das Auge in Terpentinöl gehärtet ist, ihre Continuität verlieren und sich in einzelne Bündel strangförmig zusammenlegen. In neuerer Zeit ist Chr. Aeby wieder für den membranösen Charakter der Zonula eingetreten. Er hält die erwähnten

Spalten für künstlich. Die Zonulafasern als solche sind in gehärtetem und gefärbtem Zustande leicht und sicher zu beobachten. Ihre Bündel sind platt, d. h. relativ zu ihrer Dicke verhältnissmässig breit, und verlaufen, soweit sie analoge Ursprünge und analoge Anheftungen haben, parallel neben einander. Doch sollen sie nach Wilh. Czermak auch verzweigt und unter einander netzförmig verbunden sein. Ein Theil derselben entspringt nach Berger und nach Czermak von den Firsten der Ciliarfortsätze. Zweifelhaft kann es nur sein, ob die nebeneinander liegenden Fasern im Leben noch durch eine, jedenfalls sehr dünne Membran miteinander verbunden sind oder nicht. Bei der complicirten Anordnung der Fasern, wie man sie jetzt kennt, könnte sich diese Verbindung schwerlich auf die Gesammtheit derselben erstrecken. Die Zonula führt uns zur Linse.

Die Linse.

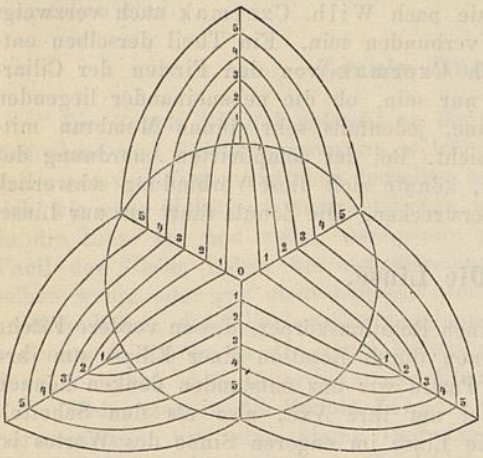
Wir finden dieselbe als einen Rotationskörper, dessen vordere Fläche wir uns entstanden denken können durch Rotation einer Ellipse um ihre kleine Axe, und deren hintere Partie wir uns entstanden denken können durch Umdrehung einer Parabel um ihre Axe, also als den Scheitelabschnitt eines Paraboloids. Die Linse im engeren Sinne des Wortes ist von einer häutigen Kapsel, der Linsenkapsel, eingeschlossen. Diese ist eine Glashaut, wie die Descemet'sche Membran, und ist wie diese structurlos. Die Dicke ihrer vorderen Hälfte beträgt 0,008 bis 0,019 Millimeter, die der hinteren nur 0,005 bis 0,012 Millimeter. Sie hat auf der vorderen Hälfte nach innen zu ein Epithel, welches, wie wir später sehen werden, in innigem Zusammenhange mit der Art und Weise steht, wie sich die eigentliche Linsensubstanz erzeugt. Die Linse im engeren Sinne des Wortes besteht aus sechskantigen Fasern, die so aufeinander gelagert sind, dass der kleine Durchmesser des sechseckigen Durchschnittes immer radial, also senkrecht auf die Schicht gestellt ist, während der grösste Durchmesser des Sechsecks immer in tangentialer Ebene liegt. Die einzelnen Sechsecke sind dabei so aneinandergelagert, dass sie alternirend, wie Bausteine, liegen. (Siehe Figur 27.) Aus solchen Fasern ist nun die ganze Linse gewissermassen aufgewickelt. Die Art, wie dies geschieht, ist eine ziemlich complicirte. Man kann sich aber darin leicht eine Einsicht verschaffen, wenn man sich einen Kreis vorstellt, in dem vom Mittelpunkte aus drei Strahlen so ausgehen, dass sie miteinander Winkel von 120° einschliessen. Der Punkt, von dem die Strahlen ausgehen, soll dem vorderen Pole der Linse entsprechen, wir bezeichnen ihn mit 0, und von da aus schreiben wir auf jeden Strahl in gleichen Abständen von einander und vom Nullpunkte die Ziffern 1, 2, 3, 4, 5 auf. (Siehe Figur 28.) Nun denkt man sich an der Rückseite der Linse einen Punkt, der dem hinteren Pole der Linse entspricht, von dem aus ebensolche drei Strahlen ausgehen wie vom vorderen Pole, die aber mit den Strahlen an der vorderen Fläche in der Art alterniren, dass die Durchschnittspunkte des grössten Linsenkreises mit den Strahlen an der vorderen Fläche von den Durchschnittspunkten eben dieses Kreises mit den Strahlen an der hinteren Fläche immer um eine Bogenweite von 60° abstehen. Auf die Strahlen der

Fig. 27.



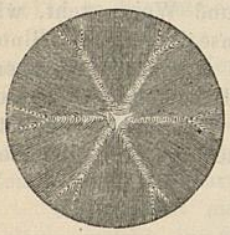
hinteren Fläche schreibt man nun ebenfalls die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, aber so, dass 1 am Rande und 5 am Pole der Linse steht, und dann verbindet man durch gedachte Faserzüge jede Zahl der vorderen Fläche mit der ihr zunächstliegenden gleichnamigen der hinteren Fläche. Dann erhält man die beistehende Figur, die in ihrem Kreisfelde die geometrische Projection der Faserung der vorderen Fläche gibt, und deren drei Lappen nach rückwärts zusammengeklappt die Faserung der hinteren Fläche geben würden. So ist der Kern der menschlichen Linse angelegt, so die ganze Linse vieler Säugethiere. Beim Menschen wird der Bau der oberen Schichten complicirter, indem diese drei Axen sich zweimal verzweigen, so dass in der Regel 12 Endäste vorhanden sind, wie es Figur 29 zeigt.

Fig. 28.



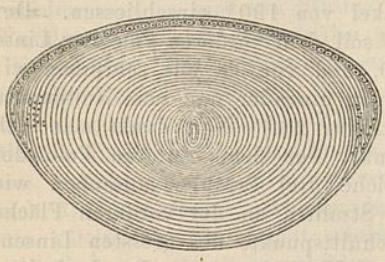
Am einfachsten sind die Linsen der Nagethiere: hier sind die drei Axen auf zwei reducirt, die zusammen eine gerade Linie bilden.

Fig. 29.



Denkt man sich die Linse durchschnitten, so bemerkt man, dass die Schichten sich, je mehr man nach innen kommt, der Kugelgestalt nähern. Endlich gehen sie sogar über in die Gestalt eines Rotationsellipsoids, welches entstanden ist durch Umdrehung einer Ellipse um ihre grosse Axe, und diese liegt nun in der Axe der Linse. In beistehender Figur 30 ist dies dargestellt nach den Linsendurchschnitten, welche O. Becker in seinem Werke über die Anatomie der gesunden und kranken Linse abgebildet hat. Man bemerkt daran erstens, dass die vorderen und hinteren Oberflächen immer convexer werden, und zweitens, dass der Kern der Linse nicht in einer Ebene liegt, die man sich durch den grössten Kreis der Linse gelegt denkt, sondern hinter dieser Ebene, so dass die Oberfläche, welche man sich durch sämmtliche grösste Kreise der Linsenschichten gelegt denkt, nach hinten convex, nach vorn concav ist. Zugleich nimmt der Brechungsindex von aussen nach innen immer mehr zu. Die Substanz der Linse ist eben im Kerne am dichtesten, an der Oberfläche am wenigsten dicht. Daraus folgt, dass das

Fig. 30.



Licht beim Eintritte in jede neue Schicht von Neuem gebrochen wird, so dass es also, da diese Schichten ausserordentlich dünn sind, nicht geradlinig hindurchgeht, wie durch eine Glaslinse, sondern einen krummlinigen Weg durch die Linse macht. Daher rührt es, dass die Linse eine viel kürzere Brennweite hat, als man ihr nach der Gestalt ihrer Oberflächen und nach ihrer mittleren Dichtigkeit zuschreiben sollte. Ja, sie hat sogar eine kürzere Brennweite, als sie haben würde, wenn sie homogen gebaut wäre und in ihrer ganzen Substanz den hohen Brechungsindex des Kernes hätte. Daher rührt es auch, dass die älteren Physiker, die sich mit der Berechnung der Brennweite des Auges beschäftigen, niemals zu einem brauchbaren Resultate gelangten, da sie immer herausbrachten, dass die Strahlen sich erst hinter der Netzhaut zu einem Bilde vereinigen könnten, während doch die Beurtheilung des Sehprocesses dazu führte, dass die Strahlen sich in der Netzhaut zu einem Bilde vereinigen müssen. Hiermit sind aber die elementaren Betrachtungen über die optische Wirkung der Linse nicht erschöpft. S. Exner fand an Durchschnitten von Insectenaugen, dass planparallele Durchschnitte der sogenannten Krystallconi Bilder gaben. Er leitete dies davon her, dass der Brechungsindex ihrer Substanz von der Oberfläche gegen die Axe hin zunehme. Er goss nun Leimcylinder und konnte denselben die Wirkung von Sammellinsen geben, wenn er ihre Oberfläche im Wasser anquellen liess, dagegen nahmen sie die Eigenschaft von Zerstreuungslinsen an, wenn der Manteltheil durch Verdunstung von Wasser stärker brechbar wurde. Später hat das optische Institut in Jena für ihn gekühlte Glascylinder angefertigt, welche Linsenwirkung zeigten. Der Grund der Erscheinung ist leicht zu übersehen. Denken Sie sich ein Bündel paralleler Strahlen falle parallel der Axe auf die Basis eines homogenen Cylinders, so wird es auf der gegenüberstehenden parallelen Endfläche senkrecht wieder austreten, die Wellenoberfläche wird also nach wie vor eine Ebene sein. Denken Sie sich aber, der Brechungsindex nehme vom Mantel gegen die Axe zu, so werden die Strahlen um so langsamer fortgepflanzt, je näher sie der Axe liegen; die Wellenoberfläche wird also concav, und die Strahlen treten nicht parallel, sondern convergirend aus. Das Gegentheil erfolgt, wenn der Brechungsindex vom Mantel gegen die Axe hin abnimmt. Diese Betrachtung findet auch auf die einzelnen Linsenschichten überall da Anwendung, wo sie in einiger Länge von Strahlen durchsetzt werden, und hierbei sind auch die Kernschichten nicht zu vernachlässigen, welche Rotationsellipsoide um eine mit der Axe der Linse zusammenfallende grosse Axe darstellen.

Der Glaskörper.

Der frische Glaskörper hat eine gallertartige Consistenz. Wenn man ihn aber zerschneidet und auf ein Filter legt, so tropft nach und nach alle Flüssigkeit ab, so dass nur ein ganz geringer Rest von fester Substanz übrig bleibt. Es fragt sich nun, da der Glaskörper offenbar ein Aggregat aus festen und flüssigen Theilen ist, wie die festen Theile darin angeordnet sind. Wenn man Augen sehr lange in Chromsäure liegen lässt, so werden im Glaskörper membranöse Schichten sichtbar. Bei den Haussäugethieren hat Hannover diese Schichten concentrisch gefunden, so dass sie sich nach Art der Schalen einer Zwiebel übereinanderlegen. Beim

Menschen dagegen fand er membranöse Schichten, die radial gegen eine Linie gestellt waren, die man sich von vorn nach hinten im Glaskörper gezogen denkt. Die Membranen waren also hier in ähnlicher Weise wie die Septa in einer Orange gestellt. Es ist nun erstens nicht wahrscheinlich, dass ein so fundamentaler Unterschied zwischen den Säugethieren und den Menschen vorhanden sein sollte, dass bei den einen nur zwiebelschalenförmige, bei den anderen dagegen nur radial gestellte Septa vorhanden wären. Zweitens müsste, wenn nur eine Art von Häuten vorhanden wäre, beim Durchschneiden des Glaskörpers die ganze Flüssigkeit desselben sofort ausfliessen. Das ist aber nicht der Fall. Wenn man den Glaskörper in Stücke zerschneidet und diese einzeln hinlegt, so sieht man sehr langsam und allmälig die Flüssigkeit aus denselben aussickern, bis sie endlich nach längerer Zeit und ganz allmälig zusammensinken. Man wird hiedurch zu dem Schlusse geführt, dass beide Arten von Membranen, sowohl die tangential, als die radial gestellten, im Auge der Säugethiere und des Menschen vorhanden seien, dass aber bei den ersteren die concentrischen, bei den letzteren die radial gestellten stärker entwickelt und daher leichter sichtbar zu machen sind. In neuerer Zeit hat man den Glaskörper mit dem Schleimgewebe verglichen, oder vielmehr man hat ihn unter dasselbe eingereiht. Das Prototyp des von Virchow aufgestellten Schleimgewebes ist die Wharton'sche Sulze im Nabelstrang, mit deren Bau der des Glaskörpers keine Aehnlichkeit hat.

Die äusserste der Häute des Glaskörpers unterscheidet man mit dem Namen der Tunica hyaloidea. Sie liegt in ganzer Ausdehnung der Membrana limitans Pacini an und verbindet sich an der Ora serrata retinae mit dem vordersten Theile derselben. Hier ist sie auch mit der Zonula verbunden, von der sie sich dann wieder trennt, indem sie die hintere Wand des Petit'schen Kanales bildet und sich dann mit der Rückwand der Linsenkapsel verbindet und die tellerförmige Grube auskleidet. Man kann die Sache so auffassen, dass aus dieser Verbindung der Hyaloidea mit der Membrana limitans Pacini die Zonula hervorgehe, die anfangs glatt ist und sich später in Falten legt; einen besonderen Werth kann man aber dieser Auffassung kaum zuschreiben, da die Zonula sich durch ihren faserigen Bau sowohl von der M. limitans Pacini, als auch von der Hyaloidea wesentlich unterscheidet.

Die Bindehaut.

Nach vorn wird der Bulbus von der Tunica conjunctiva bedeckt, welche wir in die Conjunctiva palpebrarum und in die Conjunctiva bulbi eintheilen. Man hat auch ein Bindehautblättchen der Cornea unterschieden, das heisst man hat sich vorgestellt, dass sich die Conjunctiva über die Hornhaut fortsetze. Wenn sich die Conjunctiva auf die Hornhaut fortsetzt, so müssen, da sie eine zusammengesetzte Membran ist, offenbar auch ihre einzelnen Theile sich auf die Hornhaut fortsetzen. Die Conjunctiva besteht aus einem bindegewebigen Stroma, aus einem bedeckenden, geschichteten Epithel, Pflasterepithel auf der Conjunctiva bulbi, Cylinderepithel auf der Conjunctiva palpebrarum und im Fornix conjunctiva, welch' letzteres indessen, wie dies auch an anderen Orten geschieht, in Pflasterepithel umgewandelt sein kann; ferner aus Gefässen und aus Nerven.

Das geschichtete Pflasterepithel geht am Rande der Cornea in das Epithel der Hornhaut über, und wenn man Gefallen daran findet, so kann man letzteres als eine Fortsetzung des Epithels der Conjunctiva betrachten. Das bindegewebige Stroma der Conjunctiva geht nicht über die Hornhaut fort, sondern endet am Rande der durchsichtigen Hornhaut, und wenn dasselbe durch aus den Blutgefässen ausgetretene Flüssigkeit geschwellt wird, bildet es einen wallartigen Rand um die durchsichtige Cornea herum. Die Blutgefässe der Conjunctiva gehen aber auch nicht über die Cornea hinüber. Wir haben allerdings gesehen, dass die Blutgefässe der Hornhaut aus denen der Conjunctiva stammen, dass sie sich aber nicht über die ganze Cornea verbreiten, sondern den Rand derselben nur um ein Geringes überschreiten. Endlich setzen sich die Nerven der Conjunctiva nicht auf die Hornhaut fort. Wir haben gesehen, dass die Nerven der Hornhaut gar nicht aus der Conjunctiva stammen, sondern dass sie von den Ciliarnerven aus der Tiefe kommen. Das Resultat von diesem Allen ist, dass sich die Conjunctiva nicht über die Cornea fortsetzt, dass es kein Bindehautblättchen der Cornea und also auch keine Entzündung desselben gibt, wie sie die älteren Augenärzte annahmen.

Die Conjunctiva reiht sich in ihren Eigenschaften den Schleimhäuten an, und sie hat auch, wie andere Schleimhäute, Schleimdrüsen, die ihr Secret auf ihre Oberfläche ergiessen. Diese Schleimdrüsen sind die Krause-schen Drüsen. Sie wurden von dem älteren Krause zuerst beschrieben, liegen im Bindegewebe über dem Fornix conjunctivae und durchbohren die Conjunctiva selbst mit ihren Ausführungsgängen. Wenn man die Conjunctiva in der gewöhnlichen Weise präparirt, so dass man das hinter ihr liegende Bindegewebe wegnimmt, dann sucht man nach diesen Drüsen vergebens, weil man die Körper derselben mit abgetrennt hat. Man muss das ganze Bindegewebe über dem Fornix conjunctivae herausnehmen, um die Körper, nicht blos die durchbohrenden Ausführungsgänge dieser Drüsen zu erhalten. Kleinere, einfache und wenig tiefe tubulöse Drüsen, vielleicht sind es auch Schleimdrüsen, finden sich in der Conjunctiva palpebrarum.

Die vordere Fläche des Augapfels ist also von dreierlei Secreten befeuchtet: erstens vom Secrete der Thränendrüsen, zweitens von dem der Meibom'schen Drüsen, drittens vom Secrete der Krause'schen Drüsen. Das Secret der Thränendrüsen wird normaler Weise in geringer Menge abgesondert. Wenn aber die Nerven der Conjunctiva gereizt werden, tritt in Folge reflectorischer Erregung Secretion ein. Die Nerven der Thränendrüsen können reflectorisch erregt werden erstens von der Conjunctiva und zweitens von der Nasenschleimhaut aus. Ausserdem können sie aber auch central erregt werden durch Gemüthsaffecte, wo dann reichlicher und andauernder Thränenfluss zu Stande kommen kann. Bei solchem zeigt es sich, dass die Thränen, wo sie für sich allein und nicht gemengt mit den beiden anderen Secreten auf die Conjunctiva einwirken, dieselbe reizen, indem sich Blutinjection und ein der Entzündung ähnlicher Zustand auf der Conjunctiva einstellt. Das Secret der Meibom'schen Drüsen ist eine Emulsion. Das Secret der Krause'schen Drüsen kennen wir nicht näher, es ist aber wahrscheinlich von dem der übrigen Schleimdrüsen nicht wesentlich verschieden.

Das Gemenge dieser drei Secrete wird durch den Thränenleitungsapparat aus dem Auge abgeleitet. Es gelangt zunächst durch die Thränen-

punkte in die Thränenröhrchen, von diesen in den Thränensack, von diesem in den Thränenkanal und von da in die Nasen- und Rachenhöhle. Die Triebkraft für die Fortschaffung dieser Secrete wird auf zweierlei Weise aufgebracht. Erstens durch den Lidschlag, indem, wenn sich der Orbicularis palpebrarum zusammenzieht, ein Druck auf die Flüssigkeiten, die sich im Conjunctivalsacke befinden, ausgeübt wird. Die Lidspalte wird geschlossen, und durch den Zug und Druck, welchen der am Ligamentum canthi interni befestigte Orbicularis palpebrarum an den Augenlidern ausübt, wird die Flüssigkeit gegen die Thränenpunkte hin und in die Thränenpunkte hineingetrieben. Das zweite mechanische Moment für die Ableitung der Thränen ist, abgesehen von der Schwere, durch welche sie nach unten abfliessen, die Inspiration. Wenn man einathmet, sinkt der Druck nicht nur in den Lungen, sondern auch in der Nasenhöhle unter den atmosphärischen, denn nur dadurch wird es möglich, dass die atmosphärische Luft in die Nasenhöhle eindringt. Es wird also hiedurch eine Tendenz der Thränenflüssigkeit nach abwärts erzeugt. Der Ueberdruck, der bei der Exspiration in der Nasenhöhle stattfindet, und vermöge dessen die Luft aus der Nasenhöhle in die Atmosphäre getrieben wird, scheint ganz oder grösstentheils durch Klappen aufgehoben zu sein. Man unterscheidet im Ganzen sieben Klappen oder klappenartig vorspringende Schleimhautfalten: eine an der Mündung des Thränenkanals in die Nasenhöhle, welche als vorspringende Schleimhautfalte an der inneren Seite liegt und nach aussen und abwärts gerichtet ist; ferner eine an der Grenze zwischen Thränengang und Thränensack, eine an der Einmündung der Thränenröhrchen in den Thränensack, zwei am Grunde der Ampullen, der trichterförmigen Erweiterungen der Thränenröhrchen, und zwei an den Eingängen, an den Thränenpunkten. Es ist schwierig, im Einzelnen zu verfolgen, in wie weit diese klappenartigen Gebilde thatsächlich als Ventile wirken, und es finden sich in Bezug darauf auch gewiss individuelle Verschiedenheiten.

J. Gad bemerkt mit Recht, dass die Gesammtmenge der für gewöhnlich in den Conjunctivalsack ergossenen Flüssigkeit nicht gross sein kann, da bisweilen die Ableitung ganz gestört ist, ohne dass Thränenträufeln eintritt. Vlacovitsch sah bei Neugeborenen die Nasenschleimhaut den Thränengang ununterbrochen überziehen, und Verga sah dasselbe Verhalten, wenigstens auf der einen Seite, bei fünf Kindern zwischen vier und dreizehn Jahren.

Das Sehen und die Farben.

Was nennen wir sehen? Sehen nennen wir das Zumbewusstseinkommen der Erregungszustände unseres N. opticus. Ja, wir können im Allgemeinen sagen: das Bewusstwerden der Zustände des N. opticus, denn wir sehen ja auch die Dunkelheit, wir empfinden, dass es dunkel ist, weil wir in der Dunkelheit unsern N. opticus im Zustande der Ruhe empfinden. Ein Wesen, das keinen Sehnerven hätte, und dem auch die Theile des Centralorgans fehlten, durch welche uns die Gesichtsempfindungen zum Bewusstsein kommen, würde auch die Dunkelheit nicht empfinden, so wenig wie wir urtheilen, dass es hinter uns dunkel sei, weil wir nach rückwärts keine Augen haben.

Alle Erregungszustände des N. opticus kommen uns als Lichtempfindungen zum Bewusstsein, auch die durch mechanische oder elektrische Reize erzeugten, ebenso wie die, welche das Licht hervorruft.

Wenn man im äusseren Augenwinkel einen Druck auf die Sclera ausübt, so sieht man vor der Nasenwurzel eine helle Scheibe. Macht man den Druck etwas stärker, so bekommt die Scheibe in der Mitte einen dunklen Fleck, breitet sich aber mehr aus, so dass sie ein heller Ring mit verwaschenen Rändern wird. Die Lichterscheinung ist die Wirkung des mechanischen Reizes, den man auf die Netzhaut ausübt. Wenn man im Dunklen die Augen rasch hin und her wirft, so sieht man Lichtblitze. Diese sind nichts Anderes als die Folgen der Zerrung des N. opticus. Hustet man im Dunklen, so sieht man Lichtblitze vor den Augen. Diese sind nichts Anderes als Folgen der Reizung, welche durch die plötzliche Stauung beim Husten im N. opticus hervorgerufen wird. Auch auf elektrischem Wege kann man die Netzhaut und den Sehnerven zur Lichtempfindung reizen. Es ist dies vielfältig geschehen, und man sieht dann sowohl beim Oeffnen, als beim Schliessen des Stromes, aber auch während des Stromes, Lichtfiguren, die am genauesten von Purkinje studirt worden sind, der sie folgendermassen beschreibt: „Brachte ich den Leiter des Kupferpols in den Mund und berührte mit dem Leiter des Zinkpols den Augapfel, so erschien in dem früher finsteren Gesichtsfelde an der mir sonst wohlbekannten Eintrittsstelle des Sehnerven eine hellviolette lichte Scheibe; im Axenpunkte des Auges war ein rautenförmiger dunkler Fleck, mit einem rautenförmigen gelblichen Lichtbande umgeben, darauf folgte ein gleiches finsteres Intervall und auch ein etwas schwächer leuchtendes gelbliches Rautenband; die äusserste Peripherie des Gesichtsfeldes aber deckte ein schwacher, lichtvioletter Schein, der, wie man das Auge rollte, abwechselnd an einzelnen Stellen heller wurde. Hob ich die Berührung auf, so kehrten sich die Farben um. Wechselte ich die Pole, brachte ich den Kupferpol ins Auge und den Zinkpol in den Mund, so kehrten sich die Farben, sowie auch die Licht- und Schattenpartien um. Am Eintrittsorte des Sehnerven war ein finsterer, kreisrunder Fleck, mit einem hellvioletten Scheine umgeben, der als ein hellviolettes Rautenband gegen die Mitte des Gesichtsfeldes auf- und niederstieg und sich mit zwei convergirenden Schenkeln auf der entgegengesetzten Seite schloss; diesem nach innen war ein finsteres Intervall und im Axenpunkte des Sehfeldes eine glänzende, hellviolette Rautenfläche. Diese Figur, sowie auch die vorige erscheint jedesmal am lebhaftesten beim Eintritte der Berührung, ist während ihrer Andauer, wenn die Leitung nicht auf irgend eine Weise unterbrochen wird, nur schwer zu bemerken und erscheint auf einen Augenblick mit entgegengesetzten Licht- und Farbstellen bei der Trennung wieder. Die Intensität bei Anwendung des Kupferpoles, also bei aufsteigendem Strome, ist ungleich grösser als die beim Zinkpole. Das Lichtviolett ist in dieser Erscheinung gesättigt und den Grund vollkommen deckend, das gelbliche Licht hingegen erscheint selbst bei den stärksten Entladungen nur wie der Ueberzug eines schwachen Firnisses, wie wenn eine gelbe Saftfarbe auf schwarzen Grund aufgetragen würde."

Die Erregung kann auch von den Centraltheilen ausgehen und ihre Ursache dann nach dem Gesetze der excentrischen Erscheinungen nach aussen versetzt werden. So entstehen die Traumbilder und so entstehen die

phantastischen Gesichtserscheinungen, die am häufigsten am Abend vor dem Einschlafen auftreten. Man hat bei ihnen das entschiedene Gefühl des Sehens, das sich wesentlich unterscheidet vom blossen Vorstellen. Oft ist dies Gefühl so mächtig, dass die Erscheinung für eine reelle, eine objective gehalten wird. Dies ist die Regel bei Irren und bei Fieberkranken, die von solchen Hallucinationen befallen werden. Aber auch bei Menschen, die übrigens gesunden Geistes und bei vollem Bewusstsein sind, können Phantasmen zu wirklichen Täuschungen Veranlassung geben. Joh. Müller hat über diese phantastischen Gesichtserscheinungen ein lehrreiches und geistvolles Buch geschrieben, in dem solche Beispiele verzeichnet sind.

Der gewöhnlichste äussere Reiz ist das Licht. Das Licht wirkt entweder als weisses Licht auf das Auge ein, oder als farbiges. Das gewöhnliche Sonnenlicht ist aus einer ganzen Reihe von Farben zusammengesetzt, die, wenn sie alle miteinander auf die Netzhaut wirken, den Eindruck von Weiss erzeugen. Wenn aber nur eine dieser Farben auf die Netzhaut einwirkt, so entsteht ein farbiger Eindruck, welcher je nach der Wellenlänge des Lichtes verschieden ist. Die grösste Wellenlänge der sichtbaren Strahlen macht den Eindruck von Roth, dann kommt Orange, dann bei weiter abnehmender Wellenlänge Gelb. Der Eindruck von Gelb tritt ein da, wo sich die Fraunhofer'schen Linien *D* befinden, die Natronlinien, die jetzt durch die spectroskopischen Untersuchungen so allgemein bekannt geworden sind. Dann kommen Gelbgrün, Grün, Blaugrün und bei *F* Blau. Dieses Blau bei *F* ist sogenanntes Türkisenblau, das heisst ein Blau, welches dem Grün noch einigermassen nahe steht. Man bezeichnet es auch als Cyanblau, weil es durch Berlinerblau, also durch Eisencyanidcyanür oder Ferrocyaneisen dargestellt wird. Schreitet man weiter fort gegen *G* hin, so ändert das Blau seinen Ton und nimmt die Farbe des Ultramarin und Indigo an, und weiterhin geht es über in Violett, als dessen Hauptlinie die Fraunhofer'sche Linie *H* bezeichnet werden muss. Jenseits *H* nimmt die Lichtintensität allmälig ab, und es kommen dann bei *J*, *M*, *N*, *O*, *P* die sogenannten ultravioletten, schwach sichtbaren Strahlen, die als lavendelgraue Strahlen bezeichnet werden. Ueber ihre Färbung machen verschiedene Beobachter verschiedene Angaben, einigen erscheinen sie auch violett, anderen stahlblau, anderen lavendelgrau, noch anderen silbergrau.

Wir können die Farben in einen Kreis ordnen, und zwar so, dass je zwei einander gegenüberstehende mit einander, wenn sie gemischt werden, Weiss bilden. Gewöhnlich ordnet man die Farben so an, dass Roth und Grün, Blau und Orange, Gelb und Violett einander gegenüberstehen. Es muss aber bemerkt werden, dass das Grün, welches dem spectralen Roth complementär ist, nicht das gewöhnliche Grasgrün ist, sondern ein Blaugrün. Dem eigentlichen Grasgrün ist eine Farbe complementär, welche im Spectrum gar nicht vorkommt, nämlich Purpur, eine Farbe, welche wir uns entstanden denken können dadurch, dass wir das Spectrum zusammenbiegen und das rothe und violette Ende desselben übereinanderfallen lassen. Man kann sich dieses Purpur künstlich aus zwei Spectren mischen. Wenn man mittelst eines Doppelspathprismas zwei sich theilweise deckende Spectra erzeugt, so dass das violette Ende des einen über das rothe des andern zu liegen kommt, dann erhält man als Mischfarbe Purpur. Auch dem Orange ist nicht alles Blau complementär, sondern nur das Blau, welches

wir mit dem Namen Türkisenblau bezeichnet haben. Dagegen ist dasjenige Blau, welches wir als Ultramarin bezeichnet haben, dem eigentlichen Gelb complementär, dem Gelb von der Linie *D*, das repräsentirt wird durch das Chromgelb, das doppelt chromsaure Bleioxyd. Das Complement des Violett ist ein Gelbgrün, das wir mit dem Namen des Citronengelb zu bezeichnen pflegen, weil es die Farbe einer noch nicht ganz reifen Citrone hat. Wenn wir in correcter Weise die verschiedenen Complemente nebeneinander schreiben wollen, so haben wir: Roth und Blaugrün, Orange und Türkisenblau, Gelb und Ultramarin, Gelbgrün und Violett, Grün und Purpur, dann wieder Blaugrün und Roth und so fort.

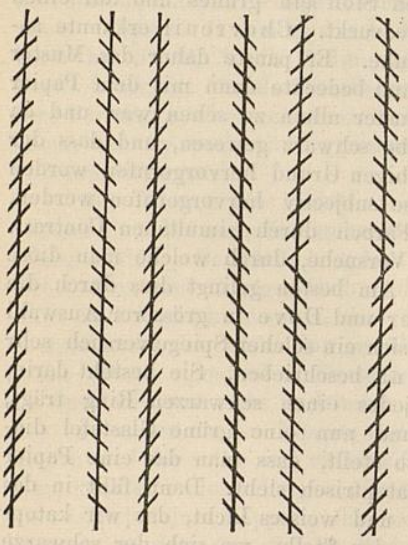
Diese einzelnen Farben des Farbenkreises können nicht nur durch monochromatisches Licht hervorgebracht werden. Wie der Eindruck des Purpur immer durch gemischtes Licht erzeugt wird, so können auch die übrigen Farben durch gemischtes Licht hervorgerufen werden. Ja, man braucht nur eine Farbe aus dem Spectrum wegzunehmen, so geben alle übrigen zusammen das Complement zu dieser Farbe. Daher rührt eben der Name Complementfarben, weil sie Farben sind, die entstehen, wenn man weisses Licht in irgend welche zwei Theile theilt, so dass der eine Theil die Ergänzung zum andern gibt.

Die Complementfarben haben nun sehr interessante Eigenschaften. Sie haben die Eigenschaft, dass, wenn sie nebeneinandergesetzt werden, sie ihren Eindruck erhöhen, so dass sie also die glänzendsten Farbenzusammenstellungen geben, z. B. Gelb und Blau, Grün und Purpur u. s. w. Sie haben aber auch die Eigenschaft, dass, wenn dem Auge nur eine Farbe dargeboten wird, diese auf subjectivem Wege ihr Complement, die zweite Farbe, hervorruft. Chevreuil erzählt, dass zu ihm Händler mit gemusterten Stoffen kamen und sich über die Fabrikanten beklagten: sie hätten ihnen Stoffe hingegeben, damit sie schwarze Muster daraufdruckten, sie hätten ihnen aber auf einen rothen Stoff ein grünes und auf einen blauen Stoff ein gelbliches Muster aufgedruckt. Chevreuil erkannte sofort, dass dies auf einer Täuschung beruhe. Er pauste daher das Muster durch, schnitt es à jour in Papier aus und bedeckte dann mit dem Papier den farbigen Grund, so dass nur das Muster allein zu sehen war, und da zeigte es sich sofort, dass die Druckfarbe schwarz gewesen, und dass der Schein des Farbigen nur durch den farbigen Grund hervorgerufen worden war. Die Farben, die auf diese Weise subjectiv hervorgerufen werden, bezeichnet man mit dem Namen der Farben durch simultanen Contrast.

Es gibt eine Reihe verschiedener Versuche, durch welche man diese Farben zur Anschauung bringen kann. Am besten gelingt dies durch die Spiegelversuche, wie sie zuerst Fechner und Dove in grösserer Auswahl angegeben haben. Eine Form, in der sich ein solcher Spiegelversuch sehr gut anstellen lässt, ist von Ragona Scina beschrieben. Sie besteht darin, dass man zwei Papierblätter, deren jedes einen schwarzen Ring trägt, rechtwinklig gegeneinander aufstellt und nun eine grüne Glastafel diagonal zwischen diese beiden Papiere so stellt, dass man das eine Papier durch dieselbe dioptrisch, das andere katoptrisch sieht. Dann fällt in das Auge grünes Licht, das wir dioptrisch, und weisses Licht, das wir katoptrisch sehen, das gespiegelt wird. An der Stelle, wo sich der schwarze Ring befindet, fällt im dioptrisch gesehenen Papier der Eindruck des Grünen aus, im katoptrisch gesehenen an der entsprechenden Stelle der

Eindruck des Weissen. Da, wo der Eindruck des Weissen wegfällt, haben wir ein stärkeres Grün als im Grunde; der gespiegelte Ring erscheint daher grün. Der andere Ring aber erscheint durch Wirkung des Contrastes roth. Wenn man die Tafel bewegt, bleibt der rothe Ring stehen, während der grüne sich bewegt: der rothe wird also dioptrisch gesehen, der grüne gehört dem Spiegelbilde an. Diese ganze Erscheinung rührt von einer Verschiebung unseres Urtheils her. Wir haben grünes Licht mit weissem gemischt, welches in unser Auge hineinfällt. Dadurch wird unsere Vorstellung vom Weiss, vom neutralen Grau verschoben, so dass wir jetzt etwas, was grau gefärbt ist, für complementär gefärbt halten, für roth. Wir würden ein schwaches Grün jetzt, wo wir unter dem Eindrucke der Masse grünen Lichtes stehen, eben nicht mehr für Grün, sondern für Weiss halten. Dass wirklich diese Art der Verschiebung unseres Urtheils wesentlich in Betracht kommt, das sieht man an folgendem Versuch, der von Helmholtz angegeben ist. Man nimmt ein graues Papier und klebt es auf einen purpurrothen Grund. Dann erscheint das graue Papier schon einigermassen grün. Dass es wirklich nicht grün ist, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man das Roth rund herum zudeckt, die Täuschung schwindet dann völlig. Die Täuschung wird aber ungleich grösser, sobald man über das rothe Papier ein anderes durchscheinendes weisses hinüberlegt, einfach deswegen, weil man hier nun einen anscheinend weissen Grund hat, der aber thatsächlich nicht weiss ist, indem das rothe Papier durch das weisse hindurch wirkt. Das Weiss des oberen Blattes täuscht uns über die wahre Farbe des Grundes. In derselben Weise erklären sich die farbigen Schatten. Wir beleuchten ein Papier gleichzeitig mit Tages- und mit Kerzenlicht und stützen einen Bleistift darauf. Er wirft zwei Schatten, der eine ist blau, der andere ist gelb. Blau ist der, der dem Kerzenlichte angehört, denn hier fehlt das Gelb, der andere ist durch den Contrast gelb, weil das Papier, das auch vom Tageslichte beleuchtet ist, weniger gelb ist.

Fig. 31.



Dergleichen Verschiebungen unseres Urtheils existiren nun nicht blos in Rücksicht auf die Farben, sondern sie kommen in derselben Weise in Rücksicht auf Hell und Dunkel vor, indem uns ein dunkler Gegenstand neben einem hellen besonders dunkel, und ein heller neben einem dunklen besonders hell erscheint. Sie existiren auch in Rücksicht auf die räumlichen Verhältnisse, in Rücksicht auf Bewegungen. Wenn man eine Zeit lang aus einem Fenster auf eine belebte Strasse hinabgesehen hat, in der sich zahlreiche Wagen nach einer Richtung hin bewegen, und diesen mit dem Auge gefolgt ist, und blickt das Strassenpflaster an, so scheint es, dass dasselbe sich in entgegengesetzter Richtung

bewege. Wenn man längere Zeit auf einen Wasserfall sieht und plötzlich auf die danebenstehenden Felsen blickt, so scheinen sie aufzusteigen. Es ist gewissermassen, als ob die Geschwindigkeit des fallenden Wassers in einer späteren Periode nicht mehr denselben Eindruck machte wie im ersten Augenblick, so dass, wenn im ersten Augenblick die Geschwindigkeit V wäre, sie später eine kleinere Grösse wäre, $V—k$: wenn wir daher auf einen ruhenden Gegenstand sehen, scheint uns dieser mit der Geschwindigkeit k aufzusteigen. Sitzt man in einer Eisenbahn in einem Hintercoupé und entfernt sich von einem Gebirge, und der Wagen hält plötzlich an, so scheint es, als ob das Gebirge näher heranrücke u. s. w.

Ja, selbst auf die Beurtheilung von Gerade und Schief, von Parallel und Nichtparallel hat eine solche Verschiebung unseres Urtheils einen wesentlichen Einfluss, wie man dies an der beistehenden, von Zöllner angegebenen Figur sieht. Die senkrechten schwarzen Striche sind parallel, und doch erscheinen sie geneigt, weil uns die schief auf sie gerichteten Striche beirren.

Kehren wir zu unseren Farben zurück, so ist es klar, dass, während je zwei und zwei Farben des Farbenkreises miteinander Weiss geben, diejenigen, die nicht miteinander complementär sind, nicht Weiss, sondern irgend eine andere Farbe geben müssen, und diese Farben sind die Mischfarben, welche im Farbenkreise zwischen den complementären Farben eingeschlossen sind. So gibt Roth mit Gelb Orange, Gelb mit Blau gibt Grün, das heisst mit demjenigen Blau, welches ihm nicht complementär ist, mit dem Türkisenblau oder Cyanblau. Blau und Roth geben miteinander Violett, Roth und Violett Purpur.

Die Wirkungen des Contrastes machen sich nun auch zwischen zwei Nachbarfarben geltend, indem jede Farbe, neben ihre Nachbarfarbe gestellt, in derselben ihre eigene Farbe ertödtet und ihre complementäre Farbe hervorruft. So erscheint z. B. Orange, wenn es neben Roth gestellt wird, gelb, Gelb neben Orange lässt das Orange mehr roth erscheinen u. s. w.

Als Helmholtz zuerst zeigte, dass Gelb und Ultramarinblau mit einander Weiss geben, erregte dies allgemeines Erstaunen. Namentlich alle Maler waren fest überzeugt und sind es zum Theil noch heute, dass Gelb und Blau nicht miteinander Weiss geben können, weil sie täglich aus Gelb und Blau Grün mischen. Die Mischung aber, welche dort vorgenommen wird, ist eine andere als diejenige, welche auf der Netzhaut stattfindet. Das Licht, das von gemischten Pigmenten zurückkommt, hat sich durch Subtraction gemischt, das Licht aber, das sich auf der Netzhaut mischt, mischt sich durch Addition. Wenn der Maler aus Gelb und Blau Grün mischt, so mischt er gelbe und blaue Körnchen durcheinander. Das Licht, indem es durch die gelben Körnchen hindurchgeht, verliert die am stärksten brechbaren Strahlen, und indem es durch die blauen Körnchen hindurchgeht, verliert es die am schwächsten brechbaren Strahlen; die mittleren, die grünen Strahlen bleiben übrig. Darum ist das Resultat dieser Mischung grün. — Auf der Netzhaut aber geschieht die Mischung durch Addition, indem auf derselben Stelle der Eindruck Blau und zugleich auch der Eindruck Gelb erfolgt. Aber auch abgesehen hievon, auch bei Versuchen, welche auf Mischung durch Addition beruhen, ferner bei Versuchen über subjective Farben, über Contrastfarben, hatten die früheren Beobachter meist als complementäre Farbe für Gelb nicht Blau,

sondern Violett gefunden. Es war allgemein die Meinung verbreitet, die wahre Complementfarbe zu Gelb sei Violett, und man war deshalb befremdet, als Helmholtz durch directe Mischung der Spectralfarben nachweisen konnte, dass Gelb und Blau miteinander Weiss geben.

Diese Differenz der Ansichten hängt mit der verschiedenen Sättigung der Farben zusammen. Wenn ich mein Auge durch monochromatisches Gelb erregen lasse, so wirken auf dasselbe nur Strahlen von einer Wellenlänge. Ich kann aber auch das Gelb dadurch erzeugen, dass ich von dem Ultramarinblau eine Portion aus dem Spectrum herausnehme; dann gibt das übrige Licht zusammen den Eindruck Gelb. Aber diese beiden Gelb unterscheiden sich wesentlich von einander. Das eine Gelb ist ein gesättigtes Gelb, nämlich das monochromatische, das andere ist nicht gesättigtes Gelb, es ist gemischtes Licht, indem nur die gelben Strahlen vorherrschen, nachdem blaue herausgenommen worden sind. Ich kann also dieses gelbe Licht, das ich durch Wegnehmen von Blau aus dem Spectrum erhalte, als bestehend ansehen aus weissem Lichte, dem gelbes hinzugefügt ist. So kann ich alle Farben als bestehend ansehen aus irgend einer bestimmten Farbe des Farbenkreises und aus Weiss, beziehungweise Grau, das in grösserer oder geringerer Menge hinzugemischt ist. Je grösser die Menge des neutralen Lichtes, des Weiss oder Grau ist, das ich hinzugefügt habe, desto weniger ist die Farbe gesättigt. Sie ist am gesättigtsten, wenn die Menge dieser Beimischung Null ist, wenn ich es mit einer monochromatischen Farbe zu thun habe, oder, da monochromatisches Purpur nicht existirt, mit einem Purpur, das blos gemischt ist aus reinem Roth und reinem Violett. Nach dieser Begriffsbestimmung brauchte übrigens eine Farbe nicht nothwendig monochromatisch zu sein, um als im physikalischen Sinne vollständig gesättigt zu gelten. Es ist nur nothwendig, dass in ihr nicht zwei oder mehrere Farben enthalten seien, die mit einander Weiss bilden. Wenn ich den höchsten Grad der Sättigung Eins nenne und somit die niederen Grade durch echte Brüche ausdrücke, so kann ich für die Sättigung folgende Formel aufstellen: $S = \frac{F}{F + W}$, in welcher S die Sättigung, W die Menge des weissen Lichtes bedeutet und F die Menge des farbigen Lichtes, welches übrig bleibt, nachdem ich alle farbigen Lichter, soweit sie mit einander Weiss geben, entfernt habe.

Nun haben wir bis jetzt das Tageslicht als weisses Licht angesehen. Wir halten dasselbe für weiss, weil es das dominirende Licht ist, und finden das Kerzenlicht neben ihm gelb. Es lässt sich aber nachweisen, dass das gewöhnliche Tageslicht nicht weiss ist, sondern roth, und darauf beruhen die verschiedenen Resultate, die man bei Beurtheilung der complementären Farben erhalten hat. Man wird bemerken, dass niemals ein Streit darüber gewesen ist, was das Complement von Roth sei. Man wusste immer, dass das Complement von Roth Grün ist. Ueber das Complement von Blau aber, beziehungsweise über das des Gelb hat man hin und her geschwankt.

Denken Sie sich, ich habe eine Tafel, die mit schwefelsaurem Baryt angestrichen ist und daher vollkommen weiss erscheint. Ich lege auf dieselbe ein Blättchen Papier, das mit Ultramarin gefärbt ist, und lasse dieses blaue Papier auf weissem Grunde in einem Glase spiegeln, das selbst durch die Dicke angesehen keine Farbe hat. Ich neige den Spiegel und richte ihn wieder auf. Ich sehe, dass das Bild mehr oder weniger

Sättigung bekommt je nach der Neigung des Spiegels. Man sieht ja durch das Glas auf den weissen Grund, es mischt sich also das dioptrisch gesehene weisse Licht mit dem katoptrisch gesehenen blauen, und jetzt wird man bemerken, dass das Bild, indem es heller wird, indem seine Farbe weniger gesättigt wird, nun nicht mehr in derselben Schattirung bleibt, sondern gegen Violett hin ausweicht, dass es einen Stich zum Violett bekommt. Das Licht also, das mir weiss erschien, wenn ich es an und für sich betrachtete, das hat sich, zu einer bestimmten Farbe gemischt, als roth erwiesen, denn es hat als Mischfarbe Violett gegeben. Denselben Versuch kann man mit Chromgelb anstellen. Legt man dieses auf die weisse Tafel und lässt man es spiegeln, so ist das Spiegelbild blassorange, wenigstens mehr orange als das Chromgelb selbst: das anscheinende Weiss erweist sich hier bei der Mischung wieder als röthlich. Wenn ich durch ein blaues Cobaltglas hindurchsehe, so dass ich damit die Hälfte der Pupille bedecke, so erscheint der Grenzstreifen, der durch den Rand des Cobaltglases gegeben ist, violett, weil sich hier eine Zone auf der Retina bildet, wo sich weisses Tageslicht mit dem blauen Lichte mischt, das durch das Cobaltglas zur Netzhaut gelangt.

Alle diese Versuche zeigen deutlich, dass das Tageslicht nicht, wie man früher geglaubt hat, weiss ist, sondern dass es roth ist. Wir empfinden das nicht, weil wir das dominirende Licht immer für weiss halten, gerade so, wie wir auch Gas- oder Kerzenlicht, wenn wir hinreichend lange kein anderes gesehen haben, für weiss halten. In unserem Laboratorium sind vor einer Reihe von Jahren von Dr. Memorsky Untersuchungen gemacht worden über die Farbe der verschiedenen Beleuchtungen. Da hat es sich gezeigt, dass Kienspähne, Kerzen, Leuchtgas, Oel und Petroleum sämmtlich Licht von gelboranger Farbe geben. Am meisten gefärbt ist das Licht des Kienspahns, dann folgen Talgkerzen und Oellampen, dann Stearinkerzen, Leuchtgas und Petroleum. Das Magnesiumlicht, das man für weiss gehalten hat, ist blassviolett, und das einzige Licht, das Memorsky weiss fand, war Licht der Kohlenspitzen, elektrisches Licht. Auch hier war es nur das gute Glück, welches uns Kohlen in die Hände gegeben hatte, die weisses Licht gaben. Ich habe seitdem mehrfach elektrisches Kohlenspitzenlicht gesehen, das entschieden röthlich war.

Aus der farbigen Beschaffenheit des Tageslichtes erklärt sich das verschiedene Urtheil über die Contrast- und die Complementärfarben. Helmholtz machte aus reinem Gelb und aus reinem Ultramarinblau Weiss. Nun haben wir aber gesehen, dass, wenn wir dieses Ultramarinblau mit Weiss auf der Netzhaut mischen, wir dann nicht Ultramarinblau, sondern einen violetten Ton erhalten. Wenn wir also zu dem Gelb eine nicht gesättigte Complementärfarbe aufsuchen wollen, so kann diese nicht mehr Ultramarin sein, sondern sie ist Violett, wie dies auch bei früheren Versuchen mit Pigmenten und beim Aufsuchen der Contrastfarbe auf weissem oder grauem Grunde gefunden wurde. Die gesättigte Complementfarbe zum Blau ist Chromgelb. Wir haben aber gesehen, dass, wenn wir das Licht, das von Chromgelb zurückkommt, mit weissem Lichte mischen, wir dann eine Farbe erhalten, die sich dem Orange nähert. Wenn ich also zum Blau eine nicht gesättigte complementäre Farbe suche, so ist diese nicht mehr Gelb, sondern in der That ein blasses Orange, wie es auch ältere Beobachter gefunden haben.

Mit der rothen Färbung des Tageslichtes und mit dem diffusen Lichte, das durch die Sclera in unser Auge einfällt, hängt es zusammen, dass unsere Retina unterempfindlich ist für rothes Licht, das heisst, dass die Retina für rothes Licht weniger empfindlich ist als für Licht von kürzerer Wellenlänge. Dass das Licht, welches durch unsere Sclera eindringt, roth sein muss, ergibt sich erstens schon daraus, dass es durch ein System von trüben Medien hindurchgegangen ist und dadurch also vorwiegend die kurzwelligen Strahlen verloren hat, und zweitens daraus, dass es durch zahlreiche Blutgefässe hindurchgegangen ist und hier der Absorption des Blutfarbstoffes unterworfen wurde. Es gibt aber auch einen Versuch dafür, der zuerst in etwas anderer Form und ohne genügende Erklärung von Dr. Smith in Fochabers beschrieben wurde. Er besteht in Folgendem: Man stellt sich so, dass man mit der Seite des Gesichtes nach dem Fenster gewendet ist, oder dass man neben sich zur Seite eine Kerze oder eine Lampe hat, und sieht eine weisse Fläche an. Nun schliesst man abwechselnd das eine und das andere Auge, dann verfärbt sich diese weisse Fläche, und zwar in der Weise, dass, wenn man die weisse Fläche mit dem Auge, welches an der Lichtseite ist, ansieht, dieselbe grün erscheint, während sie dem Auge, das an der Schattenseite ist, roth erscheint. Der Grund ist folgender: von der Lichtseite fällt eine Menge Licht durch die Sclerotica ein, dieses wirkt auf die Retina des Auges an der Lichtseite und macht sie noch mehr unterempfindlich gegen Roth, als sie schon für gewöhnlich ist. Es erscheint ihr deshalb weisses Licht als Grün. Schliesse ich dieses Auge und sehe ich mit dem andern die weisse Fläche an, so erscheint sie durch den Contrast roth.

Von der Unterempfindlichkeit für langwellige Strahlen rührt es auch her, dass bei stärkerer Beleuchtung eine Landschaft einen mehr rothgelben Ton hat. Es ist dies die sonnige, die goldige Beleuchtung, während an einem trüben Tage die Landschaft vielmehr einen graublauen Ton hat. Fechner hat gezeigt, dass, wenn die objective Helligkeit, die Beleuchtung, in geometrischer Progression zunimmt, die Verstärkung der subjectiven Empfindung, der subjectiven Helligkeit, nur in arithmetischer Progression fortschreitet. Er hat ferner gezeigt, dass für jeden Reiz, der auf Nerven, also auch auf den Sehnerven ausgeübt wird, eine sogenannte Reizschwelle existirt, das heisst eine gewisse Höhe, die der Reiz erreichen und welche er überschreiten muss, um überhaupt eine Wirkung zu erzielen. Denken Sie sich, dass die Reizschwelle für Roth am höchsten liege und von da gegen Blau hin immer niedriger werde, und dass nach und nach die Helligkeit immer zunehme, so muss anfangs die Wirkung des Roth bei geringer Helligkeit relativ gering sein, weil man sich noch wenig von der Reizschwelle des Roth entfernt hat, während man sich bei den übrigen Farben schon weiter von der Reizschwelle entfernt hat, da ihre Reizschwelle niedriger ist. Je weiter aber die Helligkeit steigt, um so mehr wird dieser Unterschied in den Hintergrund treten, und um so mehr werden also auch die langwelligen Strahlen, die rothen und gelben zur Geltung kommen. Mit dieser Ungleichheit in der Lage der Reizschwelle für das Roth und das Blau hängt es zusammen, dass man, wie Purkinje und Dove bemerkten, die Helligkeit der Farben anders beurtheilt, je nachdem sie stark oder schwach beleuchtet sind. Wenn ich Jemanden bei heller Tagesbeleuchtung aus einer Reihe von Papieren ein rothes und ein

blaues aussuchen lasse, die ihm und Anderen gleich hell erscheinen, und lasse diese selben Papiere in der Dämmerung, oder sonst bei schwacher Beleuchtung, aber im neutralen Lichte, untersuchen, so finden Alle, dass das blaue Papier heller sei als das rothe, weil man nun eben mit dem Roth näher der Reizschwelle steht und deshalb der Eindruck des Roth nicht nur absolut, sondern auch relativ schwächer ist, als er bei heller Tagesbeleuchtung war.

Da wir uns, wie wir oben gesehen haben, alle Farben vorstellen können als gemischt aus einer bestimmten Farbe des Farbenkreises und aus Weiss, beziehungsweise Grau, so müssen wir auch die Farben in ein System bringen können. Man hat diesem Systeme viele verschiedene Formen gegeben, und in der That kommt auf die Form wenig an. Anfangs hatte man die Farben in einen Kreis anzuordnen gesucht. Es hatte sich aber da gezeigt, dass man wohl die verschiedenen Grade der Sättigung auftragen könne, dass man aber nicht die verschiedenen Grade der Helligkeit und Dunkelheit erhalte. Nimmt man eine Kugel und trägt auf diese nicht nur die Farben auf, sondern denkt sich auch das Innere dieser Kugel mit Farben erfüllt, dann kann man in der That alle Pigmentfarben in ein System bringen. Im Aequator der Kugel sind die reinen Pigmente aufgetragen. An dem einen Pole gehen sie in Schwarz über, an dem andern gehen sie in Weiss über. Man hat also an der Oberfläche der Kugel alle Farben in ihren Uebergängen zum Weiss und Schwarz. In der Axe dieser Kugel muss man sich aber eine Linie denken vom Weiss zum Schwarz, die Linie des neutralen Grau. Im Innern der Kugel wären dann alle Mischfarben des neutralen Grau, die verschiedenen Arten von Braun, Grau u. s. w. zu finden.

Nach demselben Principe hat man die Farben auf und in einer Pyramide und auf und in einem Kugeloctanten vertheilt. Auf letzterem stand das Weiss in der Mitte des sphärischen Dreieckes, die reinen Farben an den Seiten und Ecken desselben und das Schwarz am Kugelcentrum.

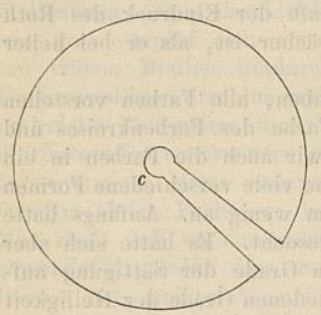
Zeitlicher Verlauf der Netzhauterregung.

Der Erregungszustand im Sehnerven überdauert jedesmal den Act der Erregung. Die Wirkung überdauert die Ursache. Wenn deshalb mehrere Eindrücke rasch aufeinanderfolgen, so kann es geschehen, dass die späteren eintreffen, ehe die Wirkung der ersten aufgehört hat, so dass also ein continuirlicher Eindruck aus einer intermittirenden Reizung entsteht. Darauf beruht es, dass man einen feurigen Kreis sieht, wenn man eine glühende Kohle im Dunkeln im Kreise herumschwingt. Bringt man auf eine Scheibe zwei Farben und dreht sie sehr schnell, so fallen hier auch die Reize über einander und man erhält die Mischfarbe. Auf diese Weise kann man zeigen, dass die verschiedenen Farben mit einander Weiss geben, man kann zeigen, wie Mischfarben entstehen u. s. w. Eine solche Einrichtung ist der Farbenkreisel.

Bei Versuchen mit dem Farbenkreisel ist es natürlich von Wichtigkeit, dass die Farben in gewissen Verhältnissen miteinander gemischt werden, da eine gewisse Menge Roth nur eine gewisse Menge Grün compensirt und eine gewisse Menge Blau nur eine gewisse Menge Gelb. Je zwei Complementärfarben können also auch auf dem Farbenkreisel nur

dann Weiss geben, wenn sie in einem bestimmten Verhältnisse auf demselben vertheilt sind. Da hat nun Maxwell eine Art von Scheiben angegeben, vermöge welcher man auf dem Wege des Experimentirens diese Verhältnisse finden kann. Er schneidet nämlich die Papiere aus in Form der vorstehenden Figur 32, in der *c* das Loch für die Axe des Kreisels ist. Sie können dann in einander gesteckt und durch Drehung beliebig verschoben werden, so dass die eine Papierscheibe die andere mehr oder weniger deckt. Man dreht nun, nachdem die Papiere in einer bestimmten Lage befestigt sind, in solcher Richtung, dass die freien Lappen der Scheiben durch den Luftwiderstand nicht gehoben, sondern herabgedrückt werden.

Fig. 32.



Beim Suchen des neutralen Weiss oder Grau (wirkliches Weiss kann, weil dazu nicht die hinreichende Menge von Licht vorhanden ist, hier nicht erzielt werden) verkleinert man nun die Farbe, welche sich als im Ueberschuss vorhanden erweist, so lange, bis das Grau nicht mehr rothgrau oder grüngrau, gelbgrau oder blaugrau ist, sondern mit dem aus Weiss und Schwarz gemischten Grau übereinstimmt. Es muss also, wenn wir Ultramarin und Gelb mischen, in dem Blau eine solche Menge blauen Lichtes enthalten sein, dass sie gerade durch das von dem gelben Felde reflectirte gelbe compensirt wird. Solche sich einander genau compensirende Mengen complementärgefärbten Lichtes betrachten wir als chromatisch gleichwerthig und sagen von zwei Papieren, die Weiss geben, wenn jedes von ihnen die halbe Scheibe des Farbenkreisels bedeckt, ihre Farben hätten gleiche Intensität. Es ist damit nicht gesagt, dass auch die sogenannte physikalische Intensität, die Summe der lebendigen Kräfte, in beiden farbigen Lichtern gleich sei. Von dieser haben wir überhaupt nur sehr dürftige Kenntniss. Die Mengen Weiss, die dabei in jeder von beiden enthalten sind, sind an und für sich ganz gleichgiltig.

Es führt uns dies zu der Formel zurück, welche wir früher (S. 160) für die Sättigung aufgestellt haben. Die Helligkeit der Farbe hängt ab von der Menge des Lichtes, das sie überhaupt zurückstrahlt. Die Intensität der Farbe hängt ab von der Menge des Lichtes ihrer eigenen, ihrer specifischen Farbe, welche sie zurückstrahlt. Die Sättigung drückt das Verhältniss aus zwischen diesem specifischen Lichte und dem weissen Lichte, mit dem es gemischt ist, so dass die Sättigung ein Maximum ist, wenn die Menge des Weiss Null ist, während umgekehrt die Sättigung ein Minimum ist, das heisst die Farbe entweder Weiss oder Grau ist, wenn gar keine specifische Farbe vorhanden ist. Mittelst eines solchen Maxwellschen Farbenkreisels kann man auch wiederum beweisen, dass die Farbe des gewöhnlichen Tageslichtes nicht weiss, sondern röthlich ist, ja man kann sogar zeigen, dass nicht unbeträchtliche Mengen von rothem Lichte in demselben überschüssig sind. Man nimmt ein ultramarinblaues Papier und ein weisses und lässt diese mit einander rotiren, so bekommt man eine lichte Mischfarbe. Diese fällt aus der Schattirung, sie geht zum Violett, ein Zeichen, dass das gewöhnliche Tageslicht nicht weiss, sondern röthlich

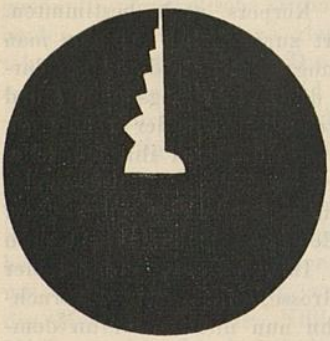
ist. Um dieses Roth zu compensiren, schaltet man einen grünen Sector ein, und man sieht, dass man je nach der Helligkeit der Farbe einen mehr oder weniger breiten grünen Sector einschalten muss, um das überschüssige Roth des Tageslichtes zu compensiren und auf diesem Wege die hellere Schattirung zum Ultramarinblau zu erhalten.

Von dem Verharren des Lichteindruckes im Auge ist noch eine Reihe von anderweitigen Anwendungen gemacht worden, von denen wir hier einige besprechen müssen. Zunächst kann man dadurch den Weg eines sich sehr schnell und dabei periodisch bewegenden Körpers beobachten. Den Weg einer schwingenden Basssaite kann man an und für sich nicht deutlich wahrnehmen. Wenn man aber auf derselben einen kleinen, glänzenden Metallknopf, z. B. einen Stecknadelkopf, anbringt und die Basssaite anreisst und sie so betrachtet, dass sie sich perspectivisch verkürzt, so sieht man an diesem Metallknopf den Weg, den die Basssaite beim Schwingen beschreibt. In ähnlicher Weise kann man durch Anbringen von Lichtreflexen auf schwingenden Stäben den Weg, den sie beschreiben, beobachten. In neuerer Zeit hat namentlich Helmholtz dies benützt, um mittelst Stimmgabeln die Zusammensetzung von Schwingungen zu studiren. Er hat zu diesem Zwecke ein eigenes Instrument, das Vibrationsmikroskop, angegeben und in seinem Werke über Tonempfindungen beschrieben. Man sieht hier durch eine Lupe, die durch eine schwingende Stimmgabel vertical auf- und abbewegt wird, auf ein beleuchtetes Stärkekernchen, das von einer anderen Stimmgabel horizontal hin- und herbewegt wird. In neuester Zeit hat Marey die Dauer des Lichteindruckes benützt, um den Weg zu sehen, welchen die Flügel der Insecten beschreiben. Er hat einer Brummfliege auf den vorderen Rand des Flügels gegen das Ende hin ein kleines Stückchen Blattgold aufgeklebt. Wenn nun das Thier mit seinen Flügeln schlägt, so sieht man an dem Lichtreflexe den Weg, welchen der Flügel in der Luft beschreibt. Wenn die Bewegung in der Weise periodisch ist, dass jeder Punkt des sich bewegenden Körpers nach bestimmten, gleichen Zeiten immer wieder an denselben Ort zurückkehrt, so kann man nicht nur den Weg, sondern auch die Bewegung selbst für das Auge darstellen. Denken Sie sich, es hätte ein Körper die Schwingungsdauer t und er würde mir immer wieder sichtbar in Intervallen von der Dauer $n\,t$, worin n irgend eine ganze Zahl bedeuten soll, so würde ich ihn jedes Mal an demselben Orte sehen, und da diese Eindrücke sehr rasch aufeinander folgen sollen, so würde ich diesen Körper im Zustande der Ruhe sehen. Nun denken Sie sich aber, der Körper würde mir nicht sichtbar nach Intervallen von der Dauer $n\,t$, sondern nach Intervallen von der Dauer $nt + k$, worin k eine verhältnissmässig kleine Grösse, einen geringen Bruchtheil von t bezeichnen soll, so würde ich ihn nun nicht mehr an demselben Orte sehen, sondern ich würde ihn an einer andern Stelle sehen, bis zu der er in der Zeit k vorgerückt ist. Das nächste Mal werde ich ihn wieder etwas weiter vorgerückt sehen, und da diese Eindrücke sehr rasch auf einander folgen sollen, so wird in meinem Auge ein continuirlicher Eindruck entstehen in der Weise, als ob sich der Körper in seiner natürlichen Schwingungsrichtung fortbewegte. Wenn ich mir denke, ich bekäme ihn wiederum zu Gesichte in Intervallen von $nt - k$, so würde ich ihn auch seinen natürlichen Weg machen sehen, aber rückwärts. Dieses Princip ist zuerst von Savart angewendet worden, um die periodischen

Bewegungen in einem Wasserstrahle zu beobachten. Es ist dann später in seinen Methoden und Anwendungen von Doppler entwickelt. In neuerer Zeit hat auch Toepler über dasselbe gearbeitet. Das Sichtbarmachen und das Verschwinden des sich bewegenden Körpers kann wesentlich in zweierlei Weise hervorgebracht werden: erstens dadurch, dass man den Körper in der Periode $nt + k$ momentan beleuchtet, oder dadurch, dass man den Körper periodisch für das Auge verdeckt und ihn in Perioden von $nt + k$ frei werden lässt.

Andererseits kann man auch periodische Bewegungen bildlich darstellen. Dazu dienen die sogenannten stroboskopischen Scheiben, die unabhängig von einander von Purkinje, von Plateau und von Stampfer erfunden worden sind. Sie beruhen darauf, dass ein in periodischer Bewegung befindlicher Körper in bestimmten Lagen gezeichnet und in diesen Bildern dem Auge schnell nacheinander dargeboten wird. Man lässt so immer Bilder in veränderter Lage aufeinander folgen, bis endlich die periodische Bewegung alle ihre Phasen durchgemacht hat. So stellt man kreisförmige, geradlinige und elliptische Schwingungen, so stehende und fortschreitende Wellen, Maschinentheile in Bewegung, ein sich contrahirendes Herz u. s. w. dar. Es kann dies auf zweierlei Weise erzielt werden. Entweder dadurch, dass man zwei Scheiben hintereinander auf einer Axe befestigt, wovon die vordere Spalten hat und die hintere die Abbilder trägt, so dass man dann während der Umdrehung durch die Spalten auf die Abbilder sieht. Das ist die Purkinje'sche Construction, das sogenannte Kinesoskop. Oder dadurch, dass die beiden Scheiben miteinander vereinigt sind, das heisst, dass eine und dieselbe Scheibe die Abbilder trägt und zwischen ihnen und der Peripherie die Spalten, durch welche man nun während der Umdrehung die Bilder im Spiegel ansieht. Das ist die Construction von Plateau und von Stampfer.

Fig. 33.



Man kann endlich auch eine Erscheinung des localen Contrastes auf der Netzhaut sehr gut darstellen durch das Princip der Persistenz der Erregungszustände. Man trägt auf einer schwarzen Scheibe weisse Sectoren auf. Die Winkelwerthe der weissen Sectoren nehmen gegen die Peripherie hin immer mehr ab, und zwar in jedem neuen Ringe um die Hälfte. (Figur 33). Wenn man diese Scheibe in Drehung versetzt, so entsteht ein System von grauen Ringen. Diese werden immer dunkler gegen die Peripherie hin. Das ist begreiflich, weil die Menge des dem Schwarz beigemengten Weiss gegen die Peripherie hin immer geringer wird. Zugleich bemerkt man aber, dass jeder Ring da am dunkelsten ist, wo er an den nächsten helleren anstösst, und da am hellsten, wo er an den nächsten dunkleren anstösst, so dass das Princip des Contrastes nicht nur platzgreift im Centralorgane überhaupt, sondern auch in den einzelnen Partien des Sehfeldes. Mach hat diese Scheibe, während sie rotirte, photographirt, und noch an der Photographie konnte man unterscheiden, dass die Ringe immer dunkler erscheinen da, wo sie an einen helleren angrenzen, und da heller, wo sie an einen dunkleren

angrenzen. Wenn man Krystallmodelle oder andere von ebenen Flächen begrenzte Körper, die aus Gyps gegossen oder weiss angestrichen sind, beobachtet, wird man auch bemerken, dass die gleichmässig beleuchteten Flächen da heller erscheinen, wo sie an schwächer beleuchtete angrenzen, und da dunkler, wo sie an stärker beleuchtete angrenzen.

Daraus, dass die Ringe, die jene Scheibe bei der Drehung gibt, immer im Allgemeinen mit der Abnahme der Breite des Sectors dunkler werden, geht schon hervor, dass ein Lichteindruck eine gewisse Zeit braucht, um zu seiner vollen Wirkung zu gelangen; denn, wenn er auch in der kleinsten Zeit seine volle Wirkung ausüben könnte, so müssten ja alle diese Ringe gleichmässig weiss sein. Sigmund Exner hat nun mit einem Apparate, der von Helmholtz angegeben ist, und der von ihm mit dem Namen des Tachistoskops bezeichnet wurde, den zeitlichen Verlauf der Erregung untersucht und gefunden, dass die Zeit, welche ein Lichteindruck braucht, um zu seiner vollen Wirkung zu gelangen, sehr verschieden ist, je nach der objectiven Helligkeit, und zwar zeigt es sich hier, dass, wenn die objective Helligkeit in geometrischer Progression zunimmt, die Zeiten, die zur Erreichung der vollen Wirkung nöthig sind, in arithmetischer Progression abnehmen. Wenn man deshalb sagt, dass etwa der fünfte Theil einer Secunde dazu nöthig sei, dass ein Lichteindruck seine volle Wirkung ausübe, so gilt das nur von einem Lichteindrucke von mittlerer Stärke, wie ihn etwa ein von gewöhnlichem diffusem Tageslichte beleuchtetes Blatt Papier hervorbringen kann. Stärkere Lichtintensitäten brauchen beträchtlich kürzere Zeit, während andererseits geringere Lichtintensitäten längere Zeit zur Entwickelung ihrer vollen Wirkung brauchen.

Wir haben ferner gesehen, dass es für die Erregung eine gewisse Reizschwelle gibt, das heisst eine gewisse Intensität, welche ein objectives Licht haben muss, um wirklich eine Erregung hervorzurufen. Da nun hier die Wirkungen sich zeitlich allmälig entwickeln, so ist es von vorneherein klar, dass es auch zeitlich eine gewisse Reizschwelle geben wird, dass ein Licht von einer gewissen Intensität immer eine gewisse Zeit eingewirkt haben muss, ehe man es überhaupt bemerkt. Auch diese Zeit ist von Exner mit dem früher erwähnten Apparate untersucht worden, und es hat sich auch hier ergeben, dass, wenn die objective Lichtintensität im geometrischen Verhältnisse zunimmt, die für die Wahrnehmung nöthigen Zeiten in arithmetischer Progression abnehmen.

Nachbilder.

Wenn ein Lichteindruck eine Zeit lang gedauert hat, so verschwindet er wieder. Es fragt sich nun, kommt dann die Netzhaut sofort in Ruhe, oder setzt sich etwas an seine Stelle? Das ist verschieden, je nach der Stärke des Lichteindruckes, der hervorgebracht worden ist. Diese hängt wiederum ab von der Stärke des objectiven Lichtes und von der Zeit, während welcher das objective Licht eingewirkt hat. Nach stärkeren Reizen erfolgen Nachbilder, die vielfach von Purkinje, Plateau und Fechner studirt worden sind. Man theilt sie ein in gleichfärbige und in complementär gefärbte, also in solche, die dieselbe Farbe haben wie das Object, und in solche, die die entgegengesetzte, die complementäre Farbe

haben. Man theilt sie ferner ein in positive und in negative, wobei man diesen Bezeichnungen denselben Sinn unterlegt, wie er in der Photographie gebräuchlich ist. Man nennt nämlich positiv dasjenige Nachbild, in welchem das hell ist, was im Object hell ist, und negativ nennt man dasjenige Nachbild, in welchem das dunkel ist, was im Objecte hell ist.

Das erste Nachbild, das zur Erscheinung kommt, ist das positive complementär gefärbte Nachbild, das von Purkinje entdeckt worden ist. Purkinje beschrieb, dass, wenn er eine glühende Kohle langsam herumschwang, er hinter derselben einen rothen Streifen gesehen; das war die directe Verlängerung des Lichteindruckes. Dann sei ein kurzes dunkles Intervall gekommen und hierauf ein grünes Bogenstück, ein grünes Nachbild, das sich weniger im Raume ausbreitete als der rothe Streifen, der vom verlängerten directen Lichteindrucke herrührte. Dieses Grün setzt sich hell auf dunklem Grunde ab. Einige sehen dieses Nachbild etwas anders. Exner beschreibt es so, dass das dunkle Intervall fehlt und das Roth durch eine Art von Grau in das Grün des positiven complementär gefärbten Nachbildes übergeht. Man kann dieses positive complementär gefärbte Nachbild auch sehen, wenn man längere Zeit in eine Kerzenflamme durch ein farbiges, z. B. rothes Glas hineinstarrt. Wenn man dann plötzlich, ohne den Augapfel mit den Augenlidern zu drücken, die Augen schliesst, sieht man eine grüne Flamme, in der das hell ist, was in der Flamme selbst hell ist, und das dunkel, was in der Flamme selbst dunkel ist, also ein positives complementär gefärbtes Nachbild.

Die positiven gleich gefärbten Nachbilder muss man ansehen als hervorgegangen aus der Wiederkehr des Erregungszustandes, welchen das ursprüngliche Licht hervorgebracht hat, die negativen Nachbilder aber, die immer complementär gefärbt sind, sind Abstumpfungsbilder, das heisst sie rühren daher, dass das einwirkende Licht eine Partie unserer Netzhaut unterempfindlich gemacht hat für objectives Licht, und dass deshalb, wenn wir zum Beispiele rothes Licht gesehen haben, der Eindruck von Roth fehlt, wenn gemischtes Licht auf dieselbe Stelle fällt, und deshalb an dieser Stelle der Eindruck von Grün entsteht, welches dunkler ist als der Grund. Es ist über die Richtigkeit dieser Erklärung gestritten worden, weil dieses negative complementär gefärbte Nachbild auch bei geschlossenen Augen, ja selbst, wenn man die Augen mit beiden Händen bedeckt, gesehen wird. Fechner hat aber darauf aufmerksam gemacht, dass dies damit zusammenhängt, dass wir unsern Sehnerven niemals im Zustande der völligen Ruhe empfinden, dass wir auch, wenn wir die Augen mit den Händen bedecken, nicht ganz schwarzes Sehfeld haben, sondern gewöhnlich ein Sehfeld, das uns etwas gelblich, wie mit feinem Goldstaub durchstreut erscheint, und dass in diesem subjectiven Lichte auch die Farbe fehlt, die die Erregung hervorgebracht hat, und deshalb ein Nachbild in complementärer Farbe und dunkler als der übrige Grund erscheint. Die Richtigkeit seiner Erklärung bestätigt sich dadurch, dass, wenn man die Hände etwas lüftet und Licht durch die Augenlider hineinfallen lässt, diese Bilder nicht verschwinden, sondern sich deutlicher auf dem nun helleren Grunde absetzen. Bei starken monochromatischen Lichteindrücken, z. B. wenn man durch ein rothes Glas in die Sonne sieht, folgen sich die Nachbilder gewöhnlich in folgender Weise. Erst das positive gleichgefärbte Nachbild, dann ein negatives complementär gefärbtes Nachbild, dann taucht wieder,

wenn ein hinreichend starker Eindruck gemacht ist, ein positives gleichgefärbtes Nachbild auf, dann wechseln negatives complementär gefärbtes und positives gleichgefärbtes Nachbild mehrmals mit einander ab, um so häufiger, je stärker der Eindruck gewesen ist, und endlich steht das negative complementär gefärbte Nachbild noch eine Weile, und die Retina kommt dann wieder zur Ruhe. Wenn der Eindruck nicht von monochromatischem Lichte gemacht wurde, sondern von weissem, gemischtem Lichte, hat man keineswegs immer weisse oder schwarze Nachbilder, sondern bei stärkeren Lichteindrücken hat man farbige Nachbilder, bei denen eine Farbe die andere verdrängt. Das beruht darauf, dass die Nachbilder der verschiedenen Farben zeitlich auseinanderfallen und deshalb auch nicht miteinander Weiss geben können, sondern verschiedene Farben nacheinander zum Vorschein kommen. Man hat dies mit dem Namen des Abklingens des Nachbildes durch verschiedene Farben bezeichnet. Es ist dabei merkwürdig, dass, wenn man ein positives Nachbild von einer bestimmten Farbe bei geschlossenen und bedeckten Augen hat, und man das Auge öffnet und auf einen hellen Grund sieht, auf dem hellen Grunde das negative complementär gefärbte Nachbild auftritt. Das Auge ist also objectiv unterempfindlich gegen die Farbe, die es eben subjectiv empfunden. Wenn nun kein Nachbild mehr vorhanden ist, so ist doch nach den Lichteindrücken das Auge nicht ganz in seinem Normalzustande, in ähnlicher Weise, wie wir gesehen haben, dass ein Nerv, durch den ein Strom hindurchgegangen ist, noch nicht ganz in seinem Normalzustande ist, wenn auch kein Oeffnungstetanus mehr vorhanden ist. Dies zeigt sich an einer Verstimmung der Retina, in welcher die Farben anders wahrgenommen werden als sonst, und das gibt Veranlassung zu einer neuen Art von Contrastwirkungen. Durch den dauernden Eindruck einer Farbe ist die Retina unterempfindlich geworden gegen dieselbe Farbe, und man sieht daher die complementäre Farbe subjectiv verstärkt. Wenn wir eine Zeit lang auf einen rothen Gegenstand gesehen haben, und sehen von demselben weg auf einen grauen Gegenstand, so erscheint uns dieser grünlich, und umgekehrt, wenn längere Zeit hindurch grünes Licht auf unser Auge eingewirkt, so erscheint uns ein grauer Gegenstand, auf den wir sehen, röthlich u. s. w.

Thomas Young's Theorie.

Es handelt sich nun darum, wie sollen wir uns alle diese Farbenerscheinungen erklären, wie sollen wir uns überhaupt eine Vorstellung davon machen, dass es möglich sei, dass wir so viele Arten von Farben unterscheiden? Unterscheiden wir sie, weil in ein und derselben Art von Nerven durch sie verschiedene Erregungszustände hervorgerufen werden, oder unterscheiden wir sie dadurch, dass wir verschiedene Arten von Nervenfasern im N. opticus haben, die jede, sie mögen von was immer für Licht erregt werden, wenn sie einmal erregt, uns immer eine bestimmte Farbenempfindung verursachen? Wenn ich sage, verschiedene Arten von Nervenfasern, so meine ich hier, wie anderswo, nicht dass die Nervenfasern als solche verschieden sein müssen, sondern nur, dass sie mit verschiedenartigen Centralgebilden, Nervenzellen des Centralorgans, verbunden sind, und dass uns qualitativ verschiedene Empfindungen erwachsen, je

nachdem die eine oder die andere Art von Centralgebilden erregt wird. Die erstere Vorstellung, die, dass die verschiedenen Farben je nach ihrer Wellenlänge verschiedene Erregungszustände im N. opticus hervorriefen, war bis vor verhältnissmässig kurzer Zeit die herrschende. Aber Thomas Young hatte schon im Anfange dieses Jahrhunderts eingesehen, dass man mit dieser Art der Erklärung nicht auskommen könne, und er stellte deshalb eine andere Theorie auf, die ganz in Vergessenheit gerathen war, bis Helmholtz sie von Neuem auseinandergesetzt und mit neuen Beweismitteln gestützt hat. Die Young-Helmholtz'sche Theorie von der Perception der Farben sagt aus, dass sich im Sehnerven dreierlei Arten von Nervenfasern befinden, von denen die einen, wenn sie erregt werden, uns die Empfindung Roth verursachen, die anderen die Empfindung Grün und die dritten die Empfindung Violett hervorrufen. Alle drei Arten von Nervenfasern können zwar erregt werden durch alle Strahlen, die uns überhaupt leuchtend erscheinen, aber diejenigen, welche uns die Empfindung Roth verursachen, werden am stärksten von den langwelligen Strahlen erregt, die Nervenfasern, welche uns die Empfindung Violett verursachen, werden am stärksten durch die kurzwelligen Strahlen des Spectrums erregt, und diejenigen Nervenfasern, welche uns die Empfindung Grün verursachen, werden am stärksten erregt durch die Strahlen von einer mittleren Wellenlänge, durch die Strahlen, die dem spectralen Grün an Wellenlänge entsprechen. Fällt nun auf unser Auge monochromatisch rothes Licht, so wird dies alle Nervenfasern erregen, aber die rothempfindenden am stärksten, wir werden also Roth sehen. Fällt grünes Licht in unser Auge, so wird es alle Arten von Nervenfasern erregen, aber die grünempfindenden am stärksten, wir werden also Grün sehen. Wenn violettes monochromatisches Licht in unser Auge fällt, wird es alle Arten von Nervenfasern erregen, aber die violettempfindenden am stärksten, wir werden also Violett sehen. Wenn monochromatisch gelbes Licht in unser Auge fällt, so wird es sowohl die rothempfindenden, als auch die grünempfindenden Fasern relativ stark erregen, und dadurch wird für uns ein gemischter Eindruck entstehen, den wir Gelb nennen. Ist die Wellenlänge grösser, wird das Roth vorherrschend, und wir werden Orange sehen. Ist die Wellenlänge etwas geringer, so wird die Erregung der grünempfindenden Fasern vorherrschend, und wir werden Gelbgrün sehen. Wirkt monochromatisch blaues Licht auf unsere Netzhaut, so werden sowohl die grün- als die violettempfindenden Fasern erregt, dadurch wird ein gemischter Eindruck entstehen, welchen wir Blau nennen. Ist die Wellenlänge der Strahlen etwas grösser, so wird der Eindruck zum Grün hinziehen, indem die grünempfindenden Fasern stärker erregt werden. Wird dagegen die Wellenlänge kürzer, wird er mehr zu Ultramarin und Indigo ziehen, weil nun die violettempfindenden Fasern stärker erregt werden.

Da jede Art von Licht nach dieser Theorie alle drei Arten von Nerven erregt, so sind nach ihr auch die reinen Spectralfarben im physiologischen Sinne nicht absolut gesättigt, und in der That hat Helmholtz gezeigt, dass man ihre Sättigung dadurch noch erhöhen kann, dass man das Auge vorher gegen die Complementärfarbe abstumpft.

Wir haben gesehen, dass ganz ähnliche Eindrücke, wie sie die einzelnen Spectralfarben hervorbringen, auch hervorgebracht werden können durch gemischte Farben, dass z. B. Roth und Grün, welches wir auf dem

Farbenkreisel miteinander mischen, Gelb geben, dass Grün und Violett miteinander Blau hervorbringen können u. s. w. An der Erklärung dieser Erscheinung ist man früher, ehe die Young'sche Theorie wieder in Aufnahme kam, immer gescheitert. Man hat sie erklären wollen aus der Wellentheorie nach dem Principe der Interferenz. Aber man ist hiebei niemals zu Resultaten gelangt, die mit der Wirklichkeit übereinstimmen, und es lässt sich auch leicht zeigen, dass überhaupt nach dem Principe der Interferenz diese Erscheinungen nicht erklärt werden können. Denn erstens kommt es nicht nur darauf an, welche Farben wir miteinander mischen, sondern auch darauf, in welcher Menge wir dieselben miteinander mischen. Ich kann aus einem bestimmten Roth und einem bestimmten Grün alle dazwischen liegenden Arten Gelb mischen, einfach dadurch, dass ich einmal mehr die Intensität des Grün, und das andere Mal mehr die Intensität des Roth wachsen lasse: zweitens aber, und das ist ein absolutes Hinderniss für jede Erklärung aus der Undulationstheorie, ich kann die Farben für mein Gesicht in der Weise mischen, dass die eine Farbe nur in das eine Auge und die andere Farbe nur in das andere Auge hineinkommt. Wenn ich dem einen Auge Roth und dem andern Blau darbiete und fixire einen bestimmten Punkt, so sehe ich, wie wir später erfahren werden, Violett. Hiemit ist jede Art von physikalischer Erklärung solcher Farbenmischung ausgeschlossen. Die Young'sche physiologische Theorie gibt aber eine sehr einfache Erklärung. Sie sagt nämlich: Wenn gemischtes oder monochromatisch rothes Licht auf meine Augen wirkt, so erregt es alle Fasern, aber die rothempfindenden am stärksten, und wenn grünes Licht, gemischtes oder monochromatisches, auf meine Augen einwirkt, so erregt es alle Fasern, aber die grünempfindenden am stärksten. Beide gleichzeitig geben also einen gemischten Eindruck, der Gelb ist, weil er analog ist demjenigen Eindrucke, den das gelbe Licht hervorbrachte, das auch alle Fasern erregte, aber die roth- und grünempfindenden Fasern stärker als die violettempfindenden. Mit dieser Erklärung ergibt sich auch sehr leicht, warum man alle Nuancen zwischen Grün und Roth hervorbringen kann, je nachdem man die Intensität der einen oder der andern Strahlen steigert. Man bringt nämlich durch Steigern der Intensität des rothen Lichtes dasselbe hervor, was man bei Versuchen mit monochromatischem Lichte dadurch hervorbringt, dass man von Gelb weiter gegen Roth hin geht. Wenn ich aber bei gemischtem Lichte die Intensität des Grün steigere, wird die Erregung der grünempfindenden Fasern grösser, ich bringe also dasselbe hervor, als wenn ich mich bei Versuchen mit monochromatischem Lichte gegen die Seite des Grün hin begebe.

Es sind nicht Alle einig darüber, welche die Grundfarben seien, da es ja möglich sein würde, auch aus anderen Farben als aus Roth, Grün, Violett die übrigen zu mischen. Man hat in früherer Zeit Roth, Gelb und Blau allgemein als die Grundfarben aufgestellt. Dies rührte daher, dass man aus Pigmenten zwar Grün und Violett, aber nicht Gelb und Blau mischen konnte. Aber das ist hier durchaus nicht massgebend, weil bei den Pigmenten, wie wir früher gesehen haben, durch Subtraction gemischt wird, und auf der Netzhaut, in unserer Empfindung, durch Addition, durch gleichzeitige Erregung mehrerer Arten von Nervenfasern. Darin, dass zwei der Grundfarben Roth und Grün seien, sind alle Anhänger der Young-Helmholtz'schen Theorie einig. Es handelt sich nur noch um die dritte.

Während Helmholtz Violett für die dritte Grundfarbe hielt, sind Maxwell und Exner der Meinung, dass es nicht das eigentliche Violett sei, sondern die als Indigo bezeichnete Zone, die zwischen dem eigentlichen Violett und dem Blau liegt. Exner sagt: Die Grundfarben erregen zwar alle Fasern, aber immer eine am stärksten. Da aber andererseits die gemischten Farben immer zwei Arten von Nervenfasern stärker erregen, so muss man die gemischten Farben mehr als die Grundfarben verändert finden, wenn man das Auge gegen eine Art von Licht abstumpft und dann die betreffende Spectralfarbe ansieht. Diejenigen Farben, welche sich so untersucht am unveränderlichsten zeigen, das müssen die Grundfarben sein. Er ist auf diese Weise zu dem Resultate gekommen, dass Roth und Grün zwei der Grundfarben seien; er fand aber, dass Violett veränderlicher ist als jene Zone des Indigo. Wenn er sein Auge gegen Roth abstumpfte, so erschien ihm spectrales Violett mehr Blau, wenn er dagegen sein Auge durch intensives blaues Licht abstumpfte, dann erschien ihm das Violett auffällig röther als im gewöhnlichen Zustande.

Ich betrachte, um mir die Grundfarben zur Anschauung zu bringen, ein reines, aber sehr lichtschwaches Spectrum, damit die Schwingungen jeder Dauer möglichst nur eine Art von Nervenfasern wirksam erregen, diejenigen, welche sie am stärksten erregen, und nicht auch eine zweite oder dritte, welche sie erst in zweiter oder dritter Reihe zu erregen geeignet sind. Dann bleiben bei abnehmender Lichtstärke drei Farben übrig, Roth, Grün und Violettblau. Dieses Violettblau ist wahres Veilchenblau und gleicht nicht ganz dem äussersten Violett des lichtstarken Spectrums. Es liegt auch nicht an dessen Stelle, sondern da, wo im lichtstarken Spectrum Indigoblau liegt. Die Zone, die im lichtstarken Spectrum das eigentliche Violett darstellt, ist schon durch ihre Lichtschwäche unsichtbar geworden. Aus dem Gesagten geht zugleich hervor, dass die Farbe auch des physikalisch einfachen Lichtes nicht allein von seiner Schwingungsdauer abhängt, sondern auch die Amplitude unter Umständen einen wesentlichen Einfluss ausübt. Da, wo man im lichtschwachen Spectrum Veilchenblau sieht, sieht man im lichtstarken wahres Blau, nach der Theorie, in Folge von Miterregung der grünempfindenden Fasern.

Farbenblindheit.

Farbenblind nennt man solche Menschen, welche verschiedene Farben verwechseln oder sich mit den Normalsichtigen über die Benennungen der Farben nicht einigen können. Es ist dabei keineswegs vorausgesetzt, dass sie überhaupt keine Farben empfinden. Wo Letzteres der Fall ist, müsste man dies als absolute Farbenblindheit oder als Farbenblindheit im engeren Sinne des Wortes bezeichnen.

Denken Sie sich, Sie könnten für das prismatische Farbenbild eine Curve entwerfen, welche durch die Höhe ihrer Ordinaten die Grösse der Wirkung angibt, welche jede einzelne schmale Zone des Spectrums, jede einzelne Farbe auf den Normalsichtigen ausübt, und nun denken Sie sich ein Auge, für welches diese Curve wesentlich anders ausfällt, so wird dieses Auge im gewöhnlichen Sinne farbenblind sein, denn es sieht die Farben der Dinge, die ja in der Regel zusammengesetzte, gemischte sind, anders als die Normalsichtigen.

Die am längsten bekannte Art der Farbenblinden wird gebildet von den Rothblinden, das heisst solchen, bei denen die langwelligen Strahlen eine unverhältnissmässig geringe Wirkung haben, so dass das Spectrum für sie am rothen Ende mehr oder weniger verkürzt erscheint; doch hat man auch zahlreiche Fälle beobachtet, in denen Unterempfindlichkeit für andere Partien des Spectrums vorhanden war. Macé und Nicati fanden bei ihren Untersuchungen an Farbenblinden, dass bei Unterempfindlichkeit für einen Theil des Spectrums Ueberempfindlichkeit für einen andern Theil des Spectrums vorhanden sein kann.

Man kennt auch seit langer Zeit solche Menschen, welche überhaupt keine Farben sehen, welchen die Welt grau in Grau erscheint, wie ein Kupferstich. Ein solcher Zustand kann verschiedene Ursachen haben. Es könnten für zwei der Grundfarben die sie vorstellenden Nervenelemente entweder an sich functionsunfähig sein oder in ihrem peripherischen Endorgane, den zugehörigen Zapfen, oder durch Mangel der Leitung. Dann würde nur eine Farbenempfindung existiren und somit kein Unterscheiden von Farben.

Es könnte aber auch die Verschiedenheit der Elemente in Rücksicht auf ihre Eigenschaft, von Licht von verschiedener Schwingungsdauer verschieden stark erregt zu werden, sehr gering sein, oder diese Verschiedenheit könnte gar nicht vorhanden sein. Die Erregbarkeitscurven, die Curven, welche das Wachsen und Abnehmen der Erregbarkeit je nach der Schwingungsdauer darstellen, könnten für alle drei Arten von Elementen dieselben sein. Dann würden auch keine Farben unterschieden werden. Diese letztere Erklärung ist wahrscheinlich für die meisten Fälle dieser Art die zutreffende, denn alle Menschen unterscheiden nur mit einem beschränkten Theile ihrer Netzhaut, mit der sogenannten Region des directen Sehens, der Gegend um das Centrum retinae, die Farben gut und richtig, mit den Seitentheilen schlechter und um so schlechter, je mehr man sich der Ora serrata retinae nähert. Wenn man ein prismatisches Farbenbild gegen diese Region hin verschiebt, so wird zuerst der mittlere Theil desselben weisslich, das langwellige Ende wird orangegelb und verblasst, indem es an Sättigung verliert; am längsten erhält sich als noch deutliche Farbe ein Blau am kurzwelligen Ende des Spectrums. Da nun Weiss und Grau im indirecten Sehen, das heisst auf die Seitentheile der Netzhaut projicirt, ihr Aussehen gar nicht verändern, so kann obige Erscheinung nur auf eine Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit zurückgeführt werden, nicht auf den Mangel einer oder zweier Farbenempfindungen.

J. Samuelsohn beobachtete einen Patienten, bei dem die beiden linken Hälften der Gesichtsfelder keine Farben unterschieden, während die Sehschärfe in denselben eine normale war. Will man diesen Fall nach der Young-Helmholtz'schen Theorie erklären, so liegt es am nächsten, anzunehmen, dass für jede Einzelleitung im Centrum zwei räumlich getrennte Ganglienzellen vorhanden sind, von denen die eine die Helligkeitsempfindung, die andere die Farbenempfindung erzeugt. Beide werden, da sie einer Bahn angehören, für gewöhnlich gleichzeitig erregt, aber eine von ihnen, wenigstens die, welche die Farbe empfindet und die wir als mehr centralwärts liegend zu denken hätten, kann functionsunfähig werden, ohne dass die andere leidet. Nach der Natur des Falles muss man annehmen, dass in jeder der beiden Hemisphären diese beiden Arten von Zellen ihrer

ganzen Masse nach an zwei verschiedenen Orten liegen. Dass nur eine Art von Zellen vorhanden sei, deren Erregbarkeit zwar erhalten, deren qualitative Verschiedenheit aber unmerklich geworden sei, ist eine Vorstellung, die zwar auch dem Falle genügen würde, die wir aber weniger leicht durchzubilden vermögen. Die Annahme, dass in dem erwähnten Falle zwei Farben fehlten, ist nicht wohl zulässig, da der Kranke die Farben als grau bezeichnete.

Unterscheidungsvermögen der Netzhaut.

Wir verlassen jetzt die Erregungszustände der Netzhaut im Allgemeinen und gehen auf das Unterscheidungsvermögen über und auf die örtliche Verschiedenheit desselben. Es ist klar, dass, da in der Netzhaut nur eine bestimmte Summe von Sehnervenfasern ihre Endigung findet, jedesmal auch nur eine bestimmte Summe von Localzeichen an das Gehirn überliefert werden kann. Wir werden also von einem gegebenen Raume des Sehfeldes auch nur immer eine bestimmte Summe von Localzeichen bekommen können. Es wird demnach unser Unterscheidungsvermögen eine gewisse Grenze haben, und wenn wir diese Grenze überschreiten, so werden die Farbeneindrücke zusammenfliessen. Wenn wir z. B. eine Abwechslung von sehr kleinen blauen und gelben Feldern haben, so werden diese Felder blau und gelb erscheinen, wenn wir sie in der Nähe ansehen. Entfernen wir uns aber weiter, wird der Sehwinkel immer kleiner, so werden sie endlich zusammenfliessen, die Farben werden sich aufheben, und wenn wir die Felder gegeneinander richtig abgepasst haben, werden wir neutrales Grau erhalten.

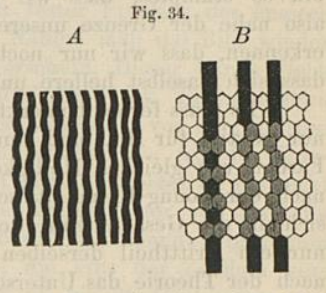
Es wird dies von den Malern benützt, um bei grossen Bildern, die für einen weiten Abstand bestimmt sind, Farben durch Addition auf der Netzhaut zu mischen. So setzen sie z. B., namentlich der berühmte Landschaftsmaler Hildebrandt bediente sich dieses Kunstgriffs, Zinnober und Grün nebeneinander, um Gelb zu erzeugen.

Es fragt sich nun, welches ist die Grenze unseres Unterscheidungsvermögens, und wie stimmt diese überein mit der Grösse unserer Netzhautelemente? Wir sind durch anderweitige Gründe dazu geführt, die Zapfen als die ersten Angriffspunkte für das Licht anzusehen. Wir müssen daher auch von vorne herein der Meinung sein, dass nur zwei Punkte nebeneinander als zwei Punkte gesehen werden können, die sich auf zwei verschiedenen Zapfen abbilden, dass aber zwei Punkte, die so nahe bei einander liegen, dass sie Beide auf einem und demselben Zapfen abgebildet werden können, auch nur einen Eindruck geben. Diese Voraussetzung bestätigt sich auch. Wenn man mit stark beleuchteten Linien die Gesichtsschärfe untersucht, indem man zusieht, wie weit man sich von ihnen entfernen und sie doch getrennt sehen kann, und daraus die Abstände der Netzhautbilder von einander berechnet, so findet man, dass diese Abstände mit der Breite der Zapfen übereinstimmen. Helmholtz unterschied noch zwei weisse Striche, die so weit von einander entfernt waren, dass zwei gerade Linien in gleicher Höhe von der Mitte jedes dieser geraden Striche zu den correspondirenden Punkten des Netzhautbildes gezogen sich unter einem Winkel von 64″ kreuzten. Aber nicht immer und namentlich nicht an punktförmigen Bildern bewährt sich die Sehschärfe bis zu diesem Grade. Zwei Sterne, deren Winkelabstand nicht über 60″ beträgt, er-

scheinen auch nicht kurzsichtigen Augen meistens als ein Stern. Helmholtz hat bei seinen Beobachtungen die merkwürdige Wahrnehmung gemacht, dass zuletzt die schwarzen und weissen Striche nicht gerade bleiben, sondern dass die schwarzen sich etwas im Zickzack biegen und die dazwischen liegenden weissen kleine Anschwellungen bekommen. Er leitet dies von dem Mosaik der Zapfen in der Fovea centralis retinae ab und von der Art und Weise, wie die weissen Striche, die ja das Erregende sind, die in Sechsecken neben einander gestellten Zapfenbasen beleuchten. Die Figuren 34 zeigen *A* die Erscheinung selbst und *B* die schematische Darstellung der Art und Weise, wie sie nach der Ansicht von Helmholtz zu Stande kommt.

Die directen Messungen der Gesichtsschärfe von Helmholtz und von Anderen verglichen mit den Messungen, welche Köllicker an den Zapfen der Fovea centralis vornahm, bestätigen, wie gesagt, dass wir so scharf sehen, wie wir dies theoretisch nur voraussetzen können, dass also unser Auge als optischer Apparat scheinbar Alles leistet, was nur von ihm erwartet werden kann. Wir werden später Gelegenheit haben, uns darüber einigermassen zu wundern, indem wir sehen werden, dass das Auge als optischer Apparat keineswegs im höchsten Grade vollkommen ist, dass es keineswegs das leistet, was ein idealer optischer Apparat leisten sollte, nämlich alle Strahlen von einem deutlich gesehenen Punkte wieder auf einen Punkt der Netzhaut zu vereinigen. Es kommt aber dafür etwas Anderes in Betracht. Wir tasten mit den Augen in ähnlicher Weise auf dem Gesichtsobjecte herum, wie ein Blinder mit seinen Fingerspitzen auf einem Gegenstande herumtastet, um sich eine klare Vorstellung von der Beschaffenheit, von den Erhebungen und Vertiefungen desselben zu verschaffen. Indem wir mit den Augen auf dem gesehenen Gegenstande herumgleiten, und somit die Bilder der kleinen Gegenstände von einem Zapfen auf den andern übergehen lassen, verschaffen wir uns deutlichere Vorstellungen, als sie uns ein einmaliger Eindruck verschaffen könnte.

Fig. 34.



Dass dem wirklich so sei, davon überzeugt man sich leicht, wenn man den Lichteindruck so kurz macht, dass es unmöglich ist, während dieser kurzen Zeit eine merkliche Augenbewegung auszuführen. Wenn wir einen rotirenden Farbenkreisel mit dem Lichte des elektrischen Funkens beleuchten, so sehen wir die Farben nicht gemischt, sondern wir sehen die einzelnen, verschieden gefärbten Sectoren neben einander stehen. Der elektrische Funke dauert nur so kurze Zeit, dass der Kreisel während dieser Zeit nur einen sehr kleinen Bruchtheil seiner Umdrehung ausführen kann, dass er sich während dieser Zeit bei Weitem nicht um die Breite eines Sectors gedreht hat, denn sonst müssten die Farben gemischt sein. Nun kann ich diese Beleuchtung durch den elektrischen Funken stark genug machen, dass ich die Gegenstände völlig hell sehe; es wird mir aber niemals gelingen, die Gegenstände so deutlich zu sehen, wie ich sie beim ruhigen Ansehen und dauernder Beleuchtung sehe, selbst wenn diese Beleuchtung verhältnissmässig schwach ist. Wenn des Nachts ein starker

Blitz die Landschaft erhellt, so sieht man alle Gegenstände hell beleuchtet, aber nicht einmal in der Deutlichkeit, in der man sie in der Dämmerung sieht, weil eben der Eindruck ein so kurzer ist, dass es nicht möglich ist, sich in den Gesichtsobjecten sicher zu orientiren.

Diese Schärfe des Unterscheidungsvermögens, von der wir eben gesprochen haben, existirt aber nur in der Fovea centralis retinae. Je mehr man sich von dieser entfernt, je mehr man in das sogenannte indirecte Sehen kommt, um so schwächer wird das Unterscheidungsvermögen. Man kann sich davon überzeugen, indem man einen Gegenstand fest ansieht und das eine Auge schliesst und dann einen zweiten Gegenstand unmittelbar neben denselben bringt. Man wird dann, wenn man das Auge für diese Sehweite einstellt, ihn vollkommen scharf sehen können. Bleibt man aber in der Fixation für den andern Gegenstand und bewegt diesen Gegenstand seitlich fort, so wird man bemerken, dass das Bild immer undeutlicher wird. Gegen die Ora serrata hin ist das Unterscheidungsvermögen ein so stumpfes, dass wir die Gegenstände, die sich dort abbilden, die also nahe der Grenze unseres Sehfeldes liegen, nicht mehr in ihrer Form erkennen, dass wir nur noch einen unbestimmten Eindruck davon haben, dass sich daselbst hellere und dunklere und farbige Gegenstände befinden.

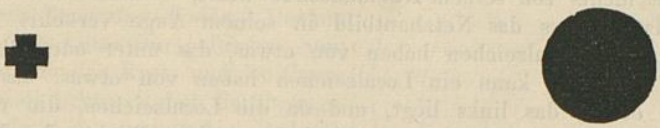
Es muss ferner bemerkt werden, dass dieses Unterscheidungsvermögen nur existirt für Hell und Dunkel, für Schwarz und Weiss; für verschiedene Farben von gleicher Helligkeit ist es viel geringer. Es erklärt sich dies nach der Young-Helmholtz'schen Theorie daraus, dass die drei Grundfarben sich in die Gesammtzahl der Zapfen theilen müssen, also auf jede etwa nur ein Dritttheil derselben kommen mag. In diesem Falle würde sich nach der Theorie das Unterscheidungsvermögen für gleich helle Farben zu dem für Schwarz und Weiss verhalten wie 1 zu $\sqrt{3}$; dem widerspricht auch die Erfahrung nicht, indem die Versuchsresultate bald nach der einen, bald nach der andern Seite von diesem Werthe abweichen. Also je geringer der Helligkeitsunterschied zweier Farben ist, je mehr sie gleich hell sind, um so schlechter werden sie in kleinen Feldern von einander unterschieden. Dies kann man als photometrisches Princip benützen, um verschiedene farbige Lichter, Grün, Roth, Blau, unter einander und mit neutralem Lichte in Rücksicht auf ihre Helligkeit zu vergleichen. Hierauf beruht Dove's Photometer. Unter ein Mikroskop wird bei schwacher Vergrösserung eine Mikrophotographie auf Glas gelegt und gleichzeitig von unten und oben mit den beiden zu vergleichenden Lichtern so beleuchtet, dass man das eine oder das andere gradatim abschwächen kann. Beide Lichter sind gleich, wenn die Einzelheiten der Photographie möglichst vollständig verschwinden. Auf demselben Principe beruht auch die Helligkeitstafel. Es ist dies eine von Schwarz bis Weiss in Tusche abgetonte Fläche. Auf ihr verschiebt man das Papier oder den Stoff, dessen Helligkeit man ermitteln will, nachdem man zuvor ein Loch hineingeschnitten. Der Ort, an dem das Loch unter dem grössten Gesichtswinkel verschwindet, gibt die Helligkeit der Farbe in Grau von bestimmter Helligkeit an.

Mariotte's blinder Fleck.

Es gibt einen Punkt der Netzhaut, mit dem wir gar nichts sehen, und das ist die Eintrittsstelle des N. opticus. Weshalb wir mit dieser Ein-

trittsstelle nicht sehen, ist begreiflich. Wir sehen nämlich mit dieser Stelle nicht, weil hier keine Zapfen- und Stäbchenschicht vorhanden ist, sondern das Licht, das hier auffällt, nur die austretenden Fasern des N. opticus trifft. Mariotte bemerkte zuerst, dass man diesen blinden Fleck im Sehfelde sich subjectiv bemerklich machen kann. Man macht zwei Zeichen auf einem Papier, ein Kreuz und eine Kreisscheibe (siehe Figur 35); man

Fig. 35.



schliesst dann das eine Auge und fixirt dasjenige Zeichen, welches nach der Nasenseite hin liegt, und nun nähert und entfernt man das Papier. Dann kommt man auf eine Stellung, wo bei fester Fixation das äussere Bild, das an der Schläfenseite, verschwindet. Nähert man das Bild wieder oder entfernt es, so kommt es wieder zum Vorschein. Dieser blinde Fleck im Sehfelde heisst nach Mariotte der Mariotte'sche Fleck. Er liegt etwa 15° nach auswärts vom Centrum des Sehfeldes, das heisst von dem fixirten Punkte oder von der in sich selbst projicirten Gesichtslinie. Auf der Netzhaut liegt er also etwa 15° nach innen vom Centrum retinae. Er erstreckt sich nämlich von 13° bis 19°, indem er einen Durchmesser von beiläufig 6° oder etwas darüber hat. Will man deshalb die beistehende Figur zum Versuche benutzen, so bringt man das Buch, um eins der Zeichen verschwinden zu lassen, in eine Entfernung von 26 bis 28 Centimeter, gemessen vom oberen Augenlide zum fixirten Zeichen.

Helmholtz hat an seinem Auge den blinden Fleck abgetastet und hat in seinem Handbuche der physiologischen Optik eine Abbildung davon gegeben, in der man nicht nur die Eintrittsstelle des Sehnerven deutlich wieder erkennt, sondern auch den Anfang der grossen Blutgefässe der Netzhaut.

Dioptrik des Auges.

Nachdem wir uns so mit der Art beschäftigt haben, wie sich die Retina gegen Eindrücke verhält, müssen wir uns mit der Art und Weise beschäftigen, wie ihr die Gesichtseindrücke zugeführt werden, wir müssen zu der Dioptrik des Auges übergehen. Man sagt, das Auge sei gebaut nach dem Principe der Camera obscura, weil durch einen Apparat, der im Wesentlichen eine Sammellinse ist, also dem Objectiv der Camera obscura entspricht, auf dem auffangenden Schirme, auf der Netzhaut, ein umgekehrtes Bild entworfen wird, wie ein solches auf dem auffangenden Schirme der Camera obscura zu Stande kommt. Das umgekehrte Bild auf der Netzhaut lässt sich am leichtesten an einem pigmentlosen Kaninchenauge zeigen. Wenn man dasselbe herauspräparirt und es aufhängt, so sieht man die Gegenstände, die demselben gegenüberliegen, auf der Netzhaut in umgekehrtem Bilde durch die hinreichend durchscheinende Sclerotica. In Bezug auf dieses umgekehrte Netzhautbild hat man sich oft die Frage gestellt, wie es denn möglich sei, dass wir die Dinge aufrecht sehen,

während sie doch auf der Netzhaut umgekehrt abgebildet werden. Es gibt eine grosse Menge von Theorien, die sich theils damit beschäftigen, zu beweisen, dass das umgekehrte Netzhautbild doch eigentlich nicht verkehrt, sondern aufrecht sei, und andere, die sich damit beschäftigten, durch welche Processe dieses umgekehrte Netzhautbild noch einmal im Gehirn umgekehrt werde und nun aufrecht zum Bewusstsein komme. Alle diese Dinge braucht man begreiflicher Weise nicht: denn da der Mensch überhaupt nichts von seinem Netzhautbilde weiss, so kann er auch nichts davon wissen, dass das Netzhautbild in seinem Auge verkehrt ist. Er kann nur ein Localzeichen haben von etwas, das unter oder über dem Horizont liegt, er kann ein Localzeichen haben von etwas, das rechts, und von etwas, das links liegt, und da die Localzeichen, die von derselben Oertlichkeit ausgehen, immer wieder analoge Punkte der Netzhaut treffen, so orientirt er sich natürlicher Weise ganz consequent und ganz unbekümmert um sein umgekehrtes Netzhautbild in der Räumlichkeit der Aussendinge. Johannes Müller pflegte schon zu sagen, er begreife nicht, wie man von verkehrt sprechen könne da, wo einmal Alles umgekehrt sei, da doch dann das Kriterium für das Aufrechte abhanden gekommen sei.

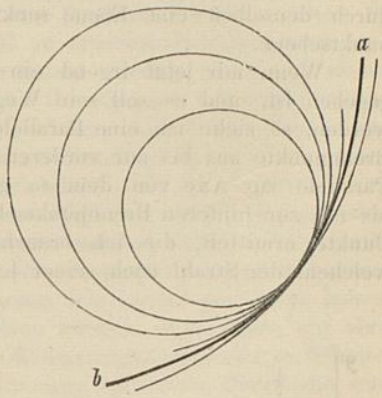
Es fragt sich nun, wie kommt dieses umgekehrte Netzhautbild zu Stande? Es kommt durch Brechung zu Stande. Die Strahlen treffen erst die Oberfläche der Hornhaut; hier werden sie am stärksten gebrochen, weil sie aus einem sehr dünnen Medium, aus Luft, in ein verhältnissmässig dichtes Medium, in die Substanz der Hornhaut übergehen. Dann werden sie ein zweites Mal gebrochen, indem sie aus der Hornhaut in den Humor aqueus übergehen, der einen niedrigeren Brechungsindex hat als die Hornhaut. Dann werden sie zum Einfallslothe gebrochen, wenn sie in die Linse übergehen, so lange sie in dichtere Linsenschichten übergehen, dann aber vom Einfallslothe, wenn sie wieder in die dünneren Schichten derselben gelangen und endlich aus der Linse herauskommen. Der Glaskörper hat in seiner Dichtigkeit nur geringe Aenderungen, so dass man den Gang der Strahlen durch denselben als geradlinig betrachten kann.

Wie soll man diese verschiedenen Brechungen der Rechnung unterziehen? Wir haben gewisse hergebrachte Formeln, welche uns erlauben, mit ziemlicher Leichtigkeit die Brennweite, die Ausdehnung der Bilder und die Eigenschaften der Bilder bei sphärischen Linsen zu untersuchen. Nun haben wir aber im Auge nicht mit sphärischen Linsen zu thun, sondern mit lauter Rotationsoberflächen und, wie wir später sehen werden, nicht einmal ganz reinen Rotationsoberflächen, von Curven, die sich am meisten Curven zweiten Grades anschliessen. Wir können uns aber die Sache einigermassen vereinfachen, wenn wir nur Strahlen berücksichtigen, die ganz nahe der Axe einfallen, um welche wir uns die optischen Medien des Auges centrirt denken.

Zu jeder Curve lässt sich ein Kreis finden, der sie an irgend einer Stelle berührt und sich an dieser Stelle möglichst langsam von ihr entfernt. Denken Sie sich, ich hätte an die betreffende Stelle einen berührenden Kreis an eine Curve *a b* (Figur 36) angelegt, und dieser Kreis wachse fortwährend, bleibe aber dabei immer mit der Curve in Berührung (Figur 36), so wird er eine Zeit lang bei seinem Wachsen sich noch

immer nach innen von ihr entfernen, aber später, wenn sein Radius immer grösser wird, wird ein Punkt kommen, wo der Kreis nach aussen von der Curve liegt. Dazwischen muss aber irgend ein Kreis sein, der länger als alle übrigen mit der Curve in unmittelbarer Berührung ist. Von diesem Kreise sagt man, dass er mit der Curve an dieser Stelle die Osculation der höchsten Ordnung habe. Dieser Kreis lässt sich durch Rechnung finden. Denken Sie sich, ich hätte ihn gefunden, und ich drehe nun den Kreis und die Curve um die Senkrechte in dem Berührungspunkte als Axe, so werden dadurch eine Kugel und ein Rotationskörper entstehen, die sich berühren und da, wo sie sich berühren, was hier in einiger Ausdehnung stattfindet, identisch sind. Ich kann also für eine solche Oberfläche, die nicht nach einem Kreise gekrümmt ist, eine sphärische substituiren, die durch die Rotation des Kreises erzeugt wird, der an dieser Stelle mit der Curve die Osculation von der höchsten Ordnung hat.

Fig. 36.

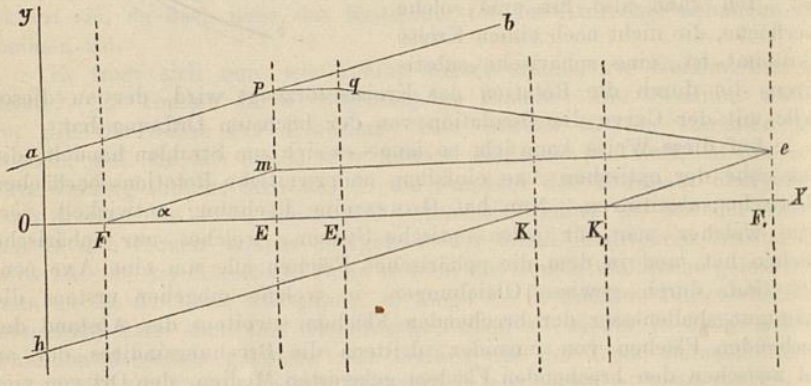


Auf diese Weise kann ich, so lange es sich um Strahlen handelt, die ganz nahe der optischen Axe einfallen, anderweitigen Rotationsoberflächen sphärische substituiren. Nun hat Gauss eine Rechnung entwickelt, vermöge welcher man für jedes optische System, welches nur sphärische Flächen hat, und in dem die sphärischen Flächen alle um eine Axe centrirt sind, durch gewisse Gleichungen, in welche eingehen erstens die Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen, zweitens der Abstand der brechenden Flächen von einander, drittens die Brechungsindices der an und zwischen den brechenden Flächen gelagerten Medien, den Ort von vier Punkten finden kann, die als der vordere und der hintere Brennpunkt und als der vordere und der hintere Hauptpunkt bezeichnet werden. Wenn man diese vier Punkte berechnet hat, so kann man durch eine einfache Construction den Weg eines jeden Strahles nach seiner letzten Brechung finden, wenn man den Weg dieses Strahles vor seiner ersten Brechung kennt. Diese Rechnung, die also im Wesentlichen die Lösung unseres Problems gibt, ist später von Helmholtz und dann noch von Victor v. Lang modificirt und vereinfacht worden. Nehmen wir an, wir hätten ein beliebiges dioptrisches System von n sphärischen Flächen, welche alle um die Axe OX centrirt sind, und wir hätten die vier Punkte gefunden. Der hintere Brennpunkt ist derjenige Punkt, in welchem sich alle Strahlen vereinigen, die mit der Axe OX parallel von links nach rechts einfallen; wir bezeichnen ihn mit $F_{,}$. Ich lege mir nun durch denselben eine Ebene senkrecht auf die Axe und nenne sie die hintere Brennpunktsebene. Nun kann ich mir aber auch denken, dass von der andern Seite des dioptrischen Systems, von rechts nach links Strahlen parallel mit der Axe einfielen, dann werden sich diese in einem andern Punkte vereinigen, in dem vorderen Brennpunkte, den ich mit F bezeichne. Durch ihn lege ich mir eine Ebene senkrecht auf die Axe und nenne diese Ebene die vordere

Brennpunktsebene. Dann denke ich mir, ich hätte aus den Gleichungen die beiden Punkte gefunden, die Gauss mit dem Namen des vorderen und hinteren Hauptpunktes bezeichnet. Den vorderen Hauptpunkt bezeichne ich mit E und lege durch denselben eine Ebene senkrecht auf die Axe, die vordere Hauptpunktsebene, den hinteren bezeichne ich mit $E_{,}$ und lege durch denselben eine Ebene senkrecht auf die Axe, die hintere Hauptpunktsebene.

Wenn mir jetzt irgend ein einfallender Strahl, z. B. der Strahl ab gegeben ist, und es soll sein Weg nach der letzten Brechung gefunden werden, so ziehe ich eine Parallele Fm mit diesem Strahle vom vorderen Brennpunkte aus bis zur vorderen Hauptpunktsebene, dann ziehe ich eine Parallele zur Axe von dem so gewonnenen Durchschnittspunkte m aus, bis ich zur hinteren Brennpunktsebene gelange. Damit habe ich einen der Punkte ermittelt, die ich brauche, ich habe den Punkt e gefunden, in welchem der Strahl nach seiner letzten Brechung die hintere Brennpunkts-

Fig. 37.



ebene schneiden wird. Um den Weg des Strahles nach seiner letzten Brechung zu finden, ziehe ich von dem Durchschnittspunkte p, den er mit der vorderen Hauptpunktsebene hat, eine Parallele mit der Axe zur hinteren Hauptpunktsebene, bezeichne den hier erhaltenen Durchschnittspunkt mit q und verbinde ihn mit dem früher gefundenen Durchschnittspunkte e durch eine gerade Linie: dann habe ich in ihr den Weg, welchen der Strahl nach seiner letzten Brechung nimmt.

Ein jedes solches dioptrisches System hat nun aber noch zwei Punkte, welche eben so weit von einander entfernt sind wie die beiden Hauptpunkte, und dabei ebenso weit vom hinteren Brennpunkte entfernt sind, wie die beiden Hauptpunkte vom vorderen Brennpunkte. Diese beiden Punkte bezeichnen wir mit K und $K_{,}$ und nennen sie den vorderen und den hinteren Knotenpunkt. Wir legen durch jeden eine Ebene senkrecht auf die Axe, die vordere und die hintere Knotenpunktsebene. Diese beiden Punkte haben eine merkwürdige Eigenschaft, nämlich die, dass ein Strahl, der auf den ersten Knotenpunkt zielt, durch alle Brechungen, die er nach einander erleidet, schliesslich seine Richtung nicht geändert hat, sondern seiner ursprünglichen Richtung parallel ist, aber um ein Stück längs der

Axe verschoben, und dieses Stück ist nichts Anderes als die Entfernung der beiden Knotenpunkte von einander. Ich nehme also einen Strahl, der auf den vorderen Knotenpunkt zielt, ich will beispielsweise denjenigen nehmen, welcher dem früher betrachteten einfallenden Strahle ab parallel ist, hk; so finde ich den Weg desselben nach der letzten Brechung, wenn ich vom hinteren Knotenpunkte $K_{,}$ aus eine Parallele mit ihm ziehe. Da $EF = K_{,}F_{,}$ ist, so muss dieser Strahl in unserem Beispiele auch in e ankommen, wie wir dies auch gefunden haben würden, wenn wir seinen Weg nach der letzten Brechung mittelst der Hauptpunkte aufgesucht hätten. Alle Strahlen, welche unter sich parallel einfallen, müssen irgendwo in der hinteren Brennpunktsebene mit einander zur Vereinigung kommen, ebenso wie alle Strahlen, die der Axe parallel einfallen, sich im hinteren Brennpunkte vereinigen. Wenn wir also im menschlichen Auge die Hauptpunkte oder die Knotenpunkte, ferner den vorderen und den hinteren Brennpunkt bestimmt hätten, so würden wir daraus eine Construction ableiten können, vermöge welcher wir mit Leichtigkeit, wenn wir irgend ein Object haben, das Netzhautbild dieses Objectes construiren können. Nun haben wir aber da noch bedeutende Schwierigkeiten. Den Krümmungshalbmesser im Scheitel der Hornhaut können wir messen und ihr eine sphärische Oberfläche substituiren. Ebenso am vorderen und hinteren Linsenpol. In der Tiefe der Linse aber kommen immer neue Curven, so dass wir den Krümmungshalbmesser der Scheitel nicht mehr mit Genauigkeit messen können. Wir können auch die mittlere Dichtigkeit der Linse bestimmen, aber wir kennen nicht das Gesetz, nach dem von Schicht zu Schicht die Dichtigkeit zunimmt. Zudem ist die Anzahl der Schichten so gross, dass, wenn alle diese Schichten als einzelne Flächen in Berechnung gezogen werden sollten, man eine im höchsten Grade complicirte Rechnung erhalten würde.

Um diese Schwierigkeiten zu überwinden, hat Listing dem wirklichen Auge ein schematisches substituirt, an dem man die Rechnung ausführt. Dies schematische Auge erhält er folgendermassen. Er nimmt vorn eine sphärische Oberfläche an, welche den Krümmungshalbmesser mit dem Corneascheitel gemein hat. Da die Hornhaut nahezu wie ein in eine concave Form gedrücktes Planglas wirkt, so vernachlässigt er ihre Substanz ganz und nimmt an, dass hinter dieser brechenden Fläche ein Medium von dem Brechungsindex des Humor aqueus gelagert sei. In dem Abstande des vorderen Poles der Linse vom Corneascheitel nimmt er eine zweite, sphärische, brechende Fläche an, deren Krümmungshalbmesser dem des vorderen Poles der Linse entspricht, und am Orte der hinteren Linsenoberfläche nimmt er eine sphärische Fläche an, deren Krümmungshalbmesser dem des hinteren Poles der Linse entspricht. Darauf folgt ein Medium von der Dichtigkeit des Glaskörpers. Das Normalauge ist im Zustande der Ruhe für die unendliche Ferne eingestellt; Listing muss also seine hintere Brennpunktsebene in der Ebene der Retina annehmen. Er muss aber schliesslich durch seine Rechnung herausbringen, dass die Strahlen, welche parallel unter sich einfallen, sich in dieser hinteren Brennpunktsebene vereinigen. Das kann er nur, indem er, wenn er dem Glaskörper seinen wirklichen Brechungsindex zuschreibt, der Linse einen höheren Brechungsindex gibt, als selbst ihr Kern hat. Auf Grundlage dieser Voraussetzungen fand Listing den vorderen Brennpunkt etwa einen halben Augendurchmesser vor dem Corneascheitel. Er fand die Hauptpunkte wenige Zehn-

theile eines Millimeters von einander entfernt im Humor aqueus. Er fand endlich die Knotenpunkte gleichfalls nur wenige Zehntheile eines Millimeters von einander entfernt in der Linse, und zwar nahe dem hinteren Pole derselben. Wir haben uns diese Punkte auf eine Linie aufgetragen, von der wir uns denken, dass die optischen Medien des Auges um diese Linie als Axe centrirt seien, und die wir deshalb die Augenaxe nennen. Wir werden später sehen, dass im strengen Sinne des Wortes diese Linie nicht existirt, weil das menschliche Auge thatsächlich nicht richtig centrirt ist. Diese Linie nun, die nur näherungsweise Richtigkeit beansprucht, fällt auch nicht genau zusammen mit der Gesichtslinie, das heisst mit der geraden Linie, welche den fixirten Punkt mit dem Centrum der Fovea centralis retinae verbindet. Die Gesichtslinie weicht nämlich gegen die Nasenseite hin um einen bei manchen Augen grösseren, bei anderen geringeren Winkel von dieser Axe ab.

Es handelt sich also nun darum, ob diese so auf der Augenaxe gefundenen Punkte der Wirklichkeit entsprechen, ob man sie benützen kann, um Netzhautbilder zu construiren. Ueber die hintere Brennpunktsebene ist kein Zweifel da, wo es sich eben um das Normalauge handelt. Theoretische Betrachtungen lehren ausserdem, dass die Veränderungen, welche Listing an seinem schematischen Auge vorgenommen, kaum einen wesentlichen Einfluss auf die Lage des vorderen Brennpunktes ausüben. Es ist ferner auch nach dem ganzen Baue des Auges und nach den Brechungsindices, die darin vorkommen, zu erwarten, dass in der That die beiden Knotenpunkte und die beiden Hauptpunkte, jeder nur um ein Geringes von einander entfernt sein werden. Aber was sichergestellt werden muss, das ist die Lage der Knotenpunkte, weil diese uns immer als Anhaltspunkte dienen bei der Construction der Netzhautbilder. Es handelt sich darum: liegen die Knotenpunkte wirklich nahe dem hinteren Pole der Linse? Dies ist nun durch einen Versuch von Volkmann sichergestellt worden. Wenn man bei jugendlichen, schwach pigmentirten Individuen das Auge stärker nach aussen wenden lässt, und bringt dann in einem dunklen Zimmer eine Kerzenflamme nach der Schläfenseite hin, so rückt, wenn man diese von der Gesichtslinie immer weiter entfernt, das Netzhautbild natürlich entsprechend immer weiter nach vorwärts, und wenn das Auge stark nach aussen gewendet ist, kommt das Netzhautbild endlich in der Lidspalte zum Vorschein, indem es durch die schwach pigmentirte Chorioidea und durch die Sclerotica hindurchscheint. Wenn man diesen Versuch macht, so hat man folgende Stücke: Erstens die Gesichtslinie, in der man den Punkt hat, der fixirt wird, und ausserdem den Drehpunkt des Auges oder Mittelpunkt des Auges, was man hier als gleichbedeutend ansehen kann. Man hat zweitens den Ort der Kerzenflamme: diesen hat man willkürlich gewählt. Man hat ferner den Ort des Netzhautbildes als Gegenstand directer Beobachtung. Verbindet man Bild und Object mit einander durch eine gerade Linie, so findet man den Punkt, an dem diese Gerade die Gesichtslinie schneidet. Dieser Punkt aber muss zwischen den beiden Knotenpunkten des Auges liegen, er muss also den Ort der Knotenpunkte angeben. Dieser Versuch von Volkmann hat in der That gezeigt, dass Listing den Ort der Knotenpunkte richtig bestimmt hat. Listing hat seine Untersuchungen zuerst in den „Göttinger Studien“ publicirt, dann hat er sie später noch einmal ausführlich und mit den ganzen dazu gehörigen

Rechnungen, die jetzt die Grundlage aller dioptrischen Rechnungen sind, die sich auf das menschliche Auge beziehen, in dem Artikel „Dioptrik des Auges“ in Rudolf Wagner's Handwörterbuch der Physiologie niedergelegt.

Wenn wir also die Grösse des Netzhautbildes von einem Objecte bestimmen wollen, so ziehen wir von dessen Endpunkten nach dem vorderen Knotenpunkte gerade Linien, und mit diesen parallel ziehen wir gerade Linien vom hinteren Knotenpunkte zur Netzhaut, dann erhalten wir das Netzhautbild in seiner umgekehrten Lage und in seiner Grösse. Es verhält sich also jeder Durchmesser des Netzhautbildes zu dem entsprechenden des Objectes, wie sich verhält die Entfernung des Netzhautbildes vom hinteren Knotenpunkte zur Entfernung des Objectes vom vorderen Knotenpunkte. Das ist der Satz, auf dem die ganze malerische Perspective beruht.

Da nun diese beiden Knotenpunkte nur sehr wenig von einander entfernt liegen, so kann man für eine Menge praktischer Fragen ihre Entfernung von einander vernachlässigen und sie als in einen Punkt zusammenfallend ansehen. Diesen Punkt bezeichnet man mit dem Namen des Kreuzungspunktes der Sehstrahlen, weil man ihn als Durchschnittspunkt erhält, wenn man zwei oder mehrere Punkte des Objectes mit correspondirenden Punkten des Bildes durch gerade Linien verbindet.

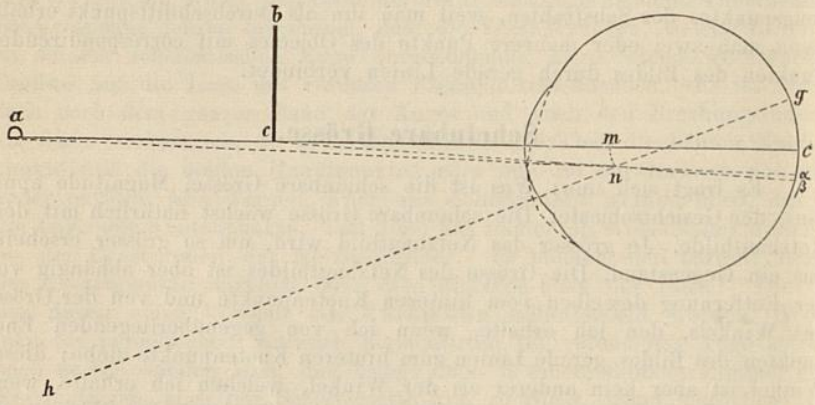
Scheinbare Grösse.

Es fragt sich nun: Was ist die scheinbare Grösse, Magnitudo apparens, der Gesichtsobjecte? Die scheinbare Grösse wächst natürlich mit dem Netzhautbilde. Je grösser das Netzhautbild wird, um so grösser erscheint uns ein Gegenstand. Die Grösse des Netzhautbildes ist aber abhängig von der Entfernung desselben vom hinteren Knotenpunkte und von der Grösse des Winkels, den ich erhalte, wenn ich von gegenüberliegenden Endpunkten des Bildes gerade Linien zum hinteren Knotenpunkte ziehe: dieser Winkel ist aber kein anderer als der Winkel, welchen ich erhalte, wenn ich von den entsprechenden gegenüberliegenden Punkten des Objectes gerade Linien zum vorderen Knotenpunkte hinziehe. Da nun beim Sehen mit unbewaffnetem Auge die Knotenpunkte nur wenig ihren Ort verändern — sie verändern ihren Ort bei der Accommodation, aber in verhältnissmässig engen Grenzen — so ist im Grossen und Ganzen die scheinbare Grösse von diesem Winkel abhängig, welchen man mit dem Namen des Sehwinkels bezeichnet.

Nun ist aber die Grösse des Netzhautbildes nicht das einzige Mittel, wonach wir die Grösse der Gegenstände beurtheilen. Wir begnügen uns damit nur bei kleinen Gegenständen, die wir mit einem Blicke übersehen. Wenn wir es aber mit grösseren Gegenständen zu thun haben, so durchmessen wir sie mit unseren Augen in ähnlicher Weise, wie der Astronom die Grössen am Himmel mit seinem Fernrohre durchmisst und ihre Abstände nach den Lagen bestimmt, die er demselben geben muss, um ein Object nach dem andern einzustellen. Hiebei dreht sich das Auge, indem es aus der Fixation des einen Endes des Gegenstandes in die des andern Endes des Gegenstandes übergeht, um eine Axe, und bei einer andern Bewegung wieder um eine andere Axe. Alle diese Axen schneiden sich

zwar nicht genau, aber näherungsweise in einem Punkte, und diesen nennen wir den Drehpunkt. Der Drehpunkt ist also derjenige Punkt im Auge, den man sich bei den verschiedenen Bewegungen desselben als ruhend zu denken hat. Dieser aber fällt weder mit dem vorderen, noch mit dem hinteren Knotenpunkte zusammen. Die scheinbare Grösse, der Winkel, den ich bei diesem Durchmessen erhalte, stimmt somit nicht genau mit dem überein, was ich früher als Gesichtswinkel bezeichnet habe. So lange die Objecte sehr klein sind, so lange ich es nur mit Punkten zu thun habe, die dem Fixationspunkte ganz nahe liegen, so lange wird diese Differenz nicht merklich; je mehr ich aber grössere Augenbewegungen mache, um so mehr wird dieser Unterschied merklich, und das ist, wenn auch keineswegs der einzige, doch mit ein Grund für die mangelhafte Orientirung, welche wir im indirecten Sehen haben. Dass der Drehpunkt des Auges wirklich hinter den Knotenpunkten liegt, davon kann man sich durch einen einfachen Versuch überzeugen. Denken Sie sich, ich hätte ein Object (Fig. 38 *a*), und ich verdecke es, während ich es fixire, vollständig durch

Fig. 38.



einen vorgeschobenen Schirm *b c* und wende jetzt mein Auge so, dass die Gesichtslinie von dem Rande des Schirmes, also auch vom Objecte abgewendet wird, die Lage von *h g* annimmt; so kommt das Object hinter dem Rande des Schirmes wieder zum Vorschein. Wie geht das zu? Das rührt daher, dass ich mit der Gesichtslinie auch die Knotenpunkte bewegt habe, und dass sie einen Kreisbogen *m n* beschrieben haben. Das Object *a* wird jetzt im indirecten Sehen gesehen, und wenn ich sein Netzhautbild finden will, so muss ich eine gerade Linie durch den sogenannten Kreuzungspunkt der Sehstrahlen *n* ziehen, dann finde ich das Bild in α. Will ich das Bild des Schirmrandes *c* finden, so muss ich von diesem wieder eine gerade Linie durch *n* ziehen und finde dasselbe in β. Da nun α dem Centrum retinae *c* näher liegt als β, so kann *a* nicht mehr von *b c* verdeckt werden.

Auf alle Fälle aber ist die scheinbare Grösse, mag ich sie bestimmen aus dem Netzhautbilde oder aus den Augenbewegungen, ein Winkelwerth, und sie kann nicht im Linearmasse ausgedrückt werden und auch nicht durch Vergleichung mit anderen Dingen, die mit Linearmass gemessen werden.

Es ist gar nicht selten, dass man Laien miteinander streiten hört, wie gross man den Mond sehe. Der eine sagt, er sehe den Mond so gross wie einen Fassboden, der andere sagt, er sehe ihn so gross wie einen Teller, der dritte sagt, er sehe ihn so gross wie einen Silbersechser. Die drei können sich natürlich nicht miteinander einigen, aber sie haben alle drei Recht. Denn es handelt sich nur darum, wie weit ich mir den Fassboden, den Teller oder den Silbersechser vom Auge entfernt vorstelle, um einen Winkelwerth herauszubringen, welcher gleich ist demjenigen der scheinbaren Grösse des Mondes.

Ich muss hiebei bemerken, dass die Entfernung, in welcher wir derartig entfernte Körper, wie den Mond, sehen, bei Weitem unterschätzt wird, und dass wir meist geneigt sind, das Bild des Mondes mit dem von verhältnissmässig grossen terrestrischen Dingen zu vergleichen, die wir uns unbewusst mehr oder weniger entfernt vom Auge vorstellen. Helmholtz bemerkt, dass auf dem blinden Flecke der Netzhaut, also auf der Eintrittsstelle des Sehnerven, eilf Vollmonde nebeneinander Platz haben.

J. Plateau hat über das Unterschätzen der Entfernung des Mondes folgenden interessanten Versuch durch seinen Sohn anstellen lassen. Der letztere projicirte das Nachbild des Vollmondes auf eine Mauer und näherte oder entfernte sich, bis ihm das projicirte Nachbild ebenso gross erschien, wie ihm der Mond erschienen war. Seine Entfernung von der Mauer fand sich dann gleich 51 Meter. Er hatte also, als er den Mond ansah, diesen in einer Entfernung von nur 51 Metern vorgestellt.

Eine nur theilweise erklärte Thatsache ist es, dass der Mond am Horizont uns immer grösser erscheint, als wenn er höher am Himmel steht. Natürlich kann dies nur daher rühren, dass wir die Entfernung des Mondes grösser schätzen, wenn er sich am Horizont befindet, als wenn er hoch am Himmel steht. Es fragt sich aber, wie das zu erklären sei. Man sagt, dass es davon herrühre, dass in dem unteren Theile der Atmosphäre mehr Dünste seien, und es Einem vermöge der stärkeren Wirkung der Luftperspective vorkomme, als ob der Mond entfernter sei. Es reicht aber diese Erklärung nicht ganz aus, denn bei terrestrischen Gegenständen unterliegt man ähnlichen Täuschungen. In meiner Heimat befand sich eine sehr hohe Stange, auf welche alljährlich ein Holzvogel gesteckt wurde, um darnach zu schiessen. Wenn dies geschehen sollte, wurde sie horizontal gelegt, und ich erinnere mich, dass mir der Vogel immer kleiner erschien, wenn sie aufgerichtet war, als ich ihn vorher vom Fussende der Stange aus gesehen hatte. Es scheint, dass man auch mitberücksichtigen muss, dass uns der Boden und die Gegenstände, die sich auf dem Boden befinden, einen Anhaltspunkt für die Schätzung der Entfernung geben, und dass man die Entfernung da mehr unterschätzt, wo Einem solche Anhaltspunkte nicht zu Gebote stehen.

Dass die scheinbare Grösse ein Winkelwerth ist, das wird auch manchmal bei der Angabe der Vergrösserungen des Mikroskops vergessen. Man glaubt genug zu thun, wenn man sagt, dieses Linsensystem vergrössert mit dem und dem Oculare fünfhundertmal. Das hat aber nur einen Sinn, wenn man eine bestimmte Entfernung zu Grunde gelegt, in welcher man sich das Object vor dem Auge vorstellt. Wenn ich sage: Der Gegenstand erscheint mir fünfhundertmal vergrössert, so hat das an und für sich keinen Sinn. Wenn ich aber sage, der Gegenstand erscheint

mir unter dem Mikroskope fünfhundertmal so gross, als mir derselbe Gegenstand erscheinen würde, wenn er sich vor dem freien Auge und acht Pariser Zoll vom Corneascheitel entfernt befinden würde, so hat dies allerdings einen Sinn.

Hiemit hängt es zusammen, dass auch bei Zeichnungen bisweilen die Vergrösserung, in welcher die Zeichnung den Gegenstand darstellt, ganz incorrect angegeben wird. Der Mikroskopiker zeichnet seinen Gegenstand aus dem Mikroskop, „so wie er ihn sieht", wie er sich wohl ausdrückt. Dann nimmt er die Tabelle, die ihm der Optiker über die Vergrösserung mitgegeben hat, und sieht, bei welcher Vergrösserung er gezeichnet. Diese schreibt er als Vergrösserung seines Bildes dazu. Dabei findet man nun manchmal die gröbsten Incongruenzen, wenn man die Vergrösserung wirklich in correcter Weise bestimmt, das heisst, wenn man einen bekannten Gegenstand in der Abbildung, z. B. ein Blutkörperchen durchmisst und dieses Mass mit der reellen Grösse des Blutkörperchens vergleicht. Man soll deshalb die Vergrösserung von Zeichnungen, wenn man sie überhaupt angibt, immer so angeben, dass man das Object mikrometrisch unter dem Mikroskope durchmisst und dann die Zeichnung misst. Die zuletzt gefundene Grösse dividirt man durch die zuerst gefundene: der Quotient ist dann die Zahl, mit welcher man die Vergrösserung bezeichnen muss.

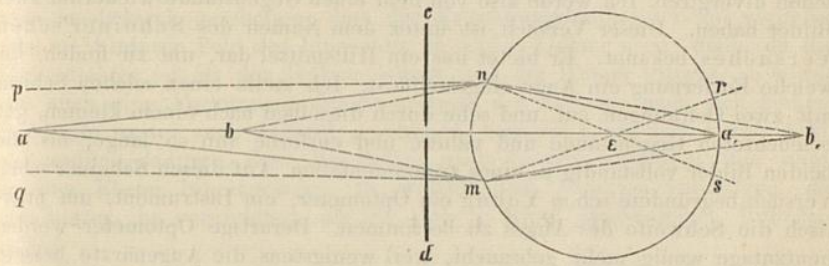
Wenn man für gewöhnlich nach dem Augenmasse die Durchmesser von Dingen angibt, so gibt man sie nicht in scheinbarer, sondern in wirklicher Grösse an, man gibt sie in linearem Maasse an. Man fällt ein Urtheil über die wirkliche Grösse, indem man einen unbewussten Schluss zieht aus der scheinbaren Grösse und aus der Entfernung, welche man dem Gegenstande zuschreibt. Dieser Schluss ist, wie gesagt, unbewusst: derjenige, der schätzt, gibt sich keine Rechenschaft über die Entfernung des Gegenstandes und noch weniger über die scheinbare Grösse desselben. Wenn man einen Förster fragt: Wie dick ist der Baum, der da steht? so sagt er mit ziemlicher Genauigkeit: Er hat so und so viel im Durchmesser. Fragt man aber den erfahrensten Förster, wie gross der Sehwinkel sei, unter dem er diesen Baumstamm sieht, so wird er nicht im Stande sein, darüber auch nur die geringste Auskunft zu geben. Hiemit hängt es zusammen, dass auch die wirkliche Grösse der Dinge überschätzt oder unterschätzt wird, je nachdem man die Entfernung, in welcher sich die Gegenstände befinden, überschätzt oder unterschätzt. Nordländer, die in den Alpen reisen, unterschätzen anfangs alle Entfernungen. Es hängt das mit der grösseren Durchsichtigkeit der Luft zusammen. Man kann nicht selten bemerken, dass sie mit der Grösse der Entfernung auch im hohen Grade die Dimensionen der Gegenstände unterschätzen. Ich habe einmal an einem unserer Gebirgsseen zwei Reisende darüber streiten hören, was denn der rothe Fleck am anderen Ufer des Sees sei. Der eine meinte, es sei ein rothes Tuch. Der andere meinte, es sei ein Zeichen von rothangestrichenen Brettern, das sich die Fischer gemacht hätten. In Wahrheit aber war dieser rothe Fleck nichts Anderes als ein Lager von rothem Gestein mit einem quadratischen, zu Tage liegenden Querschnitte, der vielleicht das Zwanzigfache von dem Areale hatte, welches ihm der Reisende zuschrieb, indem er es mit einem rothen Tuche verglich.

Sehweite und Accommodation.

Wir haben jetzt das Auge immer so betrachtet, als ob es für die unendliche Ferne eingestellt wäre, denn wir haben die hintere Brennpunktsebene in die Netzhaut selbst verlegt. Da wir nun aber nähere Gegenstände willkürlich deutlich sehen und dann wieder deutlich fernere Gegenstände, so ist es klar, dass wir unser Auge für verschiedene Entfernungen einstellen können. Es fragt sich nun zunächst, ist das Auge im Zustande der Ruhe für den fernsten Punkt eingestellt, für welchen es sich überhaupt einstellen kann, oder für einen nähern?

Was geschieht, wenn ein Gegenstand dem Auge so nahe gerückt wird, dass die Strahlen nicht mehr auf der Netzhaut, sondern hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen, wie z. B. die Strahlen, welche in Figur 39 von *b* ausgehen und sich in *b,* vereinigen, während die Strahlen, die von *a* ausgehen, sich in *a,* auf der Netzhaut vereinigen? Hier geht die Netzhaut durch einen Lichtkegel, und der Durchschnitt dieses Lichtkegels wird auf der Netzhaut als eine Scheibe erscheinen. Diese bezeichnen wir mit dem Namen des Zerstreuungskreises. Wenn wir eine Menge von Punkten haben, so werden die Zerstreuungskreise theil-

Fig. 39.



weise einander decken und dadurch das Sehen undeutlich machen. Legen wir vor das Auge einen Schirm *c d,* in dem sich eine kleine Oeffnung befindet, so kann von dem ganzen Strahlenkegel, der von *b* ausgeht, nur ein sehr dünnes Strahlenbündel hindurchtreten, und dieses wird auch nur einen sehr kleinen Zerstreuungskreis geben können. Wir werden daher Gegenstände, die unserem Auge zu nahe sind, als dass wir sie deutlich sehen könnten, wenn sie anders gut beleuchtet sind, noch deutlich sehen dadurch, dass wir sie durch eine kleine Oeffnung betrachten.

Dasselbe ist der Fall, wenn der Gegenstand zu fern für das Auge liegt. Wenn z. B. ein Kurzsichtiger auf die Gegenstände der Landschaft sieht, so vereinigen sich die Strahlen vor der Netzhaut, wie die Strahlen *p n* und *q m* in Figur 39 sich in ε vereinigen: sie divergiren hierauf, man erhält auf der Netzhaut einen Durchschnitt *(r s)* des divergirenden Lichtkegels, also wieder einen Zerstreuungskreis. Auch diesen kann man durch eine sehr kleine Oeffnung auf ein Minimum reduciren. Ich kann deshalb einem Kurzsichtigen die Landschaft auch ohne Brille, wenn sie nur gut beleuchtet ist, deutlich zeigen, dadurch, dass ich durch eine Visitenkarte mit einer Nadel ein Loch steche und ihn dieses vor das Auge bringen lasse.

Denken Sie sich, ich hätte statt der einen Oeffnung, welche sich im Schirme befindet, zwei solche, die so nahe bei einander liegen, dass die Strahlenbündel, welche durch beide hindurchgehen, gleichzeitig durch die Pupille ins Auge gelangen können. Ich hätte nun einen Gegenstand, der so weit vom Auge entfernt ist, dass alle Strahlen, welche von ihm ins Auge gelangen, auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Dann werden auch die beiden Strahlenbündel, welche durch die beiden Löcher hindurchgehen, auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen, ich werde also von diesem Gegenstande ein Bild haben. Denkt man sich aber, die Ebene der Netzhaut läge vor dem Vereinigungspunkte der Strahlen, so würde ich den Gegenstand nicht einfach, sondern doppelt sehen, denn ich würde zwei Bilder von jedem seiner Punkte haben, wovon das eine dem einen, das andere dem anderen Loche angehörte. Das würde also geschehen, wenn ich einen Gegenstand in einer Entfernung diesseits des deutlichen Sehens hätte. Ich denke mir nun, ich hätte einen Gegenstand in einer Entfernung jenseits des deutlichen Sehens. Es sei das beobachtende Auge ein kurzsichtiges, und ich hätte einen Gegenstand in eine grössere Entfernung gebracht, so dass die Netzhaut hinter dem Kreuzungspunkte der Strahlen liegt. Dann werden die beiden Strahlenbündel sich vor der Netzhaut schneiden, und wenn sie dieselbe treffen, schon divergiren. Ich werde also von dem einen Gegenstande wiederum zwei Bilder haben. Dieser Versuch ist unter dem Namen des Scheiner'schen Versuches bekannt. Er bietet uns ein Hilfsmittel dar, um zu finden, für welche Entfernung ein Auge eingestellt ist. Ich stelle einen solchen Schirm mit zwei Oeffnungen auf und sehe durch dieselben nach einem kleinen, gut beleuchteten Gegenstande und nähere und entferne ihn so lange, bis die beiden Bilder vollständig in eines zusammenfallen. Auf diesen Scheiner'schen Versuch begründete schon Young ein Optometer, ein Instrument, um praktisch die Sehweite des Auges zu bestimmen. Derartige Optometer werden heutzutage wenig mehr gebraucht, weil wenigstens die Augenärzte bessere Hilfsmittel haben, um sich von der Sehweite eines Individuums zu überzeugen. In Wien ist das Young'sche Optometer bei den Optikern da, wo es sich noch findet, in einer Form in Gebrauch, die ihm Stampfer gegeben hat. Es sind an demselben statt der beiden Löcher zwei parallele Spalten vorhanden, und durch diese wird nach einem dritten gleichgerichteten Spalt gesehen, der vor einem matten Glase aufgestellt ist, damit man ihn leichter gleichmässig beleuchten kann, und damit er weniger Veranlassung zu Beugungserscheinungen gibt. Dieser Spalt kann mittelst eines Getriebes entfernt und genähert werden, indem er in einer Röhre angebracht ist, die sich in einer andern verschiebt, welche an ihrem vorderen Ende die beiden erstgenannten Spalten trägt. Damit man nun aber schon innerhalb einer endlichen Entfernung den Fernpunkt jedes Auges erhält, das heisst den fernsten Punkt, für den es sich einstellen kann, so ist hinter der Doppelspalte eine Sammellinse angebracht, durch welche jedes Auge, das hindurchsieht, in Rücksicht auf den dritten Spalt in ein kurzsichtiges verwandelt wird. Auf der inneren Röhre selbst ist bei den Theilstrichen die Brennweite der Brillengläser angegeben, welche man dem zu geben hat, der für den bezüglichen Theilstrich einstellt.

Den Scheiner'schen Versuch nun hat Volkmann benützt, um nachzuweisen, dass das menschliche Auge im Zustande der Ruhe für seinen

Fernpunkt eingestellt ist. Er stellte ihn so an, dass er durch zwei Oeffnungen auf einen weissen Faden sah, welchen er über einem dunklen Grunde so aufgespannt hatte, dass sich derselbe perspectivisch sehr stark verkürzte. Von diesem Faden musste er einen Theil einfach sehen, den Theil, der in der Entfernung seines deutlichen Sehens lag. Die näheren und entfernteren Partien aber musste er doppelt sehen. Er musste also den Faden als zwei helle Linien sehen, die sich unter einem spitzen Winkel kreuzen. Er fand nun, dass, wenn er das Auge vorher geschlossen hatte und, dasselbe öffnend, durch beide Löcher auf den Faden blickte, er immer die Kreuzungsstelle in einer solchen Entfernung sah, dass er dieselbe nicht willkürlich weiter hinausschieben konnte, wohl aber durch willkürliche Accommodation, durch willkürliches Einstellen seines Auges, weiter heranziehen.

Die Einstellung des Auges für die Nähe muss darin bestehen, dass wir das Auge in der Weise verändern, dass Strahlen, welche im ruhenden Auge erst hinter der Netzhaut zur Vereinigung gekommen wären, auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Es fragt sich: Auf welche Weise kann dies bewerkstelligt werden? Dies könnte erstens dadurch bewerkstelligt werden, dass der Krümmungshalbmesser des Corneascheitels kleiner wird. Dann müssten gleich nach der ersten Brechung die Strahlen stärker convergiren, sie würden sich also früher vereinigen. Zweitens kann es dadurch geschehen, dass der Krümmungshalbmesser am vorderen oder am hinteren Pole der Linse oder an beiden kleiner wird: denn, da die Linse dichter ist als der Humor aqueus und der Humor vitreus, so würde dies auch eine Verkürzung der Brennweite des Systems nach sich ziehen. Es könnte weiter auch dadurch geschehen, dass die Linse nach vorne rückt, und endlich dadurch, dass die Retina nach hinten ausweicht und somit in eine Ebene hineingelangt, in welcher sich Strahlen vereinigen, die sich hinter ihr vereinigten, als sie sich in ihrer gewöhnlichen Ruhelage befand.

Wenn man nun diese verschiedenen Hilfsmittel für die Accommodation einzeln durchnimmt, so lehrt zunächst die Erfahrung, dass die Hornhaut den Krümmungshalbmesser ihres Scheitels beim Sehen in die Nähe und in die Ferne durchaus nicht verändert. Das Spiegelbild, welches ein Fenster oder eine Flamme auf der vorderen Fläche der Cornea gibt, ist überaus deutlich: man kann es mit Leichtigkeit mit einem Fernrohre beobachten. Zwei solche Flammenbilder müssten sich einander nähern, wenn der Krümmungshalbmesser der Cornea kleiner würde. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Alle Versuche stimmen darin überein, dass die Lage und die Grösse der Flammenbilder unverändert bleibt und mithin die Cornea ihren Krümmungshalbmesser nicht ändert.

Anders verhält es sich mit der Linse. Die Linse gibt zweierlei Spiegelbilder, solche von der vorderen Fläche und solche von der hinteren Fläche. Diese Bilder sind fast gleichzeitig und unabhängig von einander von Kramer und von Helmholtz untersucht worden, und Beide haben gefunden, dass zwei Bilder, welche der vorderen Linsenfläche angehören, sich beim Sehen in die Nähe einander nähern, beziehungsweise, wenn nur ein Bild beobachtet wird, dass sich dieses eine Bild verkleinert. Die vordere Linsenoberfläche wird also convexer, und die Beobachtung der Bilder von der hinteren Oberfläche zeigt, dass auch diese convexer wird.

Es fragt sich dabei, ob die Linse auch ihren Ort verändert. Um dies zu untersuchen, hat Helmholtz ein eigenes Instrument construirt, das Ophthalmometer, mit welchem er die Entfernung des Scheitels der Cornea vom vorderen und hinteren Pole der Linse bestimmen konnte. Bei diesen Untersuchungen fand er, dass der hintere Pol der Linse seinen Ort nicht verändert, dass aber der vordere Pol etwas nach vorn rückt, dass also die Linse dicker wird.

Auf welche Weise kommt diese Formveränderung der Linse zu Stande? Wir sehen, dass die Accommodation gelähmt wird, wenn die Muskeln des inneren Auges gelähmt werden. Wir sehen erstens, dass die Accommodation bei Oculomotoriuslähmungen aufgehoben ist; da sind aber auch die äusseren Augenmuskeln gelähmt. Dann sehen wir aber auch, dass, wenn wir einem Auge Atropin einträufeln, wodurch nur innere Augenmuskeln gelähmt werden, das Auge dauernd für seinen Fernpunkt eingestellt wird. Wir haben also den Tensor chorioideae und die Muskelfasern der Iris, zunächst den Sphincter pupillae, zu berücksichtigen. Wenn der Tensor chorioideae sich zusammenzieht, so verkleinert er eine Oberfläche, die nach vorn durch die Hornhaut, nach hinten durch die Chorioidea und die in ihr liegende Retina begrenzt ist. Er muss also die Chorioidea mit der in ihr liegenden Retina um den Glaskörper anspannen, beziehungsweise den Theil der Chorioidea, an den er sich zunächst inserirt, nach vorn ziehen. Die Folge davon ist, da dieser Theil an der Zonula Zinnii befestigt ist, dass auch die Zonula mit nach vorn gezogen wird, und somit die Zonula Zinnii und speciell der Theil, der sich an die Linse ansetzt, der von den Ciliarfortsätzen zur Linse geht, erschlafft wird. Dieser Theil aber hat früher einen peripherischen Zug an der Linse ausgeübt, der jetzt nachlässt, so dass die Linse in eine andere Gleichgewichtsfigur übergeht, dass sie nach vorn und hinten convexer und damit auch dicker wird.

Diese Accommodationstheorie ist in neuerer Zeit durch die Versuche, welche Hensen an Hunden und Katzen und auch an einem Affen angestellt hat, zur vollen Evidenz gebracht worden. Erstens hat er durch directe Reizung der Ciliarnerven die Accommodation hervorgebracht. Zweitens hat er sich auch überzeugt, dass die ausgeschnittene Hundelinse derjenigen Gestalt entsprach, welche sie im Auge hat, wenn das Auge für die Nähe accommodirt ist.

Damit, dass die Accommodation durch diese Formveränderung der Linse hervorgebracht wird, hängt es auch zusammen, dass sie im Alter verloren geht. Die jugendliche Linse ist nachgiebig, verändert ihre Form sehr leicht, die alte Linse aber ist widerstandsfähiger, sie behält deshalb, es mag der Zug der Zonula an ihr ausgeübt werden oder nicht, ihre Form bei oder ändert sie doch nur wenig, und das ist der Zustand, den wir mit dem Namen der Presbyopie, des Gesichtsfehlers der Alten, bezeichnen. Presbyopie ist nicht Weit- oder Uebersichtigkeit, nicht der Gegensatz von Kurzsichtigkeit, denn alte Leute können kurzsichtig sein und doch presbyopisch, indem ihr Auge ebenso stabil für eine geringe Entfernung eingestellt ist, wie das von Greisen, die in ihrer Jugend Normalaugen gehabt haben, für die unendliche oder doch für eine sehr grosse Entfernung eingestellt ist.

Fragen wir uns weiter, ob auch die Muskeln der Iris bei der Accommodation irgend eine Rolle spielen. Die Iris verengert sich, wie wir

früher gesehen haben, etwas bei der Accommodation für die Nähe. Wenn der Sphincter und Dilatator pupillae sich gleichzeitig zusammenziehen, so müssen sie die Iris, wenn sie nicht in einer Ebene liegt, wenn sie einen abgestumpften Kegel bildet, in eine Ebene bringen. Man hat deshalb, indem man der Meinung war, dass die Iris nach vorne kegelförmig oder kuppelförmig ausgebaucht sei, geglaubt, dass durch die gleichzeitige Contraction des Sphincter und Dilatator pupillae ein Druck auf die Linse ausgeübt werde. Dadurch bilde sich an der vorderen Oberfläche der Linse und in der Pupille eine kleine Kuppe. In der That findet man in den Augen von Leichen nicht selten Linsen, an denen eine solche Kuppe zu sehen ist, so dass man glauben könnte, die Linse habe in der That hier oftmals einen Druck auf einer ringförmigen Zone erlitten. Der verstorbene Professor v. Vivenot hat, als er als junger Mann hier im Institute arbeitete, viele Linsen in Gyps abgegossen, und an diesen Gypsabgüssen war auf Querschnitten nicht selten diese kuppenartige Hervorragung an der vorderen Fläche zu sehen. Andererseits muss man sich aber sagen, dass keineswegs immer die Iris nach vorne vorgebaucht ist, sondern dass sie nur kegelförmig vorgeschoben ist in gewissen Augen und bei bedeutender Verengerung der Pupille, indem dann ihr Rand auf der convexen vorderen Fläche der Linse nach vorne schleift. Zweitens muss man sich sagen, dass bei der Schwäche der Muskeln der Iris und bei dem geringen Werthe der Componente, welche bei der gleichzeitigen Zusammenziehung des Sphincter und des Dilatator pupillae für unsern Druck zur Wirkung kommt, derselbe jedenfalls ein sehr geringer sein muss, so dass man ihm kaum einen irgendwie in Betracht kommenden Einfluss auf die Gestalt der Linse zuschreiben kann.

Helmholtz hat durch Rechnung gezeigt, dass die Gestaltveränderung, die die Linse bei der Accommodation erleidet, hinreicht, um diejenige Accommodation hervorzubringen, welche sich bei dem betreffenden Individuum thatsächlich vorfindet. Es muss aber dennoch die Frage erörtert werden, ob es ausser der Gestalt und Lageveränderung der Linse noch andere Accommodationsmittel gebe. Die Hornhaut haben wir schon besprochen und haben gesehen, dass wir mit dieser nicht accommodiren. Es bleibt nur noch die Netzhaut übrig. Es fragt sich, ob die Netzhaut bei der Accommodation zurückrückt. Hierüber sind die Ansichten verschieden. Alle stimmen darin überein, dass Augen, aus denen die Linse beseitigt worden ist, wie dies bei der Staaroperation geschieht, nicht etwa blos in einer Ebene deutlich sehen, sondern dass sie auch annäherungsweise ebenso deutlich in einer etwas geringeren oder grösseren Entfernung sehen. Die Art, wie dies erklärt wird, ist eine verschiedene. Die Einen führen es darauf zurück, dass an und für sich schon nicht alle Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, bei vollkommener Einstellung des Auges wieder in einen Punkt der Netzhaut versammelt werden. Wenn man zugleich in Betracht zieht, dass vermöge der im Auge angebrachten Blendung, der Pupille, die Lichtkegel, die auf die Netzhaut stossen, verhältnissmässig kleine Winkel haben, so erhellt, dass nach der einen und der andern Seite hin der Durchmesser der Zerstreuungskreise anfangs sehr langsam wächst. Die Individuen mögen es deshalb nicht bemerken, ob ein Gegenstand etwas diesseits oder jenseits der Ebene liegt, für welche ihr Auge eingestellt ist. Sie mögen auch etwas diesseits und etwas jen-

seits dieser Ebene die Gegenstände mit annähernd gleicher Deutlichkeit sehen. Andere dagegen sind der Meinung, dass solche linsenlose Augen wirklich noch eingestellt werden, und zwar dadurch, dass die Retina beim Sehen in die Nähe, wenn auch nur um ein Geringes zurückweicht. Wie kann das geschehen? Das kann man sich theoretisch etwa folgendermassen zurechtlegen. Wir haben gesehen, dass sich die Sclerotica in ihrer Gestalt bald mehr einem Ellipsoid annähert, das durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstanden ist, bald mehr einem Ellipsoid, das durch Umdrehung einer Ellipse um ihre grosse Axe entstanden ist. Im ersten Falle nun kann man sich allerdings denken, wie es zugehen kann, dass die Retina beim Sehen in die Nähe zurückweicht. Denken Sie sich, der Tensor chorioideae spannt sich an, so sucht er dabei eine geschlossene Oberfläche zu verkleinern, die einerseits durch die Cornea gebildet wird und andererseits durch die Chorioidea und die in ihr liegende Retina. Diejenige Gestalt, welche bei gleichem Inhalte die kleinste Oberfläche hat, ist die Kugel. An der Cornea kann dieser Zug nichts ändern und ändert factisch nichts, das weiss man aus directer Beobachtung. Es wäre aber möglich, dass das Ellipsoid der Sclerotica sich mehr der Kugelform annähert, und dass dadurch die Retina etwas nach hinten zurückweicht. Die Wirkung des Tensor chorioideae könnte noch durch die Wirkung der Augenmuskeln unterstützt werden: denn die geraden Augenmuskeln ziehen, am vorderen Theile der Sclera angeheftet, diesen nach hinten. Die schiefen Augenmuskeln drehen das Auge. Da sie aber am hinteren Theile der Sclera angeheftet sind, und die Insertion des Obliquus inferior und die Trochlea weiter nach vorn liegen, so ziehen sie, wenn sie gleichzeitig wirken und somit ihre drehenden Componenten einander compensiren, die hintere Hälfte der Sclerotica nach vorn. Wirken also die geraden und schiefen Augenmuskeln zusammen, so muss die Folge davon sein, dass die Scleroticalsphäre sich mehr der Kugelform annähert. Allerdings könnte dies nichts helfen bei den hochgradig kurzsichtigen Augen. In den Fällen von hochgradiger, angeborner Kurzsichtigkeit, wo das Auge eine ungewöhnliche Tiefe hat und die Sclerotica sich der Gestalt eines Ellipsoids annähert, das durch Umdrehung einer Ellipse um ihre grosse Axe entstanden ist, da müsste das gerade Gegentheil nach derselben Betrachtungsweise stattfinden. Nun weiss man aber andererseits, dass gerade bei diesen Augen sich mit der Zeit der hinterste Theil der Sclerotica kuppelförmig nach hinten ausbaucht und so der Zustand bedingt wird, welchen man mit dem Namen des Staphyloma posticum bezeichnet. Man weiss weiter, dass durch Accommodationsanstrengungen oder, vorsichtiger gesprochen, dass durch die dauernde Fixation naher Gegenstände die Entwickelung dieses sogenannten Staphyloma posticum befördert wird, und das ist dahin gedeutet worden, dass bei der Accommodation in die Nähe die Retina nach hinten auszuweichen suche, kann aber auch erklärt werden durch die Annahme, dass die stärkere Convergenz der Gesichtslinien Bedingungen mit sich führe, welche zur Entwickelung des Staphyloma posticum Veranlassung geben. Dies sind die Gründe, welche sich für und gegen die Accommodation durch Zurückweichen der Retina anführen lassen. Ich muss hinzufügen, dass Donders nach seiner Erfahrung den Rest von wahrer Accommodation, der so erklärt werden soll, gänzlich leugnet, das heisst, er leugnet, dass das Auge,

nachdem die Linse entfernt worden ist, noch willkürlich und wechselnd verschieden entfernte Gegenstände verschieden deutlich sehen könne.

Es fragt sich nun weiter: Gibt es in der That keine Accommodation für die Ferne? Durch den Volkmann'schen Versuch haben sich nicht Alle vollständig befriedigt erklärt. Namentlich Kurzsichtige sagen, dass sie auf kurze Zeit in die Ferne deutlicher sehen können als gewöhnlich, nur müssen sie dabei eine Anstrengung machen, die sie auf die Dauer nicht fortzusetzen vermögen. Wenn man nun beachtet, was die Kurzsichtigen thun, wenn sie in die Ferne sehen wollen, so wird man bemerken, dass sie den Orbicularis palpebrarum zusammenziehen, dabei aber durch den Levator palpebrae superioris die Lidspalte offen erhalten, so dass sie eine verkleinerte Lidspalte haben, und mit dem Orbicularis palpebrarum einen Druck auf die Cornea ausüben. Es scheint, dass sie auf diese Weise durch momentane Abflachung der Cornea, vielleicht auch dadurch, dass sie auf der Oberfläche derselben einen Flüssigkeitsmeniscus zu Stande bringen, ihr Auge für kurze Zeit für eine grössere Entfernung einstellen. Es ist dies aber jedenfalls ein Act, der mit der inneren Accommodation, wie wir sie behufs der Einstellung des Auges für die Nähe kennen gelernt haben, nicht verglichen werden kann.

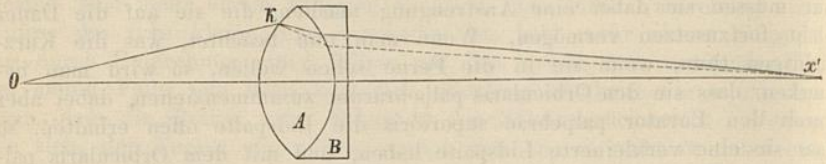
Mängel des dioptrischen Apparates.

Chromasie.

Bis jetzt haben wir immer angenommen, dass das Auge, wenn es einmal genau eingestellt ist, alle Strahlen, welche von einem deutlich gesehenen Punkte kommen, auch wieder auf einen Punkt der Netzhaut vereinige. Das erleidet aber bedeutende Einschränkungen. Zunächst werden im Auge, wie überall, die Strahlen von kurzer Wellenlänge stärker gebrochen als die Strahlen von grösserer Wellenlänge. Letztere werden sich deshalb voraussichtlich später vereinigen. Bei unseren künstlichen, aus Glas gebildeten optischen Instrumenten vermeiden wir diesen Uebelstand dadurch, dass wir eine Sammellinse von Crownglas mit einer Zerstreuungslinse von Flintglas verbinden. Der Brechungsindex von Flintglas ist allerdings höher als der des Crownglases, aber das Farbenzerstreuungsvermögen des Flintglases ist beinahe doppelt so gross als das des Crownglases, und dadurch wird es möglich, dass wir zwei solche Linsen zusammensetzen können, die mit einander noch eine Sammellinse bilden und die doch die rothen und die violetten Strahlen in einer und derselben Entfernung vereinigen. Es geschieht dies dadurch, dass die Zerstreuungslinse von Flintglas, indem sie eben stark genug ist, die ganze Farbenzerstreuung aufzuheben, welche durch die Crownglaslinse bedingt wird, nur einen Theil der gesammten Ablenkung wieder aufhebt, welche die einzelnen Strahlen durch die Crownglaslinse erlitten haben. Es sei Figur 40 A die Crownglaslinse, B die Flintglaslinse, O der Lichtpunkt und x' der Vereinigungspunkt der von diesem ausgehenden Strahlen, so bezeichnet $O\,K$ einen auffallenden Strahl gemischten Lichtes. Der weitere Weg desselben nach der ersten Brechung ist für die Strahlen von der grössten Wellenlänge

ausgezogen, für die Strahlen von der kleinsten Wellenlänge punktirt dargestellt. Die Möglichkeit dieser achromatischen Combinationen wurde zuerst von Euler dargethan, und von Dollond in London wurden die ersten achromatischen Objective ausgeführt.

Fig. 40.

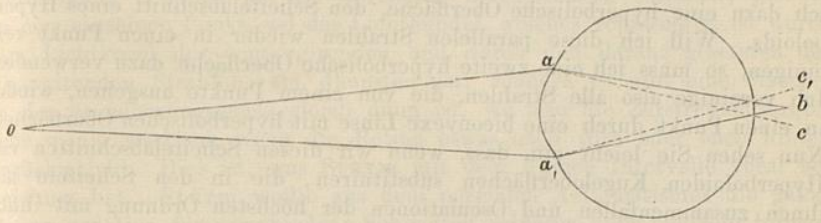


Es fragt sich nun: Ist das Auge auch nach diesem oder nach irgend einem andern Principe achromatisirt, und zwar in der That in so vollkommener Weise, dass die brechbarsten und die am wenigsten brechbaren Strahlen sich wirklich in einer und derselben Entfernung hinter der Linse vereinigen? Wir wissen durch die Untersuchungen von Fraunhofer, dass letzteres nicht der Fall ist. Wollaston hatte im Sonnenspectrum eine Reihe dunkler Linien aufgefunden, und mit der Untersuchung dieser Linien beschäftigte sich später Fraunhofer. Vermöge seiner vortrefflichen optischen Instrumente entdeckte er noch eine grosse Anzahl schwächerer Linien, die der Beobachtung von Wollaston entgangen waren. Alle diese Linien im Spectrum werden jetzt nach Fraunhofer mit dem Namen der Fraunhofer'schen Linien bezeichnet. Bei diesen Arbeiten bemerkte er, dass er sein achromatisches Fernrohr verstellen musste, wenn er die Linien im Roth beobachtet hatte und nun zur Beobachtung der Linien im Gelb, Grün, Blau übergehen wollte. Da er wusste, dass sein Fernrohr achromatisch sei, so schloss er daraus, dass sein Auge nicht achromatisch sein könne, und dies zeigte sich auch in der That. Man kann auch mit anderen Hilfsmitteln, z. B. dadurch, dass man Theilungen mit verschiedenfarbigem Lichte beleuchtet, oder die Theilungen auf verschiedenfarbigen Gläsern einritzt, zeigen, dass das Auge jedesmal weitsichtiger ist für die rothen Strahlen und kurzsichtiger ist für die blauen und violetten, weil eben im Auge die kurzwelligen Strahlen stärker gebrochen werden als die langwelligen. Man kann auch die Farbenzerstreuung für das Auge sichtbar machen, wenn man ein Netzwerk aus weissen Fäden in einer solchen Entfernung ansieht, dass die Fäden vermöge der gebildeten Zerstreuungskreise nicht mehr scharf gesehen werden; dann findet man die Ränder der Fadenbilder farbig.

Warum sieht man für gewöhnlich von dieser Farbenerscheinung nichts? — Die Zerstreuung ist keine so bedeutende, dass die Farben des Spectrums vollständig von einander getrennt würden. Bei dem eben erwähnten Versuche sieht man nur blaue und gelbrothe oder rothgelbe Säume. Nun sei in Figur 41 $o\,a$ ein weisser, $a\,b$ ein gelber, $a\,c$ ein blauer Strahl, so würden von der andern Seite gleichfalls zwei Strahlen kommen a, b und $a, c,$. Wenn die Netzhaut zwischen dem Vereinigungspunkte für die violetten Strahlen und dem für die rothen Strahlen liegt, so schneidet sie an einer Stelle durch, an der die langwelligen Strahlen, die von der einen Seite kommen, auf die kurzwelligen fallen, die von der andern Seite

kommen, und umgekehrt. Nun ist, wie gesagt, die Farbenzerstreuung zu gering, als dass die Farben vollständig von einander getrennt wären, sie beschränkt sich darauf, dass man auf der einen Seite mehr Gelbroth

Fig. 41.



und auf der andern mehr Blau hat. Fallen also die Strahlen von beiden Seiten her übereinander, so compensiren sich die Farben und heben einander auf. Wenn aber die Retina entweder durch den Vereinigungspunkt der violetten Strahlen oder durch den der rothen fällt, dann ist dies nicht der Fall, und deshalb sehen wir die farbigen Säume an Gegenständen, für welche das Auge nicht eingestellt ist. Ferner, wenn wir mit einem Gegenstande unsere halbe Pupille verdecken, so sehen wir sofort an weissen Gegenständen, die sich auf dunklem Grunde absetzen, farbige Säume, weil wir nun die Compensation aufheben, indem wir die Strahlen, die durch die eine Hälfte des Auges gehen, abblenden.

Von der Verminderung der Sehschärfe, welche die Farbenzerstreuung des normalen Auges bedingt, merken wir für gewöhnlich nichts. Dass sie dennoch vorhanden ist, davon kann man sich in folgender Weise überzeugen. Man wählt auf die Seite 176 beschriebene Art zwei gleich helle farbige Gründe, z. B. ein rothes und ein blaues Papier, von denen das eine, sagen wir das rothe, nur Farben von wenig verschiedener Wellenlänge, etwa nur Farben bis zu den *D*-Linien zurückgibt, das andere aber Strahlen aus allen oder fast allen Theilen des Spectrums. Nun projiciren wir auf beide ein schwarzes Gitter und suchen den kleinsten Gesichtswinkel, unter dem wir die Stäbe desselben unterscheiden. Wir werden finden, dass das Unterscheidungsvermögen bei Anwendung des rothen Grundes besser ist. Jetzt mischen wir beide Farben auf optischem Wege, so dass wir drei gleich helle Gründe erhalten, einen rothen, einen purpurfarbenen und einen blauen. Wir werden jetzt finden, dass das Unterscheidungsvermögen auf dem purpurfarbenen Grunde noch schlechter ist als auf dem blauen. Dieser Versuch zeigt zugleich, dass man das Unterscheidungsvermögen nicht allgemein als Mass für die Helligkeit einer Beleuchtung anwenden kann, sondern nur für gewisse praktische Zwecke.

Polyopia monophthalmica.

Der Mangel an Achromasie ist nicht die einzige Unvollkommenheit des optischen Apparates des Auges. Bekanntlich gibt es an unseren künstlichen Instrumenten noch eine zweite Unvollkommenheit, welche wir mit dem Namen der sphärischen Aberration bezeichnen. Wenn auf eine Linse

mit sphärischen Oberflächen von irgend einem Punkte aus Strahlen fallen, so kommen die Strahlen, welche durch den Randtheil einfallen, früher zur Vereinigung als diejenigen, welche durch die Mitte einfallen. Das hängt folgendermassen zusammen. Wenn ich Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, durch eine Brechung unter sich parallel machen will, so brauche ich dazu eine hyperbolische Oberfläche, den Scheitelabschnitt eines Hyperboloids. Will ich diese parallelen Strahlen wieder in einen Punkt vereinigen, so muss ich eine zweite hyperbolische Oberfläche dazu verwenden. Ich vereinige also alle Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, wieder in einen Punkt durch eine biconvexe Linse mit hyperbolischen Oberflächen. Nun sehen Sie leicht ein, dass, wenn wir diesen Scheitelabschnitten von Hyperboloiden Kugeloberflächen substituiren, die in den Scheiteln mit ihnen zusammenfallen und Osculationen der höchsten Ordnung mit ihnen haben, diese Kugeloberflächen um so mehr nach innen zu von den hyperbolischen Oberflächen abweichen, je mehr ich mich von der Axe entferne, und folglich fallen die Strahlen, die weiter von der Axe entfernt einfallen, immer schiefer auf, haben einen grösseren Einfallswinkel und werden also stärker abgelenkt, als sie abgelenkt werden müssten, wenn sie sich mit den gegenüber liegenden correspondirenden in demselben Punkte vereinigen sollten, in dem sich zwei der Axe ganz nahe einfallende Strahlen vereinigen. Sie werden sich früher vereinigen.

Speciell auf diese Art der Abweichung, das heisst auf die sphärische Aberration, haben wir im menschlichen Auge nicht zu rechnen, weil im Auge sphärische Oberflächen nicht vorkommen. Daraus folgt aber nicht, dass nicht anderweitige Abweichungen wegen Gestalt der Oberflächen im Auge vorkommen, auch solche, die von der Textur der Medien, speciell von der Textur der Linse herrühren. Man kann sich in der That überzeugen, dass selbst Strahlen monochromatischen Lichtes, die von einem leuchtenden Punkte ausgehen, auch wenn derselbe in die Entfernung des deutlichen Sehens gebracht worden ist, dennoch nicht genau in einen Punkt vereinigt werden. Wäre dies der Fall, so müssten solche leuchtende Punkte, dem durch die Pupille kreisförmig begrenzten Strahlenkegel entsprechend, einfach kreisscheibenförmige Zerstreuungskreise geben, wenn sie diesseits und jenseits der Grenzen des deutlichen Sehens gebracht werden. Das ist aber nicht der Fall: sie geben eine grössere Anzahl von sich theilweise deckenden Bildern nebeneinander und übereinander, die man noch einzeln von einander unterscheiden kann. Diese Erscheinung bezeichnet man mit dem Namen Polyopia monophthalmica. Sie kann eine physiologische sein, indem sie sich auf das gesunden Augen gemeinsame Mass beschränkt, und eine pathologische, wenn sie dieses überschreitet und ungewöhnliche Gesichtserscheinungeu verursacht.

Astigmatismus.

Eine Unregelmässigkeit in der Gestalt der Oberflächen, die den Augenarzt ganz besonders interessirt, ist der sogenannte Astigmatismus. Wir haben bis jetzt die brechenden Oberflächen im Auge als Rotationsoberflächen angesehen, als Oberflächen, die durch Umdrehung einer Curve um ihre Axe entstanden sind. Das sind sie aber im strengen Sinne des

Wortes nicht, und speciell ist es die Hornhaut nicht. In der Regel ist der Krümmungshalbmesser der Hornhaut im verticalen Durchschnitt etwas kleiner als der Krümmungshalbmesser der Hornhaut im horizontalen Durchschnitt. Dies bedingt den sogenannten normalen oder physiologischen Astigmatismus. Indem die vertical divergirenden Strahlen früher zur Vereinigung kommen als die horizontal divergirenden Strahlen, gibt es keinen einzelnen Punkt, wo das Lichtbündel, welches repräsentirt ist durch den Lichtkegel der convergirenden und durch den darauf gesetzten der divergirenden Strahlen, am dünnsten ist; sondern es gibt eine Strecke, in der es näherungsweise gleich dünn ist, wo also die Zerstreuungskreise sehr wenig wachsen, wenn die Retina etwas nach vorn oder nach hinten zurückweicht. Dies ist, was Sturm mit dem Namen Intervalle vocal bezeichnet hat. Sturm wollte aus dem normalen Astigmatismus die ganze Accommodation für verschiedene Sehweiten erklären oder vielmehr hinweg erklären. Er sagte: Das Auge braucht gar keine Accommodation, es ist vermöge dieser Asymmetrie der Oberflächen um die Axe schon von vorneherein so eingerichtet, dass es in verschiedenen Entfernungen deutlich sieht. Es ist hinreichend dargethan, dass zwar das Intervalle focal existirt, aber ausserdem noch eine Accommodation durch Gestaltveränderung der Linse. Das Intervalle focal erklärt nur die Accommodationsbreite, oder richtiger die Breite des deutlichen Sehens, welche übrig bleibt, wenn die Linse aus dem Auge entfernt worden ist. Der Astigmatismus kann anomal sein durch die Richtung, insofern als die Ebene der kürzesten Vereinigungsweite nicht nur die verticale Ebene, und die Ebene der grössten Vereinigungsweite nicht die horizontale Ebene ist. Es kann aber auch ungewöhnlich sein durch seinen Grad, und zwar in solcher Weise, dass dadurch das Sehen wesentlich beeinträchtigt wird.

Der Astigmatismus war schon Thomas Young bekannt, der ihm selbst in bedeutendem Grade unterworfen war. Ebenso der königliche Astronom Airy, der durch Astigmatismus wesentlich am deutlichen Sehen gehindert wurde und ihn deshalb mit einer Cylinderlinse corrigirte. Sie sehen leicht ein, dass, wenn ich eine Convexcylinderlinse so vor das Auge lege, dass die Axe der Cylinderfläche in der Ebene der kürzesten Vereinigungsweite liegt, ich dadurch die Asymmetrie des Auges compensiren kann. Ich kann machen, dass die horizontal und die vertical divergirenden Strahlen sich in einer und derselben Entfernung vereinigen. Das ist zu thun, wenn das astigmatische Auge weitsichtig ist; ist es aber kurzsichtig, dann werde ich eine Concavcylinderlinse vor das Auge setzen und hiemit den Astigmatismus corrigiren, indem ich nun die Axe der Cylinderfläche in die Ebene der grössten Vereinigungsweite verlege. Ich kann auch, wenn die Cylinderlinse noch nicht den Accommodationsfehler in der wünschenswerthen Weise corrigirt, sie noch mit einer sphärischen Sammel- oder Zerstreuungslinie combiniren. Die ausgedehntesten Arbeiten über den Astigmatismus hat Donders gemacht, und seitdem ist auch die Lehre von demselben und die Art und Weise, wie man ihn ermittelt und corrigirt, allgemein in die Augenheilkunde übertragen. Ein bedeutender Grad von Astigmatismus wird schon merklich, wenn man zwei unter rechtem Winkel gekreuzte Linien dem Auge nähert und wieder entfernt. Man findet dann, dass nicht beide gleichzeitig undeutlich und nicht gleichzeitig deutlich werden. Deutlicher noch tritt der Einfluss der

Richtung an Figur 42 hervor, und noch deutlicher an Figur 43, weil sich hier grauschimmernde Sectoren bilden, da, wo die Kreislinien aufhören scharf begrenzt zu sein.

Fig. 42.

Fig. 43.

Wandtafeln zur Untersuchung des Astigmatismus sind von O. Becker angegeben.

Mangelhafte Centrirung.

Der optische Apparat des Auges hat noch einen andern Fehler, er ist nicht richtig centrirt. Wenn ich ein System von optischen Medien habe, welche alle genau um eine Axe centrirt sind, so werden, wenn es nicht achromatisch ist, die Vereinigungspunkte für die verschiedenfarbigen Strahlen, die von einem Punkte der Axe ausgehen, zwar nicht zusammenfallen, aber sie werden alle in der Axe liegen, zuvorderst der für die violetten Strahlen, dann der für die blauen und zuletzt der für die rothen Strahlen. Wenn aber ein solches System nicht richtig centrirt ist, dann werden auch diese Vereinigungspunkte nicht in solcher Weise liegen, sondern das ganze System wird sich wie eine Linse verhalten, an die ein Prisma angesetzt ist. Die Strahlen, die in der Axe der ersten brechenden Fläche eingefallen sind, werden sämmtlich aus derselben abgelenkt werden, und die Bilder von Punkten in der Axe werden ausserhalb der Axe liegen. Da der Brechungsindex der Medien für kurzwellige Strahlen ein grösserer ist als für langwellige Strahlen, so werden auch die kurzwelligen Strahlen mehr abgelenkt werden, und in Folge davon wird die seitliche Ablenkung für die Bilder eine verschiedene sein. Wenn wir nachweisen können, dass sich auch im menschlichen Auge eine ähnliche Erscheinung beobachten lasse, so geht daraus mit Sicherheit hervor, dass das menschliche Auge nicht richtig centrirt ist, wenigstens nicht um die Gesichtslinie, wenn wir die Erscheinung im directen Sehen wahrnehmen. Um nun dies zu beobachten, klebt man ein rothes Papier zwischen zwei blaue und schneidet aus dieser Zusammenstellung schmale Streifen, so dass sich in der Mitte ein rothes Stück und zu beiden Enden ein blaues befindet. Nun hält man einen solchen Streifen in einiger Entfernung gegen einen möglichst dunklen Grund. Es ist klar, dass das rothe Stück etwas verbreitert erscheinen muss, wenn man ihn in eine solche Entfernung bringt, dass das Auge genau für die blauen Stücke eingestellt ist, und umgekehrt, wenn man den Streifen so weit entfernt hält, dass das Auge für das rothe Stück eingestellt ist, die blauen verbreitert erscheinen.

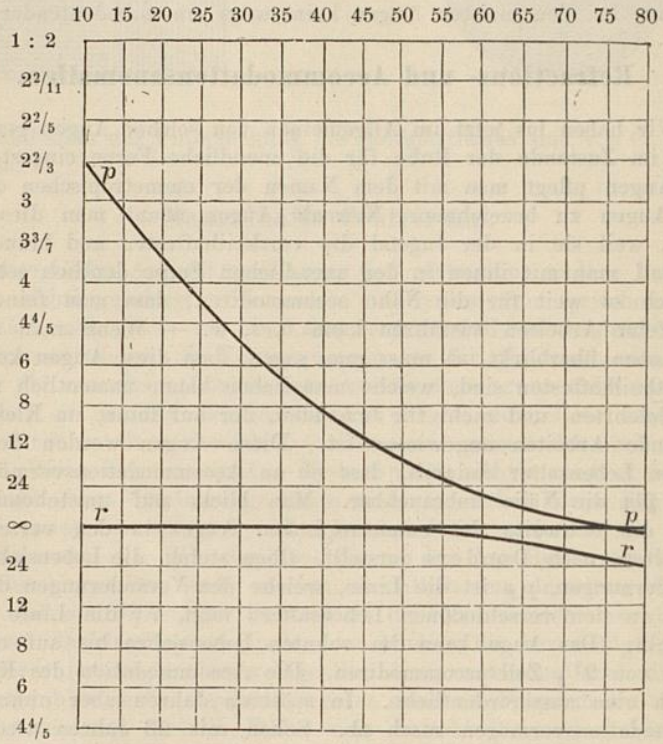
Wäre das Auge genau centrirt, dann müssten zwar die Stücke ungleich breit sein, aber in einer Linie liegen, das heisst das breitere Stück müsste nach beiden Seiten symmetrisch über das schmalere hinübergreifen. Dies ist aber nicht der Fall, sondern sie weichen, bei dem einen Auge mehr, bei dem andern weniger, seitlich aus, und zwar sind die Richtungen, in denen sie ausweichen, bei den verschiedenen Augen verschieden. Daraus geht hervor, dass das menschliche Auge nicht um die Gesichtslinie centrirt ist, und wenn man bedenkt, dass die Farbenzerstreuung nur ein Bruchtheil von der ganzen Ablenkung ist, welche die Strahlen erfahren, denn sie ist ja nur die Differenz zwischen der Ablenkung der kurzwelligen und der langwelligen Strahlen, so bemerkt man, dass dieser Mangel an Centrirung bei den meisten Augen keineswegs ein unbedeutender ist.

Refractions- und Accommodationsanomalien.

Wir haben bis jetzt im Allgemeinen von solchen Augen gesprochen, welche im Zustande der Ruhe für die unendliche Ferne eingestellt sind. Diese Augen pflegt man mit dem Namen der emmetropischen oder normalen Augen zu bezeichnen. Normale Augen nennt man diese Augen deshalb, weil sie in der Jugend die vortheilhaftesten und brauchbarsten sind, weil man mit ihnen in der unendlichen Ferne deutlich sehen kann und auch so weit für die Nähe accommodiren, dass man feine Schrift lesen, feine Arbeiten ausführen kann u. s. w. — Wenn man aber das ganze Leben überblickt, so muss man sagen, dass diese Augen keineswegs die vortheilhaftesten sind, welche man haben kann, namentlich nicht für einen Gelehrten, und nicht für Jemanden, der auf feine, im Kleinen auszuführende Arbeiten angewiesen ist. Diese Augen werden bereits im mittleren Lebensalter dadurch, dass sie an Accommodationsvermögen verlieren, für die Nähe unbrauchbar. Man blicke auf umstehende Tafel, welche die Sehweite des emmetropischen Auges in den verschiedenen Lebensaltern nach Donders darstellt. Oben stehen die Lebensjahre, links die Entfernungen, *p p* ist die Linie, welche den Veränderungen des Nahepunktes in den verschiedenen Lebensaltern folgt, *r r* die Linie für den Fernpunkt. Das Auge kann im zehnten Lebensjahre bis auf eine Entfernung von $2^2/_3$ Zoll accommodiren. Die Accommodation des Kindes ist demnach eine ausserordentliche. In späteren Jahren aber nimmt dieses Accommodationsvermögen rasch ab. Schon mit 23 Jahren accommodirt das Normalauge nur noch auf 4 Zoll, mit 40 Jahren nur noch auf 8 Zoll, und vor Anfang der fünfziger Jahre weicht der Nahepunkt auf 12 Zoll zurück, also auf eine Entfernung, in der man schon recht feine Arbeiten nicht mehr gut vornehmen kann und feine Schrift nur noch mit Anstrengung liest. Für diese Entfernung wird jetzt schon die ganze Accommodationsanstrengung, die man nur für kurze Zeit erträgt, gebraucht, während der Jüngling für diese Entfernung noch mit einem Bruchtheile seiner Accommodation ausreichte. Es muss bemerkt werden, dass dies noch keineswegs die ungünstigsten Fälle sind, bei denen das Normalauge gegen Ende der vierziger Jahre seinen Nahepunkt 12 Zoll entfernt hat; es kommt vor, dass die Accommodation noch rascher verloren geht und der Nahepunkt in diesem Alter schon bis nahe auf 24 Zoll hinausgerückt ist. Nach späteren Untersuchungen von Donders stellt sich sogar das

Mittel ungünstiger, als es die Tafel zeigt, indem der Nahepunkt rascher hinausrückt und die Accommodationsbreite alter Leute etwas überschätzt worden ist. Mit 60 Jahren ist er nach unserer Tafel normal auf mehr als 24 Zoll hinausgerückt, eine Entfernung, in der man nur noch grosse Schrift lesen kann, und in der es ganz unmöglich ist, feinere Arbeiten auszuführen. Später rückt er hinaus bis in die unendliche Ferne und kann im hohen Alter bis über die unendliche Ferne hinausgerückt sein, das heisst das Auge bringt dann häufig nur noch schwach convergirende Strahlen zur Vereinigung.

Fig. 44.



Um das fünfzigste Jahr herum oder früher wird also ein normales Auge einer Brille bedürfen. Es bedarf natürlich einer Convexlinse, die die Strahlen weniger divergirend macht, so dass Strahlen, die sonst erst hinter der Netzhaut zur Vereinigung gekommen wären, nun in derselben zur Vereinigung kommen.

Eine andere Frage ist es, wie früh soll man einem solchen Presbyopischen eine Brille geben. Dies soll man dann thun, wenn er findet, dass er nicht mehr wie sonst dauernd und ohne Anstrengung ohne Brille lesen kann. Bei den Laien herrscht ein Vorurtheil gegen die Brillen. Sie sagen, wenn sie einmal eine Brille nehmen, so müssen sie dann zu immer stärkeren übergehen. Sie wollten ihr Auge nicht verwöhnen u. s. w. Dass die Betroffenen eine immer stärkere Brille nehmen müssen, ist

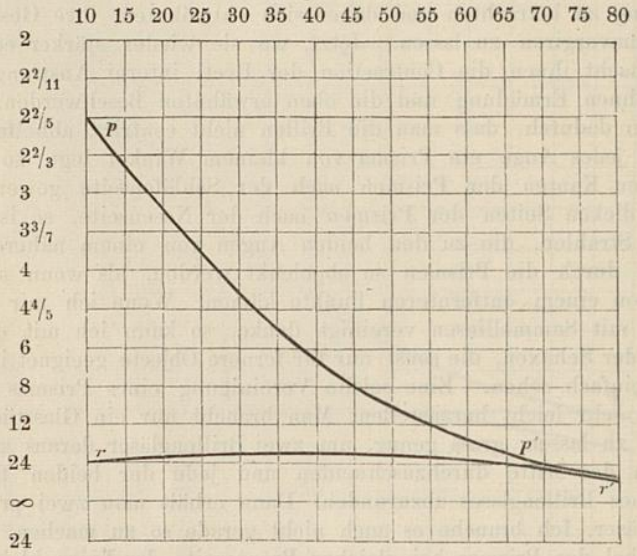
richtig: das rührt aber nicht von der Brille her, sondern davon, dass die Leute immer älter werden. Durch den Gebrauch der Brille wird man der unnützen Anstrengungen, die man behufs Accommodation zu machen genöthigt ist, überhoben; schon hierin liegt ein Vortheil und überdies braucht man nicht mehr die Objecte in so grosser Entfernung vom Auge zu halten, erhält dadurch und durch die Wirkung, welche das Brillenglas selbst auf die Lage des hinteren Knotenpunktes ausübt, grössere Netzhautbilder und erzielt somit einen Gewinn, dem gegenüber man sich den Lichtverlust durch die zweimalige Reflexion am Brillenglase gefallen lassen kann. Nicht selten kommt es vor, dass solche Presbyopische, die längere Zeit gewöhnt waren, in grösserer Entfernung zu lesen, wenn sie eine Brille bekommen und die Objecte dem Auge nun näher halten als früher, sich beklagen, dass die Brille sie anstrenge, dass sie Schmerzen in der Supraorbitalgegend, Schwindel bekommen, dass sie schliesslich doppelt sehen u. s. w. Das rührt davon her, dass sie gewohnt waren, Alles in grösserer Entfernung zu betrachten und daher sich entwöhnten, ihre Gesichtslinien stärker convergiren zu lassen. Jetzt, wo sie wieder stärker convergiren sollen, macht ihnen die Contraction der Recti interni Anstrengung, verursacht ihnen Ermüdung und die oben erwähnten Beschwerden. Diesem kann man dadurch, dass man die Brillen nicht centrirt, abhelfen. Wenn man vor jedes Auge ein Prisma von kleinem Winkel legt, so dass die brechenden Kanten der Prismen nach der Schläfenseite gewendet sind, also die dicken Seiten der Prismen nach der Nasenseite, so ist es klar, dass die Strahlen, die zu den beiden Augen von einem näheren Punkte kommen, durch die Prismen so abgelenkt werden, als wenn sie zu den Augen von einem entfernteren Punkte kämen. Wenn ich mir also diese Prismen mit Sammellinsen vereinigt denke, so kann ich mit einer Convergenz der Sehaxen, die sonst nur für fernere Objecte geeignet ist, nähere Objecte einfach sehen. Eine solche Vereinigung eines Prismas mit einer Linse ist sehr leicht herzustellen. Man braucht nur ein Glasstück convex schleifen zu lassen, gross genug, um zwei Brillengläser daraus zu machen, dieses in der Mitte durchzuschneiden und jede der beiden Hälften in Form eines Brillenglases abzurunden. Dann erhält man zwei prismatische Convexgläser. Ich brauche es auch nicht gerade so zu machen. Wenn ich den Winkel des Prismas bei gleicher Brennweite der Linse kleiner haben will, kann ich die Brillengläser etwas grösser schleifen, als ich sie anwenden will, und aus diesen etwas grösser geschliffenen Brillengläsern nicht das mittlere Stück, sondern ein excentrisch liegendes verwenden. Diese Stücke lege ich nun wieder so an, dass sie mit der dicken Seite gegen die Nasenseite, mit der dünnen gegen die Schläfenseite gewendet sind; dann habe ich wieder Gläser, die mir den Dienst einer Vereinigung von Prismen und Linsen leisten, sogenannte prismatische Gläser. Sie sind von ausgedehnter Anwendung, weil die Fälle, in denen dauernde Contraction der Interni nicht ertragen wird, nicht blos bei Presbyopen, sondern auch bei anderen Individuen gar nicht selten vorkommen. Man bezeichnet diesen Zustand als Insufficenz der Recti interni.

Sie sehen leicht ein, dass ein wesentlicher Nachtheil daraus entstehen muss, wenn umgekehrt die Brillengläser in der Weise mangelhaft centrirt sind, dass die dünnere Seite derselben nach der Nasenseite, die dickere nach der Schläfenseite liegt, dass also die Gesichtslinie nach innen

von der Axe des Brillenglases fällt. In diesem Falle müssen die Recti interni stärkere Anstrengungen machen als im normalen Zustande, und dies führt noch einen anderen Nachtheil mit sich. Der Tensor chorioideae hat wie der Sphincter pupillae Mitbewegung mit dem Rectus internus. Wenn also der Rectus internus stärker zusammengezogen wird, so ist damit auch eine unwillkürliche Accommodationsbewegung und somit eine ganz unnöthige Anstrengung für das Auge gegeben.

Nach der Tafel Figur 44 verändert sich auch der Fernpunkt in den späteren Jahren, so dass er über die unendliche Ferne hinausgeht. Das Auge bringt also, wenn auch der Nahepunkt im späten Alter sozusagen die Grenze der Unendlichkeit überschreitet, nur noch Strahlen zur Vereinigung, die convergent auf das Auge fallen. Das ist nun beim Normalauge nicht immer der Fall. Es lässt sich über den Gang des Fernpunktes

Fig. 45.

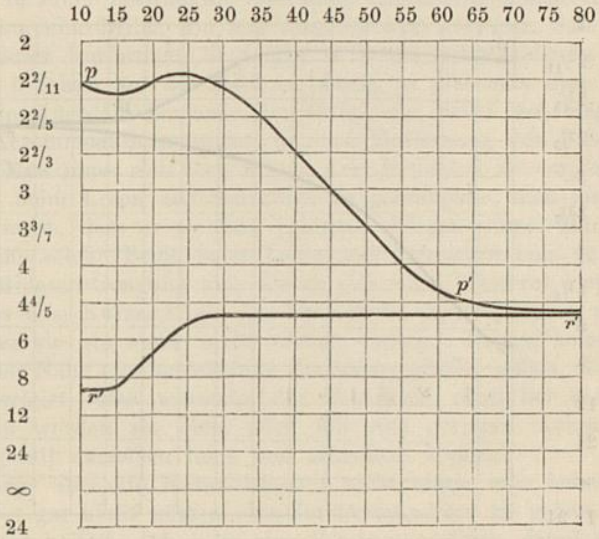


nichts Sicheres angeben. Manchmal geht der Fernpunkt über die unendliche Ferne hinaus, manchmal bleibt er in der unendlichen Ferne, manchmal wird er etwas herangezogen. Leute, bei denen letzteres statt hat, sehen im Alter in einer bestimmten endlichen Entfernung vollkommen scharf, so wie sie in ihrer Jugend gesehen haben, während sie in der unendlichen Ferne nicht so scharf wie früher sehen. Diese Fälle gehören zu den Seltenheiten und kommen vielleicht nur bei Augen vor, die vorherrschend mit nahen Gegenständen beschäftigt waren.

Ein Auge, das im Zustande der Ruhe nicht mehr für die unendliche Ferne, sondern für irgend eine endliche Entfernung eingestellt ist, nennen wir ein kurzsichtiges. Bei diesem müssen wir nach Donders drei Arten unterscheiden, die nicht allein durch den Grad der Kurzsichtigkeit, sondern auch durch die Veränderungen, die die Kurzsichtigkeit in den verschiedenen Lebensjahren erleidet, von einander abweichen. Das erste ist das stationär kurzsichtige Auge. (Figur 45 gibt ein Bild seiner Lei-

stungen.) Es ist im Zustande der Ruhe in der Kindheit auf eine Entfernung von 24 Zoll eingestellt und kann bis auf $2^2/_5$ accommodiren. Das Accommodationsvermögen nimmt natürlich mit den Lebensjahren ab. Im Alter von 40 Jahren kann ein solches Auge noch auf 6 Zoll accommodiren und in einem Alter von 60 Jahren noch auf 12 Zoll, während das normale Auge in diesem Alter nur noch auf 24 Zoll accommodiren kann. Ein Individuum mit solchen Augen kann also im Alter von 60 Jahren gewöhnliche Schrift noch ohne Brille lesen. In den früheren Lebensjahren brauchte es beim Lesen und Schreiben bei Weitem nicht so grosse Accommodationsanstrengungen wie der Normalsichtige, sondern nur einen Bruchtheil seiner Accommodation. Das sind deshalb die unverwüstlichen Augen, die Nächte hindurch arbeiten, ohne davon besonders angestrengt zu werden.

Fig. 46.



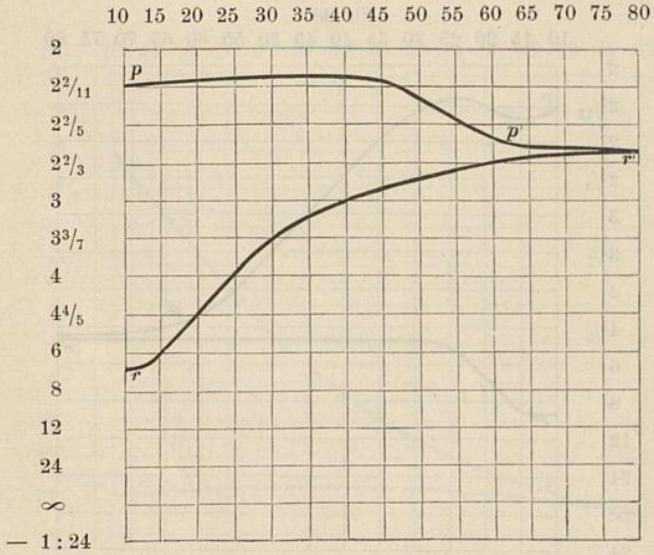
Das sind ferner die Augen, die im Alter insofern die besseren Dienste leisten, als sie für das Sehen in die Nähe länger als Normalaugen ohne Brille gebraucht werden können.

Ein anderes Auge, schon weniger beneidenswerth, ist das zeitlich progressiv kurzsichtige Auge, wie es Donders nennt. Das ist (wie Figur 46 zeigt) von vorneherein mit einem höheren Grade von Kurzsichtigkeit behaftet. Der Fernpunkt liegt in der Kindheit zwischen 8 und 12 Zoll und es kann auf $2^2/_{11}$ Zoll accommodirt werden. Der Nahepunkt nähert sich noch im mittleren Lebensalter zwischen 20 und 30 Jahren, aber auch der Fernpunkt; das Auge wird also kurzsichtiger. In einem Alter von 30 Jahren kann das Auge auf keine viel grössere Entfernung als etwa 5 Zoll eingestellt werden. Die Accommodation nimmt im zunehmenden Alter fortwährend ab, so dass zuletzt eine bleibende Sehweite von 5 bis 6 Zoll entsteht. Begreiflicher Weise ist ein solches Auge nicht nur unbrauchbar zum Sehen in die Ferne, sondern auch schon ungünstig für das

Sehen in die Nähe. In so geringer Entfernung kann meist nicht mehr dauernd und ohne Anstrengung binoculär gesehen werden, weil man die Recti interni zu stark contrahiren muss, um noch von beiden Augen in einer solchen Entfernung einfache Bilder zu haben.

Das bleibend progressiv kurzsichtige Auge ist das schlechteste von allen. Es ist das kurzsichtigste schon in der Jugend, der Fernpunkt liegt nach dem von Donders gegebenen Schema (s. Figur 47) zwischen 6 und 8 Zoll, der Nahepunkt bei $2^2/_{11}$ Zoll. Der Nahepunkt rückt noch heran in den Jünglingsjahren, später rückt er hinaus mit schwindender Accommodation. Der Fernpunkt rückt mit zunehmenden Jahren heran. Er ist mit 60 Jahren auf $2^2/_3$ Zoll herangerückt und nähert sich dann allmälig

Fig. 47.



noch mehr. Dies sind die Augen, in denen sich Staphyloma posticum und Gesichtsschwäche in Folge beginnender Netzhaut-Atrophie ausbildet, und die häufig im hohen Alter ganz erblinden.

Ausser diesen verschiedenen Formen von Kurzsichtigkeit, die Folgen des Baues des Auges, der Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen und der Länge der Augenaxe sind, gibt es noch eine erworbene Kurzsichtigkeit, oder richtiger eine angewöhnte Kurzsichtigkeit. Diese beruht darauf, dass Leute, die schon in ihrer Jugend viel in der Nähe arbeiten, Gymnasiasten, die viel Texte mit kleiner Schrift lesen, Stickerinnen, die sehr feine Arbeiten machen, zuletzt das Vermögen verlieren, ihren Accommodationsapparat vollständig zu entspannen. Sie lassen ihr Auge dauernd für die Nähe eingestellt, sie wissen nicht mehr, wie sie es machen sollen, um ihr Auge so weit für die Ferne einzurichten, dass sie es für den wahren Fernpunkt, der der Gestalt der optischen Medien und der Tiefe des Auges entspricht, einstellen.

Es fragt sich, was soll man mit einem kurzsichtigen Auge thun? Mit was für einer Brille soll man ihm nachhelfen? Es ist gelehrt worden, man solle ein kurzsichtiges Auge auf ein normales Auge corrigiren, mit anderen Worten, man solle ihm dauernd ein Brillenglas vorlegen, das mit seinem Auge zusammen ein optisches System bildet, welches im Zustande der Ruhe des Auges für die unendliche Ferne eingestellt ist. Diese Lehre ist nicht zu rechtfertigen; denn ich verwandle dauernd ein kurzsichtiges Auge in ein Normalauge, während es in meiner Macht steht, das kurzsichtige Auge nur zeitweise in ein Normalauge zu verwandeln, nur dann, wenn es als Normalauge gebraucht werden soll, wenn es eben in der unendlichen Ferne deutlich sehen soll. Ich kann also allerdings einem kurzsichtigen Auge eine Brille geben, die sein Auge auf ein normales Auge oder doch nahezu auf ein normales Auge corrigirt, aber nur zu dem Zwecke, die Brille zum Sehen in die Ferne zu gebrauchen. Braucht Jemand eine Brille, um in einer bestimmten endlichen Entfernung genau zu sehen, so gibt man ihm eine Brille, die sein Auge so weit corrigirt, dass sein Fernpunkt in dieser Entfernung liegt. Hat z. B. ein Schulknabe in einem Abstande von 5 Schuh auf die Tafel zu sehen, so gibt man ihm eine Brille, mit der sein Auge im Zustande der Ruhe, das heisst bei möglichst entspanntem Accommodationsapparat, in einer Entfernung von 5 Schuh deutlich sieht. Man muss sich aber hüten, dem Patienten zu empfehlen, diese Brille auch beim Lesen und Schreiben zu gebrauchen, man muss ihm im Gegentheil sagen, dass er sie dazu jedesmal ablegen müsse. Man ladet ihm ja durch eine solche Brille beim Lesen und Schreiben eine ganz unnütze Accommodationsanstrengung auf, die er sich ohne Weiteres ersparen kann. Nun gibt es aber Kurzsichtige, die ohne Brille die Objecte so nahe halten müssen, dass sie sie nicht mehr einfach sehen. Diesen kann man zum Sehen in der Nähe eine schwächere Zerstreuungsbrille geben, die ihr Auge so weit corrigirt, dass nunmehr der Fernpunkt etwa bei 9 bis 12 Zoll liegt. Dann werden sie ohne oder mit nur geringer Accommodationsanstrengung mit derselben lesen und schreiben können.

So lange aber die Kurzsichtigkeit nicht einen sehr hohen Grad erreicht, ist es gar nicht nöthig eine Zerstreuungslinse zu geben, man kann viel einfacher helfen. Ich gebe eine Zerstreuungslinse, damit der Patient das Buch weiter vom Auge entfernt halten könne. Sie hat für ihn den Nachtheil, dass die Lichtintensität, wie dies bei jeder Brille der Fall ist, wegen der Reflexionen an den beiden Flächen der Gläser geschwächt wird. Ausserdem hat er kleinere Netzhautbilder, als er sie haben würde, wenn er nicht durch Zerstreuungsgläser sähe. Diesen letzteren Nachtheil vermeide ich, wenn ich statt der Zerstreuungslinsen plane Prismen vor das Auge lege. Ich gebe Brillen, in welche statt der Linsen Prismen eingesetzt sind, mit der dicken Seite gegen die Nase, mit der dünnen gegen die Schläfe gewendet. Diese bringen die Strahlen so zu beiden Augen, als ob sie von einem entfernteren Punkte kämen. Nun kann der Patient das Buch so nahe bringen, wie er es zum Sehen mit seinen kurzsichtigen Augen nöthig hat. Er braucht jetzt nicht mehr die Gesichtslinien so stark convergiren zu lassen und hat dabei die grossen Netzhautbilder seines kurzsichtigen Auges. Ich habe diesen Versuch an einem jungen Manne gemacht, der behauptete, binoculär nicht ohne Brille lesen zu können. Er fand, dass er durch eine solche Brille besser und mit weniger Anstren-

gung las, als durch eine Zerstreuungsbrille. Er konnte später die Brille weglegen und auch mit blossen Augen binoculär lesen. Ich halte es aber für besser, die Brille beizubehalten. Denn wenn es später dahin kommt, dass der Patient auch ohne Brillen binoculär lesen kann, so muss er doch eine stärkere Anstrengung der Interni und wegen der Mitbewegung, die zwischen Rectus internus und Tensor chorioideae besteht, eine Accommodationsanstrengung machen, die vermieden wird, wenn er sich dauernd dieser Prismen bedient.

Man kann sich indessen bei höheren Graden von Kurzsichtigkeit gezwungen sehen, Zerstreuungsgläser auch für die Nähe zu geben, weil es namentlich beim Schreiben lästig ist, das Auge dem Papier sehr nahe bringen zu müssen. Dann ist es von Wichtigkeit, dass diese so gestellt sind, dass die Gesichtslinie in keinem Falle nach aussen von der Axe der Linse fällt, sondern dass sie etwas nach innen von der Axe zu liegen kommt. Würde die Gesichtslinie nach aussen von der Axe der Linse durchgehen, so würde die Zerstreuungslinse vor dem Auge prismatisch wirken in einem solchen Sinne, dass nun eine grössere Convergenz der Gesichtslinien nothwendig wäre als bei genau centrirter Linse. Wenn dagegen die Gesichtslinie nach innen von der Axe der Linse, nach der Nasenseite zu, fällt, so wirkt die Linse zugleich als ein Prisma, dessen dicke Seite der Nasenseite, und dessen dünne Seite der Schläfenseite zugewendet ist. Sie verlangt also von dem Betreffenden eine geringere Convergenz der Gesichtslinien, als wenn wirklich die beiden Linsen mit den Augen richtig centrirt worden wären. Dies ist deshalb von Wichtigkeit, weil ja mit der grösseren Convergenz auch immer eine unwillkürliche Accommodationsanstrengung für die Nähe verbunden ist, die der Correction entgegenwirkt, welche wir durch die Brille anstreben, und ausserdem im Laufe der Zeit die Myopie steigert.

In späteren Jahren, wo gerade bei den hohen Graden der Kurzsichtigkeit oft zugleich auch Schwachsichtigkeit, mangelhaftes Unterscheidungsvermögen wegen beginnender Atrophie der Netzhaut eintritt, geschieht es nicht selten, dass solche Individuen keine Zerstreuungsbrille mehr finden, mit der sie überhaupt noch etwas lesen können, wenigstens keine, mit der sie noch feineren Druck zu lesen im Stande wären. Solchen Augen kann man für einige Zeit noch durch Brillengläser helfen, welche ihr Auge für einen brauchbaren Abstand einstellen und dabei ein etwas vergrössertes Bild geben. Diese Brillen, die jetzt in ziemlich ausgedehntem Gebrauche sind, scheinen zuerst hier in Wien von dem verstorbenen Optiker Prokesch, vielleicht schon von dessen Vorgänger, verfertigt worden zu sein. Denken Sie sich, ich könnte an mein Auge vorn ein Stück ansetzen, ich könnte es unter Beibehaltung der vorderen convexen Fläche nach vorne zu vergrössern, so möchte es mir dadurch gelingen, den hinteren Knotenpunkt weiter nach vorne zu rücken, und ich würde dadurch ein entsprechend grösseres Netzhautbild erhalten. Nun kann ich zwar dem Auge nicht direct ein Stück ansetzen, aber ich kann ihm eine Linse vorlegen, die in ähnlicher Weise wirkt, als ob ich nach vorne zu ein Stück an das Auge angesetzt hätte. Denken Sie sich eine Linse, welche nach vorne convex ist, und welche die aus einer endlichen Entfernung, z. B. aus einer Entfernung von 10 Zoll, kommenden Strahlen aufnimmt, so werden diese durch die vordere convexe Oberfläche der Axe zugebrochen werden. Die hintere

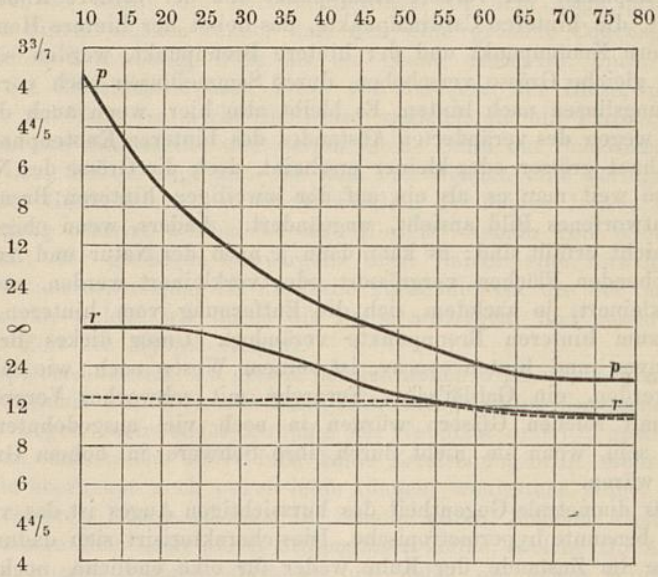
Oberfläche sei concav, sie wird also die austretenden Strahlen wieder stärker divergirend machen. Sie sei nun so abgepasst, dass diese austretenden Strahlen so divergiren, als ob sie von einem nur 4 Zoll entfernten Punkte ausgegangen wären. Sie werden dann auf der Netzhaut eines in so hohem Grade Kurzsichtigen, dass sein Fernpunkt bei 4 Zoll liegt, noch zur Vereinigung kommen. Das Bild aber ist, wenn das Glas hinreichend dick ist, nicht wie bei einem gewöhnlichen Zerstreuungsglase verkleinert, sondern vergrössert. Es beruht dies, wie ich schon angedeutet habe, darauf, dass vor das Auge gelegte Linsen mit diesem zusammen ein optisches System mit neuen Cardinalpunkten bilden, deren Lage für die verschiedenen Fälle von Mauthner, Knapp und Donders erörtert worden ist. Der einfachste Fall ist der, wo die Linse in der vorderen Brennpunktsebene des unbewaffneten Auges liegt und so dünn ist, dass der örtliche Unterschied ihrer brechenden Flächen vernachlässigt werden kann. Dann behalten die vorderen Cardinalpunkte des Auges, das heisst der vordere Brennpunkt, der vordere Hauptpunkt und der vordere Knotenpunkt, ihren Ort, die hinteren Cardinalpunkte, das heisst der hintere Hauptpunkt, der hintere Knotenpunkt und der hintere Brennpunkt, werden sämmtlich um eine gleiche Grösse verschoben, durch Sammellinsen nach vorn, durch Zerstreuungslinsen nach hinten. Es bleibt also hier, wenn auch das Netzhautbild wegen des veränderten Abstandes des hinteren Knotenpunktes von der Netzhaut grösser oder kleiner erscheint, doch die Grösse des Netzhautbildes, so weit man es als ein auf der jeweiligen hinteren Brennpunktsebene entworfenes Bild ansieht, ungeändert. Anders, wenn obige Bedingungen nicht erfüllt sind: es kann dann je nach der Natur und Anordnung der brechenden Flächen vergrössert oder verkleinert werden, vergrössert und verkleinert, je nachdem sich die Entfernung vom hinteren Knotenpunkte zum hinteren Brennpunkte verändert. Unser dickes Brillenglas, vorn convex und hinten concav, ist seinem Wesen nach, wie wir später sehen werden, ein Galiläi'sches Fernrohr mit schwacher Vergrösserung. Brillen mit solchen Gläsern würden in noch viel ausgedehnterem Gebrauche sein, wenn sie nicht durch ihre Schwere in hohem Grade unbequem wären.

Das diametrale Gegentheil des kurzsichtigen Auges ist das von Donders so benannte hypermetropische. Dies charakterisirt sich dadurch, dass das Auge im Zustande der Ruhe weder für eine endliche, noch für die unendliche Ferne eingestellt ist, dass es im Zustande der Ruhe nur convergirende Strahlen zur Vereinigung bringt. Bei den geringeren Graden von Hypermetropie wird dies gar nicht bemerkt. Die Hypermetropen können ihr Auge im Zustande der Ruhe niemals gebrauchen, sie sind immer darauf angewiesen zu accommodiren, auch für die unendliche Ferne, sie verlernen es vollständig, ihre Accommodation zu entspannen. Wenn man ihnen ein schwaches Convexglas gibt, so sehen sie deshalb meistens durch dasselbe in der Ferne nicht besser als mit blossen Augen. Es gibt aber ein Mittel, um zu zeigen, dass bei ihnen das Auge im Zustande der Ruhe wirklich für convergirende Strahlen eingestellt ist. Man entspannt den Accommodationsapparat künstlich, indem man ihn durch Einträufeln von Atropin in das Auge lähmt.

Figur 48 zeigt nach Donders die Sehweiten des in geringem Grade hypermetropischen Auges. Der Fernpunkt liegt in der Jugend in unend-

licher Ferne. Dabei ist aber schon die Accommodation wirksam. Bei Atropineinträufelung ist der Fernpunkt auf fast — 12 Zoll zurückgegangen (siehe die punktirte Linie), das heisst, es würden jetzt Strahlen zur Vereinigung kommen, welche so zum Auge gelangen, dass sie, wenn sie nicht in die optischen Medien des Auges hineingingen, sondern in der Luft fortschritten, sich 12 Zoll hinter dem Auge vereinigen würden. Da in der Jugend die Accommodationsbreite gross ist, so merkt ein solches Individuum, das nur in geringem Grade hypermetropisch ist, von seinem Fehler in der ersten Jugend nichts. Erst in den zwanziger Jahren bemerkt es, dass es beim Lesen eher ermüdet, weil es jetzt schon, um sein Auge auf eine Entfernung von etwa 10 Zoll einzustellen, seine ganze Accommodationsbreite braucht. Wenn das Individuum aber 30 Jahre alt ist, kann es selbst mit seiner ganzen Accommodationsanstrengung das Auge nicht mehr auf

Fig. 48.



12 Zoll einstellen. Mit 35 Jahren liegt der Nahepunkt bei 24 Zoll: das Individuum ist also schon in den Blüthejahren darauf angewiesen, eine Brille zu gebrauchen. In späteren Jahren rückt der Nahepunkt immer weiter hinaus und endlich auch über die unendliche Ferne, so dass das Auge nur noch convergirende Strahlen zur Vereinigung bringt.

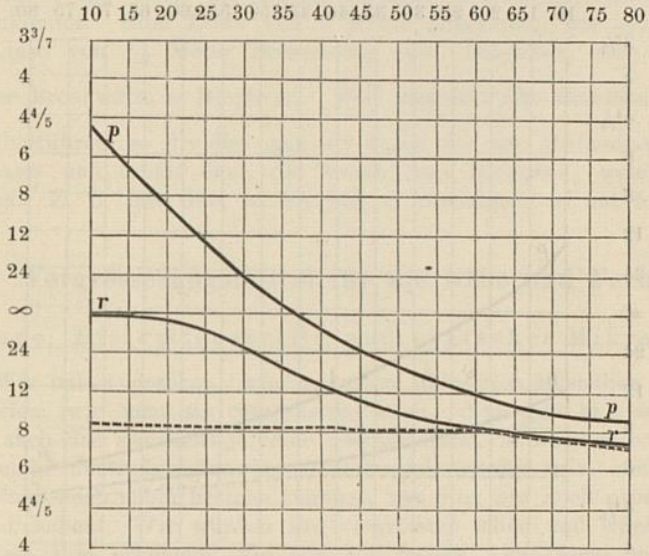
Einen höheren Grad der Hypermetropie besitzt das von Donders mittelmässig hypermetropisch benannte Auge (dessen Schweiten in Figur 49 dargestellt sind). Da liegt schon in der Jugend der Fernpunkt nach Ausschliessung der Accommodation durch Atropin (siehe die punktirte Linie) zwischen — 8 und — 12. In der Kindheit kann noch fürs Lesen und Schreiben accommodirt werden; aber schon mit dem fünfundzwanzigsten Lebensjahre ist der Nahepunkt über 12 Zoll hinausgerückt. Von jetzt an ist schon die ganze Accommodationsanstrengung nöthig, um eine kleinere

Schrift noch lesen zu können: es tritt also schon jetzt die Zeit ein, wo das Auge relativ unbrauchbar wird.

Ein noch höherer Grad von Hypermetropie ist nach Donders in Figur 50 dargestellt, das stark hypermetropische Auge. Da liegt der Fernpunkt des Auges unter Mitwirkung des Accommodationsapparates schon in der Jugend bei — 12 Zoll, nach deren Ausschliessung zwischen — 6 und — 5 Zoll. Es kann hier selbst in der Kindheit nicht auf 12 Zoll accommodirt werden. Im Alter von 21 Jahren kann aber noch für die unendliche Ferne eingestellt werden. Von da ab werden nur noch Strahlen zur Vereinigung gebracht, die convergirend zum Auge gelangen.

Die Hypermetropie ist ein Gesichtsfehler, der lange Zeit verkannt wurde, und dessen Verkennung und Vernachlässigung schwere Nachtheile nach sich zieht. Selbst diejenigen Hypermetropen, die noch für eine Ent-

Fig. 49.



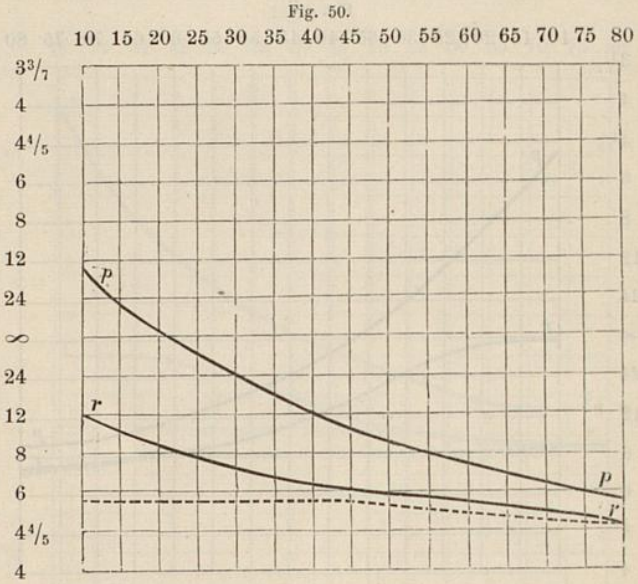
fernung accommodiren können, in welcher man zu lesen pflegt, brauchen, wie wir gesehen haben, schon ihre ganze Accommodationsanstrengung, um das Auge für diese Entfernung einzustellen. Dies halten sie aber nur verhältnissmässig kurze Zeit aus; es tritt bald ein Zustand ein, wo sie anfangen doppelt zu sehen, wo ihnen, wie sie sagen, die Buchstaben ineinanderfliessen, wo sie ein Gefühl von Schwindel, Schmerzen in der Supraorbitalgegend u. s. w. bekommen.

Es führt ferner die Hypermetropie, abgesehen von der Unmöglichkeit, die später eintritt, feinere Arbeiten auszuführen, noch einen andern Nachtheil nach sich, nämlich den, dass die Betroffenen häufig schielen. Es wurde bereits mehrfach erwähnt, dass der Tensor chorioideae Mitbewegungen hat mit dem Rectus internus. Die Hypermetropen sind nun darauf angewiesen, sehr starke Accommodationsanstrengungen zu machen, und helfen sich dabei, indem sie zugleich ihre Sehaxen für einen sehr

nahen Punkt convergiren lassen. Da sie aber ihr Auge für diesen nahen Punkt nicht mehr einstellen können, da sie die Objecte nicht so nahe, sondern entfernter halten müssen, und sie beim Sehen mit beiden Augen Doppelbilder haben würden, so sehen sie nur mit einem Auge und schielen mit dem andern nach innen, indem sie dasselbe ganz vernachlässigen. So entsteht habituelles Schielen bei Hypermetropen.

Um alle diese Nachtheile zu verhüten, gibt es kein anderes Mittel, als den Hypermetropen zur rechten Zeit Brillen zu geben. Es versteht sich von selbst, dass diese keine anderen als Convexbrillen, Sammelbrillen sein können. Bei den Kurzsichtigen hatten wir den Grundsatz, dem Patienten jedesmal die schwächste Brille zu geben, mit der er für den gegebenen Zweck auskommen kann, um unnöthige Accommodationsanstrengungen zu ersparen. Bei Hypermetropen gilt dieser Grundsatz nicht, man darf

Fig. 50.



ihnen nicht die schwächsten Brillen geben, mit denen sie auskommen, weil sie dann noch immer die ganze Accommodation bei ihren Arbeiten gebrauchen müssten. Wir sind deshalb genöthigt, Brillen zu geben, die stark genug sind, um ohne grosse Accommodationsanstrengung mit denselben zu arbeiten. Es ist auch keineswegs rathsam, zu warten, bis der Zustand unerträglich wird oder bereits Schielen eingetreten ist. Im Gegentheile, wenn ein hypermetropisches Auge als ein solches erkannt wurde, so soll man ihm eine Brille geben, durch welche es rechtzeitig auf ein normales Auge corrigirt wird. In späteren Jahren, wenn zur Hypermetropie noch Presbyopie hinzutritt, ist es nothwendig, in der Correction noch weiter zu gehen, sobald es sich um das Sehen in die Nähe, um Lesen und Schreiben u. s. w. handelt. Man muss dann durch die Brille das hypermetropische Auge wie das Normalauge in ein kurzsichtiges verwandeln.

Die Auswahl der Brillen geschieht mittelst geordneter Sammlungen von Brillengläsern, sogenannter Brillenkästen. In den älteren derselben entspricht die Nummer des Brillenglases entweder der empirisch ermittelten Brennweite in Zollen, oder bei biconvexen auf beiden Seiten auf derselben Schale geschliffenen Gläsern dem Radius der Oberfläche in Zollen. Beides kommt auf dasselbe hinaus unter der Voraussetzung, dass der Brechungsindex des Glases gleich 1·5 ist, denn wir haben bei Vernachlässigung der Dicke der Gläser $\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$, worin F die Brennweite ist, n der Brechungsindex, r_1 der Radius der vorderen und r_2 der Radius der hinteren Oberfläche des Glases, also $\frac{1}{F} = \left(\frac{3}{2} - 1\right)\frac{2}{r}$, woraus $F = r$ folgt. Für die hellsten Strahlen des Spectrums ist aber n thatsächlich etwas grösser, etwa 1·528 bis 1·530. In neuerer Zeit hat man Brillenkästen, in denen die Nummer des Glases die Anzahl sogenannter Dioptrien anzeigt, welche ihm zukommt. Eine Linse von 1 Meter Brennweite hat eine Dioptrie, eine Linse von $^1/_2$ Meter Brennweite zwei Dioptrien, eine Linse von $\frac{1}{n}$ Meter Brennweite n Dioptrien. Will man die alte Bezeichnung in die neue überführen, so dividirt man 40 durch die alte Brillenkastennummer des Glases und erhält dann die Anzahl von Dioptrien, welche ihr zukommen. Z. B. das Glas ist alt mit 8 bezeichnet, es hat 5 Dioptrien.

Vergrösserungsmittel für die Nähe und Ferne.

Lupe, Dissectionsbrille und einfaches Mikroskop.

Wir haben gesehen, wie man den Refractionsanomalien des Auges nachhelfen, wie man sie compensiren kann. Nun gibt es aber für jedes Auge, auch das kurzsichtige, eine gewisse Nähe, in welcher es überhaupt nicht mehr deutlich sehen kann, und doch würden wir, wenn wir den Gegenstand noch näher bringen könnten, von ihm ein noch grösseres Netzhautbild haben. Wir würden ihn vergrössert sehen und würden Einzelheiten an ihm erkennen, die wir mit freiem Auge nicht mehr unterscheiden. Zu diesem Zwecke legen wir eine Sammellinse vor das Auge und nennen diese eine Lupe. Diese verschafft uns ein grösseres Bild, erstens weil wir den Gegenstand näher vor das Auge bringen können, und zweitens weil die Sammellinse mit unserem Auge ein neues optisches System bildet, in welchem der hintere Knotenpunkt weiter nach vorn liegt, als er früher in unserem Auge lag.

Da sich eine solche Lupe von einem Convexbrillenglase nur durch die kürzere Brennweite unterscheidet, so würden wir auch vor jedes der beiden Augen eine Lupe legen können, wenn wir die M. recti interni stark genug zu contrahiren vermöchten, um damit noch einfach zu sehen. Das gelingt aber nur, wenn wir die Lupen prismatisch machen. Wir schleifen ein Glas, gross genug, um zwei Brillengläser zu geben, auf der einen Seite convex, so dass es eine Brennweite von 6 bis 7 Zoll bekommt, schneiden es in zwei symmetrische Stücke und setzen diese mit der convexen Seite dem Auge zugewendet und mit dem dicken Rande

gegen die Nase gekehrt in ein Brillengestell, dem wir zwei seitliche Schirme geben, um das seitlich einfallende Licht abzuhalten. Eine solche Brille, die sich für anatomische Arbeiten sehr gut eignet, heisst eine Dissectionsbrille.

Wenn die Brennweite der Lupe bis zu einem gewissen Grade verkürzt wird, so wird die sphärische Aberration immer auffälliger und verdirbt das Bild immer mehr. Wir ziehen es für solche Fälle vor, zwei Sammellinsen miteinander zu combiniren, und nennen ein solches Instrument eine Doppellupe, ein Doublet. Wir können auch drei Sammellinsen in solchen Krümmungen und solcher Reihenfolge miteinander verbinden, dass die sphärische Aberration auf ein Minimum reducirt wird, dass eine sogenannte aplanatische Combination entsteht. Da wir jetzt stärkere Vergrösserungen erzielen und das Instrument nicht mehr gut aus freier Hand handhaben können, bringen wir es in ein Stativ, so dass es durch einen Trieb nach aufwärts und abwärts bewegt werden kann; wir verbinden es ferner mit einem Tische und einem Beleuchtungsspiegel und nennen das Ganze ein einfaches Mikroskop. Ein einfaches Mikroskop unterscheidet sich im Wesentlichen von einer Lupe nur durch die kürzere Brennweite und durch die Art der Montirung, dadurch, dass es mit einem eigenen Arbeitstischchen und einem Beleuchtungsspiegel versehen ist.

Das zusammengesetzte Mikroskop und das Keppler'sche oder astronomische Fernrohr.

Anders verhält es sich mit dem zusammengesetzten Mikroskope, dessen wir uns bei unseren Arbeiten so vielfältig bedienen. Bei diesem wird erst durch das Objectiv ein umgekehrtes Luftbild entworfen, und dieses sehen wir mit der Ocularlinse an. Im Principe ist also das zusammengesetzte Mikroskop ebenso gebaut wie ein astronomisches oder Keppler'sches Fernrohr. Beim astronomischen Fernrohre in einfachster Form hat man eine Objectivlinse, die ein umgekehrtes Bild liefert, und eine Ocularlinse, durch welche man dieses Bild vergrössert und ansieht. Da ich aber mit dem Mikroskope sehr nahe Gegenstände betrachte, von denen ich ein umgekehrtes Luftbild haben will, das grösser ist als das Object selbst, muss ich mit meinem Objecte sehr nahe an das Objectiv heranrücken, und dieses muss eine sehr kurze Brennweite haben. Ich reiche deshalb mit einer Objectivlinse nicht aus, ich muss eine Reihe von Objectivlinsen hintereinander aufstellen, und so entsteht dann das gewöhnliche, aus drei Linsen bestehende Objectiv des Mikroskops. Ich sage, das Objectiv besteht gewöhnlich aus drei Linsen. Dies ist aber eigentlich nicht richtig. Ich hätte sagen sollen aus vier Linsen: denn es ist eine Linse, die zum Objectiv gehört, weil sie zwischen Objectiv und umgekehrtem Luftbild liegt, vom Objectiv weggenommen und mit dem Ocular vereinigt worden. Es ist nämlich zweckmässiger, durch die Objectivlinsen des Mikroskops die Strahlen noch nicht zur Vereinigung kommen zu lassen, sondern sie nur im Rohre des Mikroskops hinaufzuleiten und noch eine vierte Sammellinse im Oculare, das heisst durch die Messingfassung mit der eigentlichen Ocularlinse verbunden, anzubringen, die man mit dem Namen des Collectivs bezeichnet, und die erst die Vereinigung der Strahlen zu einem umgekehrten Luftbilde zu Stande bringt. Dieses umgekehrte

Bild, welches grösser ist als das Object, weil es weiter vom hinteren Knotenpunkte entfernt ist als das Object vom vorderen Knotenpunkte, wird noch einmal durch eine Lupe, durch die eigentliche Ocularlinse vergrössert und so angesehen. Das zusammengesetzte Mikroskop ist also ein astronomisches Fernrohr von sehr kurzer Brennweite, und das astronomische Fernrohr ist ein Mikroskop, dessen Objectiv eine sehr grosse Brennweite hat.

Die weiteren Verbesserungen und Vervollkommnungen des Mikroskops haben sich einerseits darauf bezogen, dass man die Objectivlinsen des Mikroskops achromatisch gemacht hat, indem man Flintglaslinsen mit Crownglaslinsen combinirte, und andererseits bestanden sie darin, dass man die sogenannten aplanatischen Combinationen einführte und verbesserte, das heisst, dass man Linsencombinationen zusammenstellte, bei welchen durch die Art der Zusammenordnung die sphärische Aberration, die Abweichung wegen der Kugelgestalt der Oberflächen, auf ein möglichst kleines Mass zurückgeführt wurde.

In neuerer Zeit ist noch ein wesentlicher Fortschritt gemacht worden. Amici liess die unterste Objectivlinse in Flüssigkeit eintauchen, sie nicht mehr durch Luft, sondern durch eine tropfbare Flüssigkeit von dem Objecte getrennt sein. Es werden hiedurch wesentliche Vortheile erzielt, indem zwei sehr starke Reflexionen, die gerade bei starken Vergrösserungen nachtheilig wirken, die Reflexion der Strahlen beim Austritte aus dem Deckglase und beim Eintritte in die erste Objectivlinse, in viel schwächere Reflexionen verwandelt werden, da statt der Luft ein stärker brechendes Medium zwischen Deckglas und Objectivlinse eingeschoben wurde, was natürlich auch einen entsprechenden Einfluss auf die beiden gleichzeitig mit den Reflexionen stattfindenden Brechungen ausübte. Amici wendete zu diesem Zwecke Oel und Wasser an, Oel, weil es einen höheren Brechungsindex hat, Wasser, weil es sich bequemer anwenden lässt. Der alltägliche Usus hat sich für Wasser entschieden, weil das Oel das Arbeiten sehr erschwert. Wir bringen bei den starken Vergrösserungen, bei unseren sogenannten Immersionssystemen oder Tauchlinsen, die namentlich durch die Anstrengungen von Hartnak zu immer grösserer und grösserer Vollkommenheit gebracht worden sind, einen Wassertropfen unten auf die Objectivlinse und schrauben sie dann herunter, so dass dieser Wassertropfen auch das Deckglas benetzt. Auf diese Weise sind Vergrösserungen erzielt worden von einer Vortrefflichkeit und Lichtstärke, wie sie früher niemals erreicht wurden.

Galilei'sches Fernrohr und Chevalier's Lupe.

Ausser dem astronomischen Fernrohre gibt es noch ein anderes, das sogenannte Galilei'sche Fernrohr. Galilei ist aber nicht der eigentliche Erfinder desselben. Der eigentliche Erfinder ist ein holländischer Brillenmacher, Hans Lippershey. Sehr bald nach ihm erfand es selbstständig ein zweiter Holländer, Metius; Galilei hörte nun von den Wirkungen dieser Fernröhre, ohne ihre Construction zu kennen, und fand dann diese selbstständig.

Wir haben schon früher gesehen, dass wir uns durch ein sehr dickes convex-concaves Brillenglas deutliche Bilder verschaffen können, indem wir

die Strahlen zusammenbrechen und dann durch die hintere Oberfläche wieder divergirend herausgehen lassen, so dass sie jetzt auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Wir haben das damals nur für Kurzsichtige angewendet: dasselbe Princip lässt sich aber für jedes Auge anwenden. Hierauf beruht ein kleines Instrument, welches man mit dem Namen des Steinheil'schen Conus zu bezeichnen pflegt. Es entsteht, wenn man sich eine jener dicken convex-concaven Glaslinsen in der Axe noch mehr verlängert denkt, es sei ein Glaskegel, der vorn eine convexe und hinten eine concave Fläche hat. Die Strahlen werden in demselben zusammengebrochen und werden durch die hintere Fläche so divergirend gemacht, dass sie in das Auge hineingelangen, wie Strahlen, die aus der Entfernung des deutlichen Sehens zum Auge gelangt sind. Dies ist nun auch das Princip des Galilei'schen Fernrohres, nur mit dem Unterschiede, dass der Conus mit seinen beiden Flächen in zwei Gläser zerlegt ist, in eine Sammellinse, durch welche die Strahlen, die von dem entfernten Gegenstande kommen, convergirend gemacht werden, und eine Zerstreuungslinse, durch welche sie so weit divergirend gemacht werden, dass sie in der Ebene der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Man kann bekanntlich die Divergenz der hier austretenden Strahlen und somit die Einstellung eines solchen Fernrohres für die Nähe und für die Ferne damit reguliren, dass man die Zerstreuungslinse von der Sammellinse entfernt oder derselben nähert. Da die beiden Linsen mit dem optischen Apparate des Auges ein System bilden, in welchem der hintere Knotenpunkt viel weiter nach vorn liegt als im Auge allein, so gibt eine solche Combination ein vergrössertes Bild. Während das Galilei'sche Fernrohr für astronomische Zwecke nicht mehr in Gebrauch ist, dient es uns noch allgemein unter der Form des Operngückers.

Es liegt nun nicht im Principe des Galilei'schen Fernrohres, dass man es nur für grosse Entfernungen anwenden könnte. Wenn man die Brennweite des Objectivs verkürzt, kann man es auch für geringere Entfernungen benützen. Die Brennweite wird dadurch verkürzt, dass man statt einer Sammellinse zwei nimmt. Nun werden Strahlen, die von verhältnissmässig nahe liegenden Gegenständen kommen, durch diese beiden Linsen so weit convergirend gemacht, dass sie, durch die Zerstreuungslinse wieder divergirend gemacht, so austreten, dass sie sich auf der Netzhaut vereinigen. Dann erhält man wieder ein vergrössertes Bild. Diese Lupe, die nach dem Principe des Galilei'schen Fernrohres construirt ist, hat vor der gewöhnlichen einen wesentlichen Vortheil, den, dass sie einen viel grösseren Objectabstand gibt. Bei der gewöhnlichen Lupe muss man sich dem Gegenstande sehr nähern, bei dieser Lupe ist das nicht nöthig. Eine solche Lupe dient also erstens zu anatomischen Präparationen, um Objecte zu untersuchen, die sich unter Wasser befinden, zur Untersuchung von Hautkranken, zur Untersuchung der Iris und dergleichen mehr, kurz überall, wo man sich nicht so unmittelbar den Gegenständen nähern kann oder will, wie dies bei der gewöhnlichen Lupe nothwendig ist. Sie wurde von Chevalier erfunden, kam aber wieder in Vergessenheit, so dass erst, als sie von Neuem erfunden und in Gebrauch gekommen war, Harting in seinem Werke über das Mikroskop nachwies, dass sie Chevalier bereits bekannt gewesen.

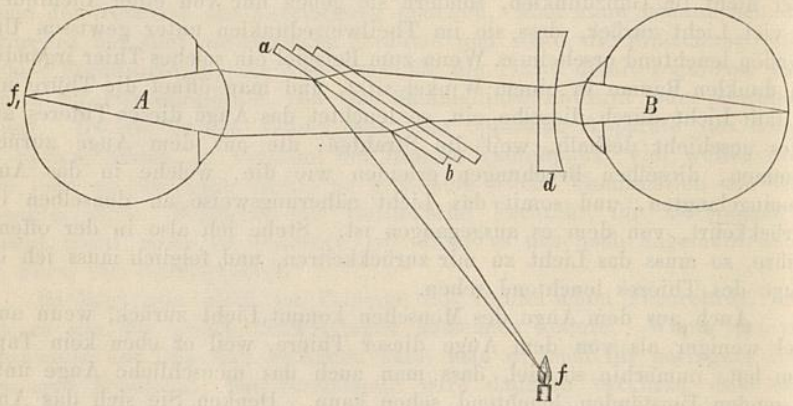
Die Augenspiegel.

Wir haben also gesehen, dass man sich deutliche Netzhautbilder verschaffen kann, erstens von Gegenständen, die zu klein sind, als dass man sie deutlich sehen könnte, und zweitens von Gegenständen, die zu entfernt sind, um ein hinreichend grosses Netzhautbild zu geben. Wir können uns jetzt noch die Frage vorlegen: Wie können wir in das Auge eines Andern hineinsehen? Wenn wir das Auge eines Andern ansehen, so sehen wir bekanntlich durch die Pupille einen schwarzen Grund, aber wir sehen nichts auf diesem Grunde. Das hat zweierlei Ursachen. Erstens sehen wir nichts auf diesem Grunde, weil die Netzhaut mit ihren Gefässen und die Chorioidea, die wir sehen sollten, nicht in der Entfernung des deutlichen Sehens sind, und zweitens sehen wir nichts, weil der Augengrund nicht hinreichend beleuchtet ist. Die Beleuchtung können wir uns verschaffen. Es wird keineswegs alles Licht im Auge absorbirt; es ist bekannt, dass die Augen derjenigen Thiere, die ein Tapetum haben, wie die Hunde und die Katzen, angeblich im Dunklen leuchten. Sie leuchten aber nicht im Ganzdunklen, sondern sie geben nur von einer Lichtquelle so viel Licht zurück, dass sie im Theilweisedunklen unter gewissen Umständen leuchtend erscheinen. Wenn zum Beispiel ein solches Thier irgendwo im dunklen Raume in einem Winkel sitzt, und man öffnet die Thüre und es fällt Licht durch dieselbe ein, so leuchtet das Auge dieses Thieres auf. Dies geschieht deshalb, weil die Strahlen, die aus dem Auge zurückkommen, dieselben Brechungen erleiden wie die, welche in das Auge hineingelangten, und somit das Licht näherungsweise an denselben Ort zurückkehrt, von dem es ausgegangen ist. Stehe ich also in der offenen Thüre, so muss das Licht zu mir zurückkehren, und folglich muss ich das Auge des Thieres leuchtend sehen.

Auch aus dem Auge des Menschen kommt Licht zurück, wenn auch viel weniger als von dem Auge dieser Thiere, weil er eben kein Tapetum hat, immerhin so viel, dass man auch das menschliche Auge unter passenden Umständen leuchtend sehen kann. Denken Sie sich das Auge eines Individuums und vor demselben eine Lichtflamme, so wird die Lichtflamme ein Bild auf die Netzhaut werfen, und die Strahlen, die zurückkommen, werden im Allgemeinen den Weg der eingetretenen Strahlen gehen. Wenn sich nun dem zu beobachtenden Auge gegenüber näherungsweise in einer Linie mit der Lichtflamme ein anderes befindet, und man verdeckt diesem die Lichtflamme, so wird ein Theil des Lichtes, das nicht genau denselben Weg zurückgelegt hat, in das beobachtende Auge gelangen, und dieses wird dann das beobachtete Auge leuchten sehen. Ich kann dies aber auch noch anders bewirken. Ich kann ein Planglas, *a b* Figur 51, schief aufstellen, und zur Seite davon eine Lichtquelle, dann wird das Licht von dem Planglase in das beobachtete Auge *A* reflectirt werden, es wird ein Flammenbild *f*, auf der Netzhaut entstehen; das Licht, das von diesem zurückkommt, geht durch das Planglas hindurch und gelangt zum beobachtenden Auge, das sich hinter dem Planglase befindet. Ich kann auch mehrere Platten hintereinander legen, damit die Reflexion stärker wird und eine grössere Menge Lichtes in das beobachtete und somit auch aus demselben in das beobachtende Auge *B* gelangt. Dies war die Beleuchtung, welche Helmholtz, der Erfinder des Augenspiegels,

angewendet hat, und welche in der beistehenden Figur dargestellt ist. Nachdem er so das Innere das Auges beleuchtet hatte, handelte es sich darum, wie er sich ein deutliches Bild von den Gegenständen verschaffte, welche nun beleuchtet im Grunde des Auges zu sehen waren. Denken Sie sich, das beobachtete und das beobachtende Auge seien beide für die unendliche Ferne eingestellt, so sehen Sie leicht ein, dass die Strahlen, die aus dem ersten Auge parallel herauskommen, auf der Netzhaut des andern zur Vereinigung kommen. Zwei Normalaugen, die beide für die unendliche Ferne eingestellt sind, können also das eine auf dem Grunde des andern deutlich sehen. Nun stellt sich aber ein Normalauge dem Beobachter gegenüber selten für die unendliche Ferne, sondern meistens auf eine endliche Ferne ein, so dass also die Strahlen aus Normalaugen und noch mehr aus kurzsichtigen Augen convergirend herauskommen. Ich kann also mit meinem blossen Auge, unter der Voraussetzung, dass es ein Normalauge sei, nur im Grunde des Auges eines Hypermetropen, der

Fig. 51.

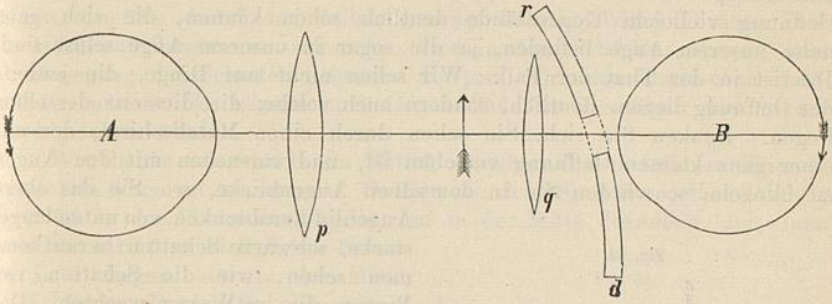


überhaupt auf keine endliche Ferne accommodirt, deutlich sehen. — Sobald das beobachtete Auge anfängt, für eine endliche Entfernung zu accommodiren, kommen die Strahlen convergirend heraus: ich muss also eine Correctionslinse, eine Zerstreuungslinse *d* Figur 51 zwischen mein Auge und das beobachtete einschalten. Dergleichen Correctionslinsen sind nun im Helmholtz'schen Augenspiegel in drehbaren Scheiben angebracht, so dass sie einzeln oder zu zweien vor das Auge gelegt werden können. Dieser Augenspiegel ist also nach dem Principe des Galilei'schen Fernrohres construirt. Die Strahlen kommen aus dem Auge convergirend, wie aus dem Objective eines Galilei'schen Fernrohres, sie werden durch eine Zerstreuungslinse so weit divergirend gemacht, dass sie sich auf der Netzhaut des beobachtenden Auges vereinigen.

Als der Helmholtz'sche Augenspiegel bekannt wurde, sagte sich der verstorbene Augenarzt Ruete: Wenn ich nach dem Principe des Galilei-schen Fernrohres auf dem Grunde des Auges deutlich sehen kann, dann muss ich auch nach dem Principe des astronomischen Fernrohres auf dem Grunde des Auges deutlich sehen können, und construirte nach diesem

Principe einen zweiten Augenspiegel. Denken Sie sich, die Strahlen kommen aus dem Auge *A* Figur 52 parallel oder schwach convergirend heraus, und ich bringe vor dasselbe eine Sammellinse *p*, so werden die Strahlen zusammengebrochen werden, und es wird von dem Netzhautbilde ein umgekehrtes Luftbild (siehe den Pfeil) entworfen werden. Dieses sehe ich durch eine Sammellinse *q* an, welche ich als Ocular vor meine Augen lege. Durch Abändern der Entfernung zwischen diesen beiden Sammellinsen oder ihrer Entfernung vom Auge kann ich mir also ähnlich wie beim Einstellen eines astronomischen Fernrohres immer ein deutliches Bild vom Grunde des Auges verschaffen. Es handelt sich jetzt nur darum: wie beleuchte ich? Dazu hat Ruete folgenden Weg eingeschlagen. Er nimmt einen ziemlich grossen Concavspiegel *d r*, der in der Mitte von einem Loche durchbrochen ist, und stellt demselben gegenüber eine Licht-

Fig. 52.

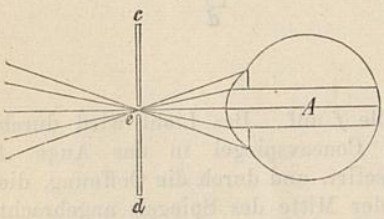


quelle *f* auf. Das Licht wird durch den Concavspiegel in das Auge *A* reflectirt, und durch die Oeffnung, die in der Mitte des Spiegels angebracht ist, kann dasselbe von dem Auge *B* beobachtet werden. Diese beiden Augenspiegel sind die Vorfahren aller Augenspiegel, die seitdem in grosser Anzahl erfunden worden sind. Die Augenspiegel lassen sich nur immer nach einem von den beiden Principien erfinden, die Ausführung aber lässt sich in mannigfacher Weise variiren. Man kann z. B. einen solchen durchbrochenen Spiegel als Mittel zur Beleuchtung nehmen, und kann das beobachtende Auge mit einer Zerstreuungslinse corrigiren, die vor oder hinter dem Loche des Spiegels angebracht ist. Dann hat man das optische Princip vom Helmholtz'schen Spiegel hergenommen, die Beleuchtung aber nach Ruete eingerichtet. Man kann ferner, wie Hasner gethan hat, Zerstreuungslinsen auf der planen oder convexen Seite mit Spiegelfolie belegen und diese in der Mitte wegnehmen, so dass man hier hindurchsehen kann, und somit diese foliirte Linse als Beleuchtungsapparat und zugleich als Correctionslinse verwenden.

Die Beobachtung von Gegenständen im eigenen Auge.

Wenn ich die Gegenstände im Auge eines Andern untersuchen kann, so kann ich vielleicht auch die Gegenstände in meinem eigenen Auge sehen. Das Sehen von Gegenständen im eigenen Auge bezeichnet man mit dem Namen der entommatischen Gesichtswahrnehmung. Warum sehe ich für gewöhnlich die Gegenstände in meinem Auge nicht? Deshalb nicht, weil sie kein deutliches Bild geben können. Wenn ich einen Gegenstand meinem Auge immer mehr nähere, so wird das Bild immer undeutlicher, und lange noch, ehe ich die Cornea berühre, ist es völlig undeutlich geworden. Es ist also klar, dass von den Gegenständen auf der Cornea und hinter der Cornea kein deutliches Bild entstehen kann, weil die Strahlen nicht mehr auf der Netzhaut vereinigt werden. Wir haben aber früher gesehen, dass alle Dinge nur undeutlich werden durch die Grösse der Zerstreuungskreise, und dass wir durch eine kleine Oeffnung in jeder Entfernung deutlich sehen können. Wir werden also durch eine kleine Oeffnung vielleicht Gegenstände deutlich sehen können, die sich ganz nahe unserem Auge befinden, ja die sogar in unserem Auge selbst sind. Das ist in der That der Fall. Wir sehen nicht nur Dinge, die jenseits der Oeffnung liegen, deutlich, sondern auch solche, die diesseits derselben liegen. Denken Sie sich, Sie sehen durch einen Metallschirm, der mit einer ganz kleinen Oeffnung versehen ist, und versuchen mit den Augen zu blinzeln, so würden Sie in demselben Augenblicke, wo Sie das obere Augenlid herabsenken, von unten lange, starke, schwarze Schatten heraufkommen sehen, wie die Schatten von Binsen, die im Wasser wachsen. Das geht folgendermassen zu. Denken Sie sich, *A* Figur 53 sei Ihr Auge und vor demselben befinde sich, wir wollen der Einfachheit halber annehmen im vorderen Brennpunkte, also einen halben Augendurchmesser von dem Scheitel der Cornea entfernt, ein Schirm *c d* mit einer kleinen Oeffnung *e*. Dann gehen alle Strahlen, die zu dem Auge gelangen konnten, so zu ihm, als ob sie von einem Punkte, von dieser Oeffnung ausgingen. Dergleichen Licht, das von einem Punkte ausgeht, bezeichnet man mit dem Namen des homocentrischen Lichtes. Wenn sich nun eine Cilie in diesen Lichtkegel herabsenkt, so wird sie von diesem Lichtkegel eine Reihe von Strahlen auffangen und diese werden nicht wie die übrigen parallel im Glaskörper verlaufenden zur Netzhaut kommen. Es werden also die Cilien einen Schatten werfen in dem homocentrischen Lichte, und dieser Schatten wird sich auf die Netzhaut projiciren. Er befindet sich aber auf der Netzhaut über dem Horizonte, er muss also im Sehfelde umgekehrt, unter den Horizont versetzt werden. Es ist also klar, dass, wenn man das obere Augenlid herabsenkt und die Cilien in diesen Kegel hineintreten, die Schatten derselben unten erscheinen werden, und das sind eben diese binsenartigen Gebilde.

Fig. 53.



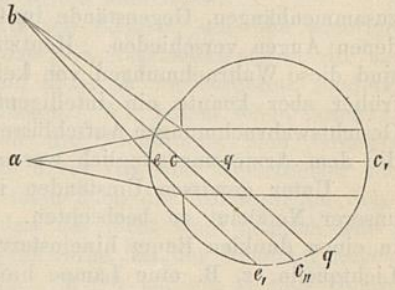
Wodurch ist hierbei das Sehfeld begrenzt? Wenn Sie durch ein solches Loch hindurchsehen und bringen dasselbe dem Auge immer näher,

so wird es immer grösser, und Sie glauben deshalb auch, es sei dieses runde Sehfeld noch immer von dem Rande des Loches begrenzt. Der Schirm befindet sich aber Ihrem Auge so nahe, dass Sie von dem Rande des Loches kein deutliches Bild haben können. Die Grenze dieses hellen Sehfeldes wird durch etwas ganz Anderes gebildet, nämlich durch den Pupillarrand der Iris. Die Iris schneidet von dem Lichte, das im Auge fortschreitet, um zur Netzhaut zu gelangen, ein ringförmiges Stück ab, sie wirft einen schwarzen Schatten auf die Netzhaut; nur das Licht, das durch die Pupille eingeht, erhellt die Netzhaut und bringt eben dieses kreisförmige Sehfeld zu Stande. Wenn deshalb die Pupille nicht rund ist, so ist es auch das Sehfeld nicht.

Man kann im homocentrischen Lichte Rauhigkeiten auf der Hornhaut wahrnehmen. Wenn Sie sich z. B. zuerst das Gesichtsfeld in dieser Weise ansehen, und Sie sehen es wiederum an, nachdem Sie das Auge gerieben haben, so werden Sie eigenthümliche, wellenförmige Schattirungen im Sehfelde bemerken, die von den Rauhigkeiten auf der Hornhaut herrühren, die Sie durch das Reiben erzeugt haben. Wenn Thränen über die Hornhaut fliessen, so sehen Sie dies in dem Sehfelde, nur so, dass die Bewegung des Schatten gebenden Körpers von unten nach oben stattzufinden scheint. Es können auch Gegenstände im Glaskörper und in der Linse gesehen werden.

Wir haben aber auch ein Mittel, annähernd den Ort der Binnenobjecte im Auge zu bestimmen. Denken Sie sich, Sie hätten einen Punkt *c* Figur 54 in der Ebene der Pupille und in der Mitte derselben, der einen Schatten wirft; so wird dieser Schatten in $c_{,}$ liegen, also in der Mitte des Sehfeldes. Denken Sie sich weiter, Sie hätten das Centrum des homocentrischen Lichtes, also die Oeffnung im Schirme, von *a* nach *b* hin bewegt, so wird der Schatten in $c_{,,}$ und, da das Sehfeld durch den Rand der Iris begrenzt ist, der in derselben Weise wandert wie der Schatten von $c_{,}$ noch immer in der Mitte des Sehfeldes liegen; er wird also seinen Ort im Sehfelde behalten. Also Objecte, deren Schatten beim Bewegen des Schirmes ihren Ort im Sehfelde behalten, liegen in der Ebene der Pupille. Denken Sie sich aber, der Gegenstand hätte nahe dem Scheitel der Hornhaut bei *e* gelegen, und ich hätte nun den Schirm verschoben, so wird der Schatten nun nicht mehr in der Mitte des Sehfeldes erscheinen, wie vor der Verschiebung des Schirmes, sondern er wird nach Verschiebung des Schirmes nach $e_{,}$ fallen. Er hat sich also auf der Retina im entgegengesetzten Sinne, also im Sehfelde, im gleichen Sinne mit dem Loche im Schirme bewegt. Gegenstände also, die sich bei Bewegung des Schirmes im Sehfelde gleichsinnig mit der Bewegung des Schirmes verschieben, liegen vor der Ebene der Pupille. Wir nehmen nun an, ein Gegenstand hätte in der Axe gelegen hinter der Ebene der Pupille, und zwar bei *q*, so würde, nachdem der Schirm verschoben ist, sein Schatten in $q_{,}$ liegen; er würde sich in

Fig. 54.



entgegengesetzter Richtung bewegt haben von der des früheren Schattenbildes. Er würde auf der Netzhaut in gleicher Richtung, im Sehfelde in entgegengesetzter mit der Bewegung des Schirmes sich verschoben haben. Gegenstände, die sich mit der Bewegung des Schirmes in entgegengesetzter Richtung im Sehfelde verschieben, liegen hinter der Ebene der Pupille, und um so mehr, je stärker sie sich verschieben. Gegenstände endlich, welche schon deutliche Schattenbilder geben, wenn man gegen einen hellen Grund sieht, das sind Gegenstände, die sehr nahe der Netzhaut liegen, denn sonst könnten sie bei einer solchen Oeffnung, wie sie die Pupille darbietet, nicht schon sichtbare Schatten werfen. Solche Schattenbilder sind z. B. die so häufigen sogenannten Perlschnurspectra.

Das homocentrische Licht, das man zum Sehen dieser entommatischen Gegenstände braucht, kann auch noch auf andere Art hergestellt werden. Es kann hergestellt werden durch das Sonnenbild, das von einer Thermometerkugel oder einer andern kleinen, glänzenden Kugel reflectirt wird. Es kann hergestellt werden dadurch, dass ich nach einer entfernten Gasflamme durch eine Sammellinse sehe und mir von derselben ein verkleinertes umgekehrtes reelles Bild verschaffe. Es kann endlich dadurch hervorgebracht werden, dass ich durch eine starke Concavlinse nach einer entfernten Gasflamme sehe und mir dadurch ein aufrechtes virtuelles Bild von der Gasflamme verschaffe, dessen Ort sich hinreichend nahe vor den Augen befindet. Alle diese Arten haben aber keinen Vortheil vor dem Schirme mit der kleinen Oeffnung, der, wenn man über einen hinreichend hellen Grund disponirt, das beste Mittel ist, um die Gegenstände im eigenen Auge zu sehen. Man sieht Gegenstände in der Hornhaut, der vorderen Augenkammer, Gegenstände, die mit der Structur der Linse zusammenhängen, Gegenstände im Glaskörper. Das ist nach den verschiedenen Augen verschieden. Heutzutage, wo man den Augenspiegel hat, sind diese Wahrnehmungen von keiner besonderen praktischen Bedeutung: früher aber konnte ein intelligenter Patient durch die entommatischen Gesichtswahrnehmungen Aufschlüsse über Dinge in seinem Auge verschaffen, die dem Arzte unzugänglich waren.

Unter gewissen Umständen ist es uns auch möglich, die Gefässe unserer Netzhaut zu beobachten. Purkinje fand zuerst, dass, wenn er in einen dunklen Raum hineinstarrte und dann im indirecten Sehen eine Lichtquelle, z. B. eine Lampe hielt und sie hin und her bewegte, dass dann nach einiger Zeit immer deutlicher und deutlicher ein Gefässbaum ihm vor dem Auge erschien, der offenbar nichts Anderes war als der Baum der Netzhautgefässe. Es ist das die Erscheinung, welche man mit dem Namen der Purkinje'schen Aderfigur bezeichnet. Diese ist später von Heinrich Müller auch noch auf andere Weise hervorgebracht worden. Warum sehen wir die Aderfigur nicht immer, da die Gefässe doch unmittelbar auf der Netzhaut liegen und also immer ihren Schatten auf dieselbe werfen müssen? Die Antwort lautet: wir sehen sie deshalb nicht, weil für gewöhnlich der Schatten immer an dieselbe Stelle fällt und wir eben nur Veränderungen an unserer Netzhaut wahrnehmen, das Bleibende aber für uns ein- für allemal verborgen ist. So bemerken wir auch den blinden Fleck für gewöhnlich nicht, welcher durch die Eintrittsstelle des Sehnerven gegeben ist. Wenn nun aber im Auge irgendwo eine Lichtquelle gebildet wird, vermöge welcher die Netzhautgefässe ihren Schatten

auf einen andern, auf einen ungewöhnlichen Ort werfen, dann sehen wir den Baum der Netzhautgefässe. Das geschieht beim Purkinje'schen Versuche in der Weise, dass, wenn man eine Lichtquelle im indirecten Sehen anbringt, diese auf der sonst dunklen Netzhaut irgendwo seitlich ein Flammenbild hervorbringt; von diesem geht Licht nach allen Seiten aus, und in diesem werfen die Netzhautgefässe einen Schatten am ungewöhnlichen Orte. Dieser Schatten ist es, welchen wir als Purkinje'sche Aderfigur bezeichnen.

Purkinje hat noch einen andern Weg eingeschlagen, um die Aderfigur sichtbar zu machen. Er hat das Flammenbild, das als Beleuchtung dienen soll, an Ort und Stelle dadurch hervorgebracht, dass er eine Sammellinse neben dem Auge aufstellte und die Strahlen einer Lichtquelle durch diese Sammellinse auf einen Punkt der Sclerotica concentrirte, so dass sie durch die Sclera und die Chorioidea hindurchgingen und auf der Netzhaut einen Lichtpunkt bildeten, von dem aus sie wieder divergirten und so einen anomalen, sichtbaren Gefässschatten hervorriefen. Auf diese Weise kann die Purkinje'sche Aderfigur noch deutlicher zur Erscheinung gebracht werden als nach dem vorerwähnten Verfahren. S. Exner hat zuerst auf die anscheinend paradoxe Thatsache aufmerksam gemacht, dass man bei dieser Form des Versuches den direct erleuchteten Fleck der Netzhaut nicht als hell sieht. Es besagt dies auf den ersten Anblick, dass die Zapfen nur erregt werden, wenn das Licht sie von Innen nach Aussen durchfliesst, dass in umgekehrter Richtung hindurchgehendes Licht wirkungslos sei; aber Exner macht selbst schon darauf aufmerksam, dass sich die Zapfen diesem Lichte gegenüber in sehr geschützter Lage befinden, so dass möglicher Weise sehr wenig davon in sie eindringt.

Heinrich Müller hat diesen Versuch benützt, um eine wichtige Thatsache zu eruiren, die Thatsache, dass die Netzhautelemente, die als erste Angriffspunkte für das Licht dienen, nicht an der vorderen, sondern an der hinteren Fläche der Netzhaut liegen. Wir haben schon gesehen, dass die Figur deutlicher wird, wenn die Lichtquelle sich bewegt. Heinrich Müller hat seine Lichtquelle durch Hin- und Herschieben der Linse bewegt und bemerkt, dass sich dann auch die Aderfigur im Sehfelde bewegte. Nun sehen Sie leicht, dass das nicht wohl möglich wäre, wenn der Angriffspunkt für das Licht ganz vorne auf der Netzhaut liegen würde, da, wo die Gefässe selbst liegen. Wenn ich ein solches Gefäss einmal von der einen, das andere Mal von der andern Seite beleuchte, so wird dadurch die Lage des Schlagschattens in einer Ebene, die mit der, in der das Gefäss selbst liegt, nahezu zusammenfällt, nicht merklich verändert. Wenn aber die auffallende Fläche für den Schlagschatten weiter nach hinten liegt, dann fällt bei Beleuchtung von verschiedenen Seiten auch der Schlagschatten an verschiedene Orte derselben, er muss sich also auf ihr verschieben, wenn die Lichtquelle bewegt wird. Heinrich Müller mass nun die Verschiebung der Lichtquelle und zugleich auch die Verschiebung, die die Aderfigur im Sehfelde erlitt, und berechnete daraus, wie weit die auffangende Fläche hinter den Gefässen liegen müsse. Er kam zu dem Resultate, dass die auffangende Fläche in der hintersten Schichte der Netzhaut, also in der Stäbchenzapfenschichte, liegen müsse.

Der Gefässbaum ist uns für gewöhnlich nicht sichtbar, weil er sich ruhend an einem und demselben Orte befindet und seinen Schatten immer

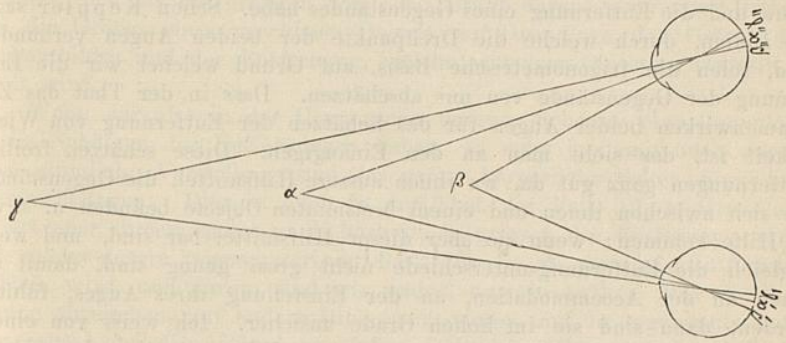
an einen und denselben Ort wirft; aber die sich bewegenden Theile, die Blutkörperchen, sind uns unter Umständen schon mit freiem Auge sichtbar. Wenn wir gegen einen sehr hellen Grund, z. B. gegen den hell beleuchteten Himmel sehen, so dass die Pupille sehr enge wird, dann sehen wir im Sehfelde eine Menge heller Punkte, die sich in einer gewissen Reihenfolge, mit einer gewissen Regelmässigkeit und in gewissen Richtungen bewegen. Wenn wir diese Punkte längere Zeit beobachten, so können wir kaum bezweifeln, dass dieselben dem optischen Effecte der Blutkörperchen in den Netzhautgefässen ihren Ursprung verdanken. Sie sind Schlagschatten im physikalischen Sinne des Wortes, aber man muss dabei berücksichtigen, dass Schlagschatten in Folge der Refraction und der Diffraction nicht überall dunkler sind als der Grund, auf dem sie sich abzeichnen.

Binoculäres Sehen.

Durch das binoculäre Sehen, durch das gleichzeitige Auffassen mit beiden Augen wird es möglich, dass Fehler und Unvollkommenheiten des einen Auges bis zu einem gewissen Grade durch das andere Auge ausgeglichen werden. Ferner beruhen auf dem binoculären Sehen zum guten Theile unsere Vorstellungen von der Körperlichkeit der Dinge und im Zusammenhange damit auch die Vorstellungen von der Entfernung der Dinge von uns. Wenn wir einen Gegenstand deutlich sehen wollen, so suchen wir ihn in beiden Augen im sogenannten Centrum retinae, im Grunde der Fovea centralis retinae, abzubilden. Wir suchen also eine gedachte gerade Linie auf ihn zu richten, welche durch den zwischen den Knotenpunkten liegend gedachten Kreuzungspunkt der Sehstrahlen und durch das Centrum retinae hindurchgeht. Diese Linie nennen wir die Gesichtslinie. Die Gesichtslinie ist also von allen Sehstrahlen, das heisst von allen geraden Verbindungslinien zwischen Bild und Object, diejenige, welche das Centrum retinae im Grunde der Fovea centralis trifft. Einen Punkt im Sehfelde, auf den eine Gesichtslinie gerichtet ist, nennen wir einen Blickpunkt, und einen Punkt, auf den beide Gesichtslinien gerichtet sind, an dem also zwei Blickpunkte in einen zusammengefallen sind, bezeichnen wir mit dem Namen des Fixationspunktes, wir sagen von diesem Punkte, er sei in der Fixation. Die Stellen der Bilder der Blickpunkte, die ja in beiden Augen in den Grund der Fovea centralis, in das sogenannte Centrum retinae fallen, sind identische Stellen, d. h. ihre Eindrücke werden nicht doppelt, sondern einfach empfunden, indem wir deren Ursachen für beide Augen an einen und denselben Ort des Sehraumes versetzen. Das fixirte Object wird also einfach gesehen. Denken Sie sich, der Punkt α Figur 55 sei der Fixationspunkt, so wird dieser in beiden Augen in der Fovea centralis retinae abgebildet, und zwar in $\alpha_{,}$ und $\alpha_{,,}$. Wir sprechen hier zunächst nur von Augen, die eine normale Fixation haben, wir nehmen aus die schielenden, bei denen entweder ein Auge feststeht oder doch nur Bewegungen in beschränkter Ausdehnung macht, oder bei denen das zweite Auge zwar dem ersten in seinen Bewegungen folgt, aber so, dass keine Fixation zu Stande kommt, dass der angesehene Punkt nicht in beiden Augen, sondern nur in einem Auge im Grunde der Fovea centralis retinae abgebildet wird. Denken Sie sich nun, es wäre diesseits von α ein zweiter Punkt β, und Sie zögen von ihm durch den Kreuzungs-

punkt der Sehstrahlen zur Netzhaut hin eine Gerade, um sein Bild zu finden, so wird er in dem einen Auge in $\beta_{,,}$ im andern Auge in $\gamma_{,,}$ abgebildet werden. Er wird also in beiden Augen nach der Schläfenseite hin abgebildet werden. Das eine Auge muss ihn also im Sehfelde nach links vom fixirten Punkte versetzen, das andere Auge muss ihn nach rechts davon versetzen. Es ist also klar, dass dieser Punkt Doppelbilder geben muss, und zwar sogenannte gekreuzte Doppelbilder, indem, wenn ich das rechte Auge schliesse, das zur linken Hand liegende Doppelbild verschwindet, und wenn ich das linke Auge schliesse, das zur rechten Hand liegende Doppelbild verschwindet. Denke ich mir umgekehrt, ich hätte einen Punkt γ, der jenseits von α liegt, so wird dieser Punkt, wenn ich von ihm eine Gerade durch den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen ziehe, in dem einen Auge in $\gamma_{,,}$ in dem andern in $\beta_{,,}$, in jedem nach der Nasenseite hin, abgebildet. Das rechte Auge muss ihn also nach rechts von dem fixirten Punkte verlegen und das linke nach links von dem fixirten Punkte. Ich kann also auch diesen Punkt nicht einfach sehen, sondern

Fig. 55.



ich muss ihn doppelt sehen, und zwar habe ich hier sogenannte gleichsinnige Doppelbilder, indem, wenn ich das rechte Auge schliesse, das rechte Doppelbild verschwindet, und wenn ich das linke Auge schliesse, das linke Doppelbild verschwindet.

Die Doppelbilder werden im Allgemeinen weniger deutlich gesehen als die einfachen Bilder von Gegenständen, die in der Gegend des Fixationspunktes liegen: erstens, weil jedes Doppelbild nur auf einer Netzhaut abgebildet wird, und auf der anderen Netzhaut an der betreffenden Stelle etwas Anderes abgebildet ist, zweitens, weil die Doppelbilder im indirecten Sehen liegen, und drittens, weil das Auge für die Entfernung der Gegenstände, welche Doppelbilder geben, in der Regel nicht eingestellt ist. Für gewöhnlich und bei der Mehrzahl der Individuen stellt sich das Auge für die Entfernung ein, in welcher sie fixiren, es müssen also sowohl die Gegenstände diesseits als jenseits weniger deutliche Bilder geben. Dies letztere kann allerdings mitunter nicht der Fall sein. Es kann z. B. ein Kurzsichtiger einen ferneren Gegenstand fixiren, er kann mit der Fixation über seine Sehweite hinausgehen, so dass er zwar den Gegenstand noch

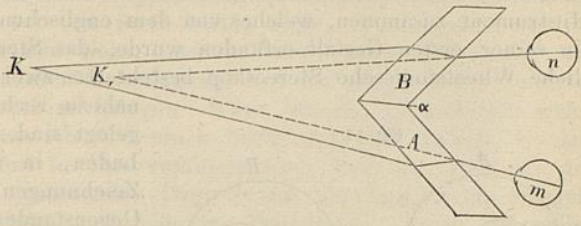
einfach, aber nicht mehr deutlich sieht: dann kann er von einem Gegenstande, der diesseits liegt, und für welchen sein Auge besser accommodirt ist als für den fixirten, Doppelbilder haben, die nun reiner contourirt sind als das Bild des fixirten Gegenstandes selbst. Im Allgemeinen aber folgt, wie gesagt, die Accommodation der Fixation, so dass die Accommodation sich für dieselbe Entfernung anpasst, für welche sich die Convergenz der Gesichtslinien einrichtet, das heisst für die Entfernung, in der die Gesichtslinien beider Augen einander treffen. Es hat daher seine Schwierigkeiten, und man erlangt es erst durch Uebung, die Convergenz der Sehaxen bis zu einem gewissen Grade von der Accommodation unabhängig zu machen, so dass man z. B. seine Gesichtslinien in einem verhältnissmässig nahe liegenden Punkte kreuzen und dabei doch an einer entfernten Wand deutlich sehen kann.

Wenn ich aus der Fixation für einen näheren Gegenstand in die für einen entfernteren übergehe, muss ich meine Gesichtslinien mehr parallel stellen, wenn ich aus der Fixation für einen entfernteren in die für einen näheren übergehe, muss ich meine Gesichtslinien stärker convergiren lassen. Da ich dies nun fortwährend beim Anschauen der körperlichen Welt thue, so ist es klar, dass ich hierin einen Massstab für die Nähe und die Entfernung eines Gegenstandes habe. Schon Keppler sagt, die Linien, durch welche die Drehpunkte der beiden Augen verbunden sind, seien die trigonometrische Basis, auf Grund welcher wir die Entfernung der Gegenstände von uns abschätzen. Dass in der That das Zusammenwirken beider Augen für das Schätzen der Entfernung von Wichtigkeit ist, das sieht man an den Einäugigen. Diese schätzen freilich Entfernungen ganz gut da, wo ihnen äussere Hilfsmittel, die Gegenstände, die sich zwischen ihnen und einem bestimmten Objecte befinden u. s. w., zu Hilfe kommen; wenn sie aber dieser Hilfsmittel bar sind, und wenn zugleich die Entfernungsunterschiede nicht gross genug sind, damit sie ihnen an der Accommodation, an der Einstellung ihres Auges, fühlbar werden, dann sind sie im hohen Grade unsicher. Ich weiss von einem einäugigen Maler, der in der Anschauung und Reproduction der Objecte durchaus nicht behindert war, da ja alle Bilder so gemalt werden, als ob die dargestellten Dinge mit einem Auge gesehen wären, der aber, wenn er malen wollte, wenn er seinen Pinsel auf die Leinwand bringen wollte, nicht den Zeitpunkt wusste, in dem der Pinsel die Leinwand berührte. Er musste sich ihr mit einer gewissen Vorsicht nähern, und erst, wenn der Pinsel auf der Leinwand angelangt war, konnte er ruhig weiter malen. Wenn man Jemandem ein Auge zuhält und ihm dann eine nach der Fläche gekrümmte Scheere vorhält, so räth er nicht selten falsch, wenn man ihn fragt, ob ihm die concave oder die convexe Seite zugekehrt sei: lässt man ihn dies aber mit beiden Augen beurtheilen, so räth er nicht falsch, weil er aus dem Zusammenwirken beider Augen sieht, ob ihm das Schloss oder die Spitze der Scheere näher ist.

Rollet hat einen Apparat construirt, der in recht auffälliger Weise zeigt, wie wir je nach der Convergenz unserer Sehaxen die Entfernung schätzen. In einem Gestelle befinden sich zwei dicke planparallele Prismen A und B aus Glas. Diese sind so gegeneinander gestellt, dass sie mit einander einen rechten Winkel einschliessen. Wenn nun dem Punkte K

die Spitze des Winkels zugekehrt ist, so machen die Strahlen, um zu den Augen m und n zu gelangen, einen Weg, wie er in Figur 56 dargestellt ist. Sie gelangen also zum Auge, als ob sie von dem näherliegenden Punkte $K_{,}$ ausgegangen wären. An einem Drahte befinden sich nun in K übereinander zwei ganz gleiche Holzschienen, die an demselben so angebracht sind, dass die eine durch die Prismen, die andere gleichzeitig mit freien Augen gesehen werden kann. Dann erscheint die, welche durch die Prismen gesehen wird, näher und kleiner als die andere. Nun kehrt man die Prismen um, so dass der Winkel gegen das Object hin offen und gegen das Gesicht des Beobachters geschlossen ist. Dann erscheint umgekehrt die durch die Prismen gesehene Schiene grösser und entfernter als die andere. Dass jedesmal die Schiene, die uns entfernter erscheint, sich als die grössere darstellt, beruht darauf, dass unser Urtheil über die Grösse eines gesehenen Objects auf Grundlage der Grösse des Netzhautbildes und der Entfernung, welche wir dem Objecte zuschreiben, gefällt wird.

Fig. 56.

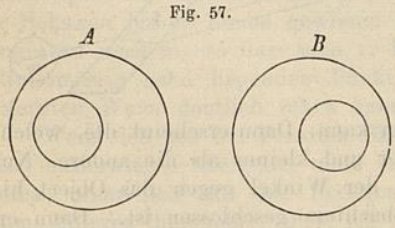


Wenn wir also in der Convergenz unserer Sehaxen eine Grundlage für das Schätzen der Entfernungen haben, so muss ja damit auch unsere ganze räumliche Vorstellung und das ganze körperliche Sehen überhaupt zusammenhängen. Dies ist auch in der That der Fall. Diese Grundlage verliert aber immer mehr an Sicherheit, je grösser die Entfernung wird, weil zuletzt unsere trigonometrische Basis für die zu messende Entfernung zu klein wird, und darum sind wir später, um ein Urtheil über die Entfernung abzugeben, auf andere Dinge angewiesen, auf die sogenannte Luftperspective, auf die scheinbare Grösse bekannter Gegenstände, auf die Menge der Gegenstände, welche sich zwischen uns und den Gegenständen befinden, deren Entfernung wir schätzen. Es stellt sich dabei heraus, dass wir, je mehr uns unser erstes Hilfsmittel und diese weiteren Hilfsmittel im Stiche lassen, um so mehr die Entfernung unterschätzen, niemals überschätzen. Wenn man eine entfernte Gebirgskette ansieht, wenn Sie z. B. auf die hohe Warte gehen und die kleinen Karpathen ansehen, so scheint es, als ob diese Berge steil anstiegen, während sie in der That schwach geneigte Abhänge haben. Wenn Sie Gebirgsketten hintereinander aufsteigen sehen, so scheinen sie, auch wenn sie meilenweit von einander entfernt sind, coulissenartig hintereinander aufgestellt zu sein. Erst wenn Sie sich ihnen nähern, so sehen Sie, dass sie mit verhältnissmässig sanften Abdachungen ansteigen, dass weite Thäler zwischen ihnen liegen, kurz, dass Sie grosse Entfernungen in auffälligster Weise unterschätzt haben, weil Ihnen eben die gewöhnlichen Mittel abhanden gekommen sind, vermöge welcher wir Entfernungen schätzen.

Stereoskope.

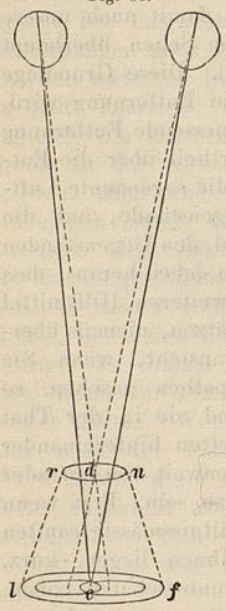
Mit diesem körperlichen Sehen, damit, dass wir die Entfernung der Gegenstände nach der Convergenz unserer Sehaxen bemessen, hängt ein Instrument zusammen, welches von dem englischen Physiker Wheatstone in seiner ersten Gestalt erfunden wurde, das Stereoskop. Das ursprüngliche Wheatstone'sche Stereoskop besteht aus zwei Spiegeln, welche unter nahezu rechtem Winkel aneinander gelegt sind, und aus zwei seitlichen Laden, in welchen perspectivische Zeichnungen eines und desselben Gegenstandes eingeschoben werden, aber perspectivische Zeichnungen der Art, dass das eine Mal der Gegenstand gezeichnet ist, wie er mit dem rechten Auge gesehen wird, und das andere Mal der Gegenstand gezeichnet ist, wie er mit dem linken Auge gesehen wird. Wenn man nun die eine Zeichnung, die vom linken Auge, an die rechte, und die vom rechten Auge an die linke Seite legt, so entstehen Spiegelbilder, die im Sehfelde übereinander fallen, und aus diesen Spiegelbildern entsteht uns das Relief des Körpers, wir glauben den Körper selbst vor uns zu sehen.

Fig. 57.



Wir wollen mit einem recht einfachen Gegenstande beginnen. Denken Sie sich, Sie hätten einen abgestumpften Kegel, und Sie bringen ihn der Nasenwurzel gegenüber ziemlich nahe vor die Augen, so wird er jedem der beiden Augen als aus zwei Kreisen bestehend erscheinen, einem grösseren, der der Basis entspricht, und einem kleineren, der der Abstumpfungsfläche entspricht. Diese Abstumpfungsfläche wird aber für beide Augen nach verschiedenen Seiten aus dem Centrum gerückt sein. Nun denken Sie sich zwei entsprechende Zeichnungen, *A* und *B*, Figur 57, eine für das linke und die andere für das rechte Auge ins Stereoskop gelegt, so fallen ihre Spiegelbilder wie in *l c f* Figur 58 im Sehfelde übereinander. Denken Sie sich weiter, Ihre Gesichtslinien convergirten zunächst für den Punkt *c* so, dass die beiden grossen Kreise auf identischen Stellen der Netzhäute abgebildet würden und im Sehfelde in den hier perspectivisch gezeichneten Kreis *l f* zusammenfielen: dann bildet sich der kleine Kreis in den beiden Augen auf verschiedenen, auf nicht identischen Stellen der Netzhäute ab. Sie müssen, um ihn einfach zu sehen, Ihre Gesichtslinien convergiren lassen für einen näheren Punkt, für *d*, und die Folge davon ist, dass Sie die Entfernung dieser beiden, jetzt in einen zusammenfallenden Kreise geringer schätzen, als sie ist. Es schiebt sich der kleinere einfach gesehene Kreis vor den grösseren, es ist, als ob er in *r n* läge, und ich habe dadurch

Fig. 58.



das Bild eines abgestumpften Kegels *l r n f* im Relief. Wenn wir gefragt werden, warum wir denn hiebei über die Doppelbilder hinwegsehen und eben nur die einfachen Gesichtseindrücke wahrnehmen, so lautet die Antwort darauf, dass wir das immer thun: denn wir sehen ja, wenn wir die Aussenwelt ansehen, viel mehr Doppelbilder als einfache Bilder und nichtsdestoweniger nehmen wir von jenen nichts wahr. Wir nehmen nur die einfachen Gesichtseindrücke wahr, und es bedarf einer besonderen Anstrengung, einer besonderen Ueberlegung, um die Doppelbilder wahrzunehmen, zum Bewusstsein zu bringen. Wenn ich die Doppelbilder wahrnehmen will, dann muss ich erst einen Punkt ganz fest fixiren, so dass meine Gesichtslinien fest in ihm vereinigt sind, und nun muss ich mir erst geflissentlich die entstehenden Doppelbilder zur Anschauung bringen. Gerade dasselbe geschieht auch hier im Stereoskop. Wenn ich meine Gesichtslinien fest und dauernd für eine bestimmte Entfernung einstelle, so fällt das Relief in zwei Flachbilder auseinander. Manchmal sieht man im ersten Augenblicke, wenn man in das Instrument hineinsieht, die Doppelbilder, aber meistens nach verhältnissmässig kurzer Zeit vereinigen sie sich vollständig miteinander. Wir sehen also beim ruhigen stereoskopischen Sehen gerade so wie beim Sehen der körperlichen Dinge der Aussenwelt mit schwankenden Sehaxen, das heisst, wir gehen bald aus einer näheren Fixation in eine entferntere und umgekehrt über und sehen also die verschiedenen Theile der Zeichnung nacheinander einfach. Aus den veränderlichen, aus den wandernden Bildern auf unseren Netzhäuten entsteht für uns die Vorstellung des Körperlichen, des Vertieften und des Erhabenen.

Dieser Anschauung steht anscheinend eine vielfach bestätigte Thatsache entgegen. Dove hat gezeigt, dass man Gegenstände auch stereoskopisch sieht in einem so kurzen Zeitraume, dass in diesem gar kein merkliches Schwanken der Sehaxen stattfinden kann. Wir wissen, dass der elektrische Funke eine sehr kurze Zeit dauert, dass ein sich drehender Farbenkreisel, der durch denselben beleuchtet wird, stillzustehen scheint. Man kann also sicher sagen, dass die Gesichtslinien keine merkliche Bewegung während der Dauer des elektrischen Funkens machen können, und doch erblickt man, wenn man in das Stereoskop hineinsieht, beim Lichte des elektrischen Funkens die Gegenstände, wenn nicht immer, doch häufig noch körperlich. Diese Beobachtung steht anscheinend nicht in Uebereinstimmung mit der Vorstellung, die wir uns bis jetzt gemacht haben, mit der, dass wir die näheren Gegenstände dadurch einfach sehen, dass wir die Gesichtslinien stark convergiren lassen, dass wir sie dann für die entfernteren weniger stark convergiren lassen, und dass hieraus uns die Idee von der dritten Dimension, von der Tiefe des Raumes erwächst. Die Sache ist aber folgende. Eine Gesichtswahrnehmung muss, um vorgestellt zu werden, zu einem bestimmten concreten Abschluss gelangen. Das Gehirn übernimmt es, das, was an dem unmittelbaren Sinneseindruck mangelhaft ist, zu ergänzen. Wir könnten nach dem momentanen Sinneseindrucke erst einmal die Doppelbilder sehen, welche thatsächlich diesen momentanen Sinneseindruck darstellen. Ueber Doppelbilder aber sind wir unser ganzes Leben lang gewöhnt hinwegzusehen, die nehmen wir nur mit Schwierigkeit wahr, wir müssen erst einen bestimmten Punkt fixiren, damit uns die übrigen Punkte, die näher oder ferner liegen, in Doppelbilder auseinander-

weichen. Dass der momentane Gesichtseindruck den Erfolg haben wird, die Doppelbilder zur Anschauung zu bringen, ist also keineswegs wahrscheinlich, und in der That hat er auch diesen Erfolg nur bei einzelnen Individuen oder unter gewissen künstlich hergestellten Bedingungen, die dem Erscheinen von Doppelbildern besonders günstig sind. Welch' andern kann er dann haben? Er kann den Anstoss zu einer räumlichen Vorstellung geben, gerade so, wie, wenn wir die Augen öffnen und die Dinge um uns im ersten Momente erblicken, wir auch nur den ersten Anstoss zu der räumlichen Vorstellung haben und diese dann erst weiter vervollständigen. In unserem Gehirne gehen die Dinge wie in einem Kaleidoskop. Wenn der erste Anstoss erfolgt ist, wenn die Dinge ins Rutschen gekommen sind, so muss immer eine in sich abgeschlossene Figur entstehen, und eben diese ist hier die Vorstellung vom Relief. Es geben daher schon die beiden perspectivischen Ansichten, die wir von dem Körper bekommen, dadurch, dass wir ihn mit dem rechten und zugleich auch mit dem linken Auge ansehen, das Materiale für die ganze räumliche Vorstellung ab, und das Schwanken der Sehaxen ist nicht absolut nothwendig, um sie zum Bewusstsein zu bringen. Man darf sich dies nicht so vorstellen, als ob man aus den beiden perspectivischen Flachbildern das Relief abstrahire, denn das würde voraussetzen, dass diese Flachbilder als solche wahrgenommen werden, was thatsächlich nicht der Fall ist. Man muss sich vorstellen, dass die beiden Bilder im Gehirn den Anstoss zu einer Reihe von Vorgängen geben, die denen analog sind, welche beim dauernden Anschauen des Körperlichen statthaben.

Hiermit hängt es auch zusammen, dass wir den Eindruck des Körperlichen viel weniger entschieden und energisch bei momentaner Beleuchtung eines Gegenstandes haben, als wir ihn bei dauerndem Ansehen desselben Gegenstandes erhalten. Wenn wir ein Zimmer mit den Gegenständen, die darin sind, mittelst eines elektrischen Funkens beleuchten, so sehen wir alle Dinge im Zimmer, wir sehen sie qualitativ nicht anders, als wie wir sie sonst sehen, wir sehen sie nicht etwa in Doppelbildern, weil wir keine Zeit haben, solche zu entwickeln. Es erwächst uns die allgemeine Vorstellung von den körperlichen Dingen, wie sie im Zimmer verbreitet sind, aber sie erwächst uns nicht mit der Vollkommenheit, mit der Schärfe, mit welcher wir den Eindruck haben, wenn wir alle diese Gegenstände nach einander in Fixation bringen können. In derselben Weise unterscheidet sich das stereoskopische Sehen, das heisst das Sehen der Trugbilder im Stereoskop, bei momentaner Beleuchtung und bei dauernder. Wenn ich bei momentaner Beleuchtung in das Stereoskop sehe, so nehme ich meistens kein Doppelbild wahr, ich bringe die verschiedenen Ansichten, die beide Augen wahrnehmen, auch zu einem Körperlichen zusammen; aber dieses Körperliche hat etwas Schemenhaftes, es hat nicht die Bestimmtheit, welche es gewinnt, wenn man dauernd in das Stereoskop hineinsieht. Wenn man sich aufmerksam beobachtet, wird man bemerken, dass, wenn man im ersten Momente hineinblickt, die Vorstellung des Körperlichen auch nicht so scharf hervortritt, als nachdem man bereits kurze Zeit hineingesehen. Wenn man Zeit gehabt, die verschiedenen Theile der Bilder durch verschiedene Convergenz zur Deckung zu bringen, dann vertieft sich das Ganze, dann bekommt man die volle Vorstellung von der Räumlichkeit der Objecte.

Damit, dass schon die beiden perspectivischen Ansichten, die die beiden Augen haben, an und für sich genügen, um in unserer Vorstellung das Körperliche aufzubauen, hängt es zusammen, dass wir, wie Hering gezeigt hat, den Eindruck des Räumlichen unter Umständen haben, wo wir dem Gegenstande auch bei dauernder Beleuchtung nicht mit der Convergenz unserer Sehaxen folgen können. Denken Sie sich, ich hielte einen Stab in einer gleichen Entfernung von beiden Augen und drehte ihn in der Medianebene so, dass sich mir das obere Ende nähert, das untere von mir entfernt, so werde ich diese drehende Bewegung wahrnehmen. Ich werde bemerken, dass sich das obere Ende des Stabes mir zudrehe, und dass das untere Ende des Stabes sich von mir entferne; und doch könnte ich ja nicht gleichzeitig meine Gesichtslinien stark convergiren lassen, um das nähere Ende des Stabes einfach zu sehen, und zu gleicher Zeit schwächer, um das entferntere Ende desselben einfach zu sehen. Hering hat im Stereoskop eine solche Bewegung als Scheinbewegung zu Stande gebracht, indem er die Bilder eines solchen Stabes in entsprechender Weise in den Bildebenen bewegte. Auch hier kommt derselbe Effect zu Stande, auch hier hat man die Scheinbewegungen, obgleich man thatsächlich nicht gleichzeitig das eine und gleichzeitig das andere Ende des Stabes hat zur Vereinigung bringen können.

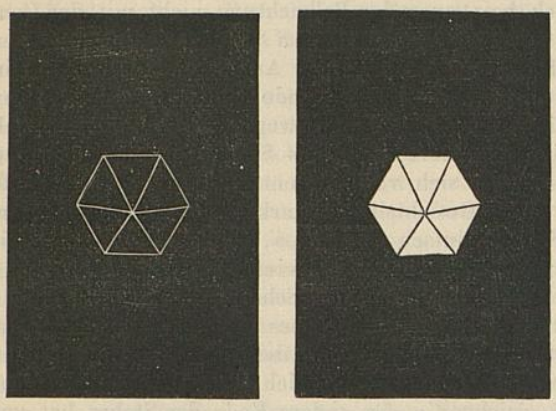
Der Einfluss zweier verschiedener perspectivischer Ansichten macht sich auch geltend, wenn beide nach einander einem und demselben Auge dargeboten werden. Wenn man unter dem einfachen Mikroskope eine Gefässinjection betrachtet, so sieht man sie körperlich, das heisst so, wie man etwa auch ein gut gemaltes Bild körperlich sehen würde; aber der Eindruck des Körperlichen wächst und drängt sich uns mit unwiderstehlicher Gewalt auf, sobald wir das Auge hin und her bewegen und uns so nach einander verschiedene perspectivische Bilder der Injection verschaffen. Wir ziehen eben unbewusste Schlüsse aus allen Sinneseindrücken, aus welchen sie gezogen werden können, und die ganze Welt unserer Vorstellungen setzt sich aus solchen Schlüssen zusammen.

Es fragt sich nun, was geschieht, wenn ich beiden Augen Dinge darbiete, die sie überhaupt nicht zur Vereinigung bringen können, wenn ich z. B. dem einen Auge im Stereoskop einen Kreis darbiete, in welchen ein *S* gezeichnet ist, und dem andern Auge einen Kreis, in welchem ein *T* gezeichnet ist? Dann werde ich freilich im gemeinsamen Sehfelde die beiden Kreise zur Deckung bringen, aber die beiden Buchstaben kann ich natürlich nicht in einen gemeinsamen Eindruck vereinigen. Nun entsteht der sogenannte Wettstreit der Sehfelder, man sieht momentan beide Buchstaben, aber schwächer gezeichnet als den umgebenden Kreis: dann verschwindet abwechselnd der eine und der andere, manchmal bricht auch der eine entzwei, dann der andere, so dass man von jedem derselben ein Stück sieht.

Was geschieht, wenn das eine Auge hell sieht da, wo das andere dunkel sieht? Dann hat man auch zwei Eindrücke, welche man nicht zur Vereinigung bringen kann. Nehmen wir an, ich hätte die beiden Bilder *A* und *B* Figur 59. Die eine Pyramide hat schwarze Flächen und weisse Kanten, die andere hat weisse Flächen und schwarze Kanten. Ich stecke beide in das Stereoskop, um sie zur Vereinigung zu bringen. Dann sehe ich eine graue Pyramide, die aber glänzt. Sie sieht aus, als sei sie aus Graphit geschnitten.

Es fragt sich: woher kommt hier der Eindruck des Glanzes? Der Eindruck des Glanzes stammt aus einem unbewussten Schlusse. Wenn ich einen matten Körper ansehe, so sind zwar die beiden Netzhautbilder in ihren Zeichnungen ungleich, aber sie sind insofern einander ganz ähnlich, dass überall, wo das eine Auge dunkel sieht, das andere Auge auch dunkel sieht, und wo das eine Auge hell sieht, auch das andere hell sieht. Anders verhält es sich bei glänzenden Gegenständen. Vermöge der Spiegelung werden hier Partien, die von dem einen Auge hell gesehen werden, von dem andern Auge dunkel gesehen und umgekehrt. Jetzt biete ich nun meinen Augen Bilder dar, durch welche das eine Auge gezwungen ist, da hell zu sehen, wo das andere dunkel sieht. Dann heisst es in mir: So etwas ist mir niemals passirt, wenn ich auf einen matten Gegenstand gesehen habe, so etwas ist mir nur passirt, wenn ich auf einen glänzenden Gegenstand gesehen habe, und folglich urtheile ich mittelst eines unbewussten Schlusses, dass der Körper, den ich unter dem Stereoskope sehe, glänze. Hierauf beruht es auch, dass in den stereoskopischen Bildern der wirkliche Glanz der Gegenstände wiedergegeben wird, mit einer Wahrheit, mit der ihn ein Flachbild niemals wiedergibt. Man hat stereoskopische Bilder italienischer Interieurs, z. B. aus dem Vatican, in denen sich geschliffene Marmorsäulen und Fussböden befinden, die glänzen. Wenn man die stereoskopischen Bilder mit freiem Auge ansieht, so bemerkt man an ihnen nichts Anderes als an jeder anderen Photographie; wenn man sie aber in das Stereoskop hineinlegt, so erscheint der geschliffene Marmor wirklich glänzend, einfach deswegen, weil Licht und Schatten in den beiden stereoskopischen Bildern nicht gleichmässig vertheilt sind und wir deshalb mit einem Auge an derselben Stelle dunkel sehen, an der wir mit dem andern hell sehen. Es wird also hier im Stereoskope die Vorstellung des Glanzes nach denselben Principien in uns erzeugt, wie sie durch das Anschauen der Gegenstände selbst erzeugt wird. Man hat sich dies zu Nutze gemacht, um eine Täuschung bei anderen Interieurs hervorzubringen, in denen hängende Glaslustres dargestellt sind. Um die glänzenden Punkte der facettirten Gläser hervortreten zu lassen, hat man nur in einem stereoskopischen Bilde die Lichtpunkte an denselben durchgeprickelt, so dass diese besonders hell sind und also an gewissen Stellen das eine Auge besonders hell, das andere dunkler sieht, und folglich wiederum die Vorstellung des Glanzes in uns wachgerufen wird. Auch wenn Sie farbige Zeichnungen auf farbigem Grunde durch farbige Gläser ansehen, können Sie sich

Fig. 59.



A *B*

dadurch die Vorstellung des Glanzes hervorrufen. Einen solchen Versuch hat Dove angegeben, von dem auch der früher erwähnte Glanzversuch herrührt. Er führte eine blaue Zeichnung auf rothem Grunde aus und sah sie an, indem er vor das eine Auge ein rothes und vor das andere ein blaues Glas setzte. Dabei erscheint durch das rothe Glas die blaue Zeichnung beinahe schwarz, der rothe Grund aber hell, während durch das blaue Glas der rothe Grund sehr dunkel und die blaue Zeichnung hell erscheint. Sieht man durch beide gleichzeitig, so scheint die ganze Figur zu glänzen.

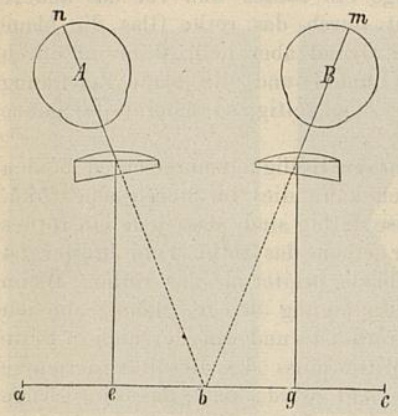
Was geschieht, wenn ich ohne grossen Helligkeitsunterschied beiden Augen verschiedene Farben darbiete? Ich kann dies im Stereoskope thun. Ich mache zwei Tafeln, die in der Weise farbig sind, dass jede ein rothes und ein blaues Feld hat, und auf der einen das rothe Feld breiter ist als das blaue Feld, auf der andern das blaue breiter als das rothe. Wenn ich diese beiden im Stereoskope zur Vereinigung bringe, dann habe ich auf der einen Seite einen Streifen, der roth ist, und auf der andern Seite einen Streifen, der blau ist. In der Mitte muss das Resultat derjenige Eindruck sein, der dadurch hervorgebracht wird, dass das eine Auge von Blau, das andere von Roth getroffen wird. Dieser Eindruck ist Violett. Die Farben kommen also zur Mischung. Man kann das noch auf andere Weise wahrnehmen. Man bringt ein blaues Glas vor das eine Auge und ein gelbes vor das andere Auge. Da hat man freilich anfangs einen Wettstreit der Sehfelder, man sieht bald Blau, bald Gelb. Wenn man aber einen bestimmten Punkt auf weissem Grunde fest fixirt, so verschwinden alle Farben, das Gelb und das Blau compensiren sich, und man hat blos den Eindruck, als ob man durch eine Rauchbrille sähe. Sobald man das eine oder das andere Auge schliesst, treten natürlich die Farben wieder hervor.

Also zwei Farben, von welchen die eine das eine Auge, die andere das andere Auge trifft, bringen ihre Mischfarbe hervor, beziehungsweise, wenn es complementäre Farben sind, heben sie einander auf. Das ist ein Satz von grosser Tragweite, weil er von vorneherein alle physikalischen Erklärungen, alle Erklärungen nach dem Principe der Interferenz, für die Farbenmischung ausschliesst. Denn es ist klar, dass, um Interferenz hervorzubringen, die Wellenzüge als solche auch wirklich zusammenkommen müssen. Wenn die Mischung auch hervorgebracht wird, indem die eine Farbe nur die eine Netzhaut und die andere Farbe nur die andere Netzhaut trifft, so geht daraus mit Sicherheit hervor, dass die Farbenmischung kein physikalischer, sondern ein physiologischer Process ist.

Das Stereoskop selbst, das für die Theorie des binoculären Sehens so fruchtbar geworden ist, ist in seiner Construction wesentlich verändert worden, und zwar ist die jetzt gebräuchliche Construction von Brewster angegeben. Das Brewster'sche Stereoskop ist ein dioptrisches Stereoskop. Denken Sie sich, es lägen zwei stereoskopisch zu vereinigende Zeichnungen so vor Ihnen, dass die entsprechenden Punkte der Zeichnungen keine grössere Entfernung von einander hätten als die Drehpunkte Ihrer beiden Augen. Wenn Sie nun Ihre Gesichtslinien für die unendliche Ferne einstellen und einen Schirm dazwischen bringen, so dass Sie mit dem einen Auge nur die eine, mit dem andern Auge die andere Zeichnung sehen, so müssten diese im Sehfelde zusammenfallen. Nun liegt es erstens nicht

in Jedermanns Macht, seine Gesichtslinien willkürlich parallel zu stellen, und zweitens würde bei einem Versuche in dieser Gestalt auch die Ausdehnung der Zeichnungen sehr beschränkt sein. Wenn die correspondirenden Punkte einmal weiter von einander rückten, als die Drehpunkte unserer Augen von einander entfernt sind, so sollten wir unsere Gesichtslinien divergirend stellen, um sie zu vereinigen, und das können wir in der Regel nicht. Es gibt aber ein leichtes Hilfsmittel, um diese Zeichnungen, die nebeneinander liegen, im Sehfelde übereinander fallen zu lassen. Denken Sie sich, *a e b* und *b g c* seien die Zeichnungen, denken Sie sich, *A* und *B* seien meine beiden Augen, und ich lege vor jedes Auge ein Prisma mit der brechenden Kante nach der Nasenseite hin, also umgekehrt von der Lage, in welche wir die prismatischen Gläser für unsere prismatischen Brillen bringen; so werden die Strahlen *e n* und *g m* in der Weise gebrochen werden, wie es die Figur 60 zeigt, *e* wird für das Auge *A* nach *b*, *g* wird für das Auge *B* auch nach *b* verschoben werden, und jetzt fallen die beiden Zeichnungen im Sehfelde übereinander. Jetzt kann ich mir die Zeichnungen noch vergrössern, indem ich mir auf jedes Prisma noch eine planconvexe Sammellinse klebe, wie dies in der Figur 60 dargestellt ist. Dann sehe ich diese beiden Bilder durch eine Lupe an. Nun kann ich aber von vorneherein, und das geschieht thatsächlich, zwei prismatische Sammelgläser schleifen und diese gleich benützen, erstens um die Zeichnungen zu vergrössern, zweitens um ihre Bilder in der Weise im Sehfelde zu verschieben, dass sie im Sehfelde übereinander fallen. Wenn Sie sich also denken, Sie nehmen aus einer Dissectionsbrille die Gläser heraus und drehen sie so herum, dass das, was in der Brille an der Schläfenseite war, jetzt an der Nasenseite liegt, so haben Sie Gläser, wie sie in das Brewster'sche Stereoskop hineingehören.

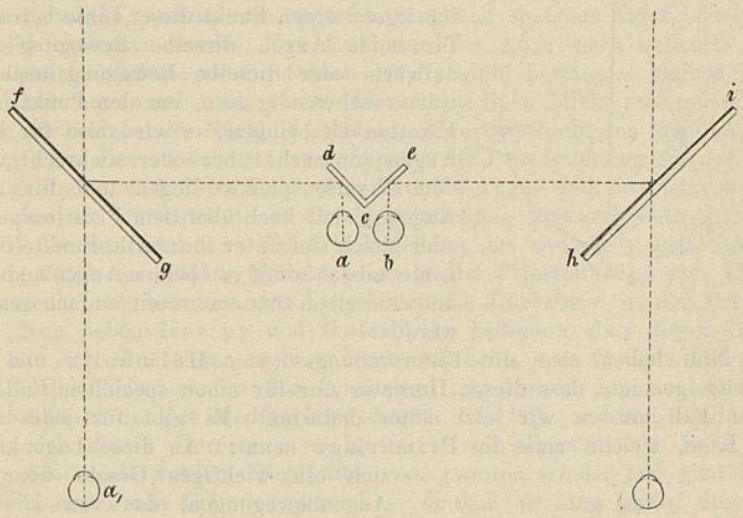
Fig. 60.



Helmholtz hat noch ein sogenanntes Telestereoskop construirt. Dieses besteht aus zwei Spiegeln, *c d* und *c e*, und aus zwei anderen Spiegeln, *g f* und *h i*. Nun denken Sie sich, *a* wäre das linke Auge und *b* das rechte, und ich sehe in diese Spiegel hinein, so werden sich entfernte Gegenstände durch doppelte Reflexion spiegeln. Das Auge *a* wird diese Gegenstände in derselben Weise sehen, wie das von ihm selbst durch doppelte Reflexion erzeugte Spiegelbild $a_,$ die Dinge sehen würde, und das Auge *b* wird die Dinge sehen, wie sie sein durch doppelte Reflexionen erzeugtes Spiegelbild $b_,$ sehen würde. Es ist also so, als ob sich die beiden Augen viel weiter von einander entfernt, das eine in $a_,$, das andere in $b_,$, befänden. Die trigonometrische Basis, von welcher aus ich Entfernungen schätze, ist vergrössert, und ich sehe jetzt Gegenstände, die ich früher unter einem kleinen Convergenzwinkel der Gesichtslinien gesehen habe, unter einem viel grösseren. Ich werde daher, entsprechend

dem grösseren Convergenzwinkel der Gesichtslinien, die Gegenstände für viel näher halten. Ich werde, da ich sie für näher halte, sie auch für kleiner halten, und weil die Ungleichheit der Netzhautbilder in beiden Augen jetzt viel grösser ist, als wenn ich mit freiem Auge sehe, so werde ich auch die Tiefendimensionen viel besser beurtheilen können, als ich

Fig. 61.



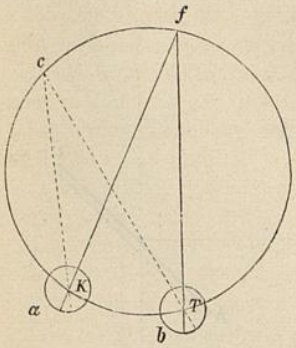
es früher gekonnt, indem viel grössere Veränderungen im Convergenzwinkel meiner Gesichtslinien nothwendig sind, um einmal einen ferneren und ein anderes Mal einen näheren Punkt in die Fixation zu bringen. Ich werde die Gegenstände sehen, als ob sie in kleinen, in zwerghaften Dimensionen ausgeführt und nahe vor mir wären.

Horopter.

Wir haben uns bis jetzt immer begnügt zu sagen: Wenn ein Gegenstand weiter von uns entfernt ist als der Fixationspunkt, wird er doppelt gesehen, und wenn ein Gegenstand näher ist als der Fixationspunkt, so wird er auch doppelt gesehen. Nun fragt es sich: welche Punkte zwischen den entfernteren und den näheren werden denn ausser dem Fixationspunkte einfach gesehen? Denken Sie sich, ich hätte in *a* mein linkes Auge und in *b* hätte ich das rechte; *f* sei der Fixationspunkt. Denke ich mir durch die Drehpunkte meiner beiden Augen und durch den Fixationspunkt einen Kreis, und untersuche ich, ob mir der Punkt *c* in demselben einfach oder doppelt erscheinen muss, so finde ich, dass ich beide Augen um gleich viel Grade nach links wenden müsste, um ihn in die Fixation zu bekommen, denn *c K f* und *c T f* sind Peripheriewinkel auf demselben Bogen. Er wird also beiden Augen um gleichviel nach links von dem einfach gesehenen Fixationspunkte *f* und somit auch einfach erscheinen. Auf dieselbe Weise lässt sich für jeden anderen Punkt dieses Kreises darthun, dass er einfach gesehen werden muss. Der Kreis ist der Horopterkreis

von Johannes Müller, indem wir mit dem Namen Horopter den Inbegriff der Punkte bezeichnen, die gleichzeitig einfach gesehen werden.

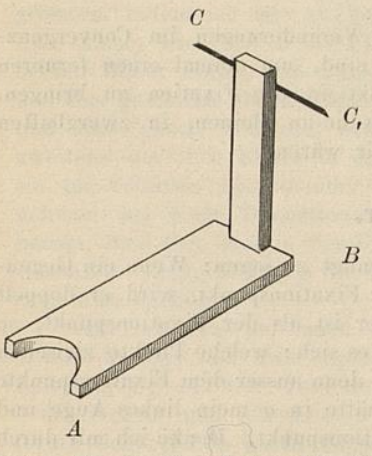
Fig. 62.



Nun denken Sie sich, ich hätte in *f* eine senkrechte Linie aufgerichtet, wobei vorausgesetzt ist, dass *f* hier in der Medianebene liegen soll, die ich mir durch meinen Kopf hindurchgelegt denke. Dann wird, wenn ich irgend einen Punkt dieser Linie betrachte, für beide Augen dieselbe Bewegung nach aufwärts oder dieselbe Bewegung nach abwärts nothwendig sein, um den Punkt in die Fixation zu bringen; er wird also für beide Augen senkrecht über oder senkrecht unter dem Fixationspunkte liegen und für beide Augen gleich hoch über dem Fixationspunkte oder gleich tief unter ihm. Alle Punkte dieser Linie müssen somit von beiden Augen an einem und demselben Orte und somit einfach gesehen werden.

Nun haben aber die Untersuchungen von Helmholtz und von Hering gezeigt, dass dieser Horopter nur für einen speciellen Fall gilt. Diesen Fall müssen wir jetzt näher definiren. Es gibt für jedes Auge eine Lage, welche man die Primärlage nennt. An diese Lage knüpft sich ein wichtiges Gesetz über die Augenbewegungen, das von Listing aufgestellt wurde und nach ihm das Listing'sche Gesetz genannt wird. Dieses Gesetz sagt uns, dass, wenn ein Auge sich in der Primärlage befindet und in irgend eine andere Lage übergeht, es sich jedesmal um eine Axe dreht, welche auf einer Ebene senkrecht steht, die der alten Gesichtslinie und der neuen Gesichtslinie gemeinschaftlich ist, in der sowohl die alte als die neue Gesichtslinie liegt. Diese Primärlage des Auges lässt sich ermitteln, indem man auf einem Brettchen *A B* ein zweites Holzstück in der Weise befestigt, wie es Figur 63 nach Helmholtz zeigt. Bei *A* wird auf beiden Seiten Siegellack aufgeträufelt, in das man, wenn es zu erhärten beginnt, die Zähne hineinbeisst, damit das Brettchen ein- für allemal dieselbe Lage gegen den Kopf des Beobachters behält. Nun bringt man an dem aufrechtstehenden Holzstücke den verschiebbaren Papierstreifen *C C*, an, der, je nachdem man kurzsichtig oder weitsichtig ist, näher oder weiter vom Auge entfernt und hinreichend starr, aus Kartenpapier geschnitten sein muss. Dann blickt man nach einem entfernten Punkte und lässt die Doppelbilder dieses Papierstreifens so übereinander fallen, dass sie sich mit ihren Enden decken. Dann schneidet man so lange ab, bis die Enden

Fig. 63.



der Bilder sich gerade berühren und somit die Länge des Papierstreifens gerade der Entfernung der Drehpunkte der beiden Augen von einander gleich ist. Jetzt ist das Instrument zugerichtet und man kann darangehen, die Primärstellung für die Augen aufzusuchen. Zu dem Ende befestigt man an einer entfernten Tapetenwand, an der horizontale und verticale Linien kenntlich sein müssen, einen lebhaft gefärbten horizontalen Streifen, z. B. ein lebhaft gefärbtes Band, und blickt mit dem einen Auge an der Spitze $C_{,}$ vorbei, indem man zugleich das Band so lange fixirt, dass ein Nachbild entstehen muss. Nun lässt man das Auge nach aufwärts und nach abwärts blicken: es muss dann das Nachbild horizontal bleiben, und wenn man horizontal nach rechts oder nach links blickt, so muss man wieder ein horizontales Nachbild erhalten. Man verschiebt den Streifen $C\,C_{,}$ so lange, bis dies erreicht ist, und nun ist die Primärstellung für das eine Auge gefunden und fixirt durch den Ort des Auges und den Ort von $C_{,}$, durch den die Gesichtslinie in der Primärstellung hindurchgeht. In analoger Weise bestimmt man die Primärstellung des anderen Auges. Wenn ich mir durch die beiden Gesichtslinien in der Primärstellung eine Ebene gelegt denke, so habe ich die Visirebene, die Blickebene in der Primärlage. Nun haben Hering und Helmholtz gefunden, dass dieser Horopter, wie ich ihn früher auseinandergesetzt habe, nur für den Fall gilt, in dem die Visirebene in der Primärlage ist, und in dem zugleich der Fixationspunkt in der Medianebene liegt. Für alle anderen Stellungen ändert sich dieser Horopter; er ist in seiner allgemeinsten Form die Durchschnittslinie zweier Oberflächen vom zweiten Grade, und man kann ihn sich auf einen Cylinder gezeichnet denken als eine Linie, die erst senkrecht, das heisst parallel der Cylinderaxe, nach abwärts geht, dann eine Biegung macht, um den ganzen Cylinder zu umkreisen, und dann wieder eine Biegung macht, um weiter senkrecht nach abwärts zu gehen. Der Kreishoropter mit der verticalen Linie ist nur ein specieller Fall des allgemeinen Horopters, der dadurch entsteht, dass die Schleife, mit der er den Cylinder umkreist, sich schliesst und so die aufsteigende und die absteigende Branche sich zu einer geraden Linie vereinigen.

Das Gehör.

So wie wir bei allen Erregungen des N. opticus immer Lichtempfindung hatten, so haben wir bei allen Erregungen des N. acusticus Gehörsempfindungen. Die gewöhnlichen Wahrnehmungen, welche demselben zukommen, sind Erschütterungen, die ihn in Gestalt von Schallwellen treffen. Aber auch alle anderen wirksamen Erregungen rufen in ihm Gehörsempfindungen hervor. So kann der N. acusticus pathologisch erregt sein. Am häufigsten geschieht dies in der Weise, dass man für kurze Zeit, manchmal auch für längere Zeit, sehr hohe Töne hört; häufig auch so, dass man ein Sausen und Rauschen hört, wie das Sausen des Windes und das Brausen des Meeres, auch wohl wie entferntes Wagenrollen. Dieser Zustand kann permanent werden und so quälend, dass die davon Heimgesuchten in Melancholie verfallen.