

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.

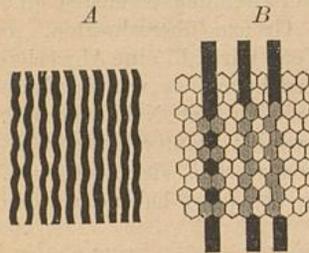
Es wird dies von den Malern benützt, um bei grossen Bildern, die für einen weiten Abstand bestimmt sind, Farben durch Addition auf der Netzhaut zu mischen. So setzen sie z. B., namentlich der berühmte Landschaftsmaler Hildebrandt bediente sich dieses Kunstgriffs, Zinnober und Grün nebeneinander, um Gelb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

Es fragt sich nun, welches ist die Grenze unseres Unterscheidungsvermögens, und wie stimmt diese überein mit der Grösse unserer Netzhaut-

elemente? 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, erscheinen 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 33 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

Fig. 33.



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 Gesichtsubjecte 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.

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 Sektoren 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 Sektors 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 Gesamtzahl der Zapfen theilen müssen, also auf jede etwa nur ein Drittheil 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 Versuchsergebnisse 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 unter-

schieden. Dies kann man als photometrisches Princip benützen, um verschiedene farbige Lichter, Grün, Roth, Blau, untereinander 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 Eintrittsstelle 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 Schfelde sich subjectiv bemerklich machen kann. Man macht zwei Zeichen auf einem Papier, ein Kreuz und eine Kreisscheibe (siehe Figur 34);

Fig. 34.



man 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 Schfelde heisst nach Mariotte der Mariotte'sche Fleck. Er liegt etwa 15° nach auswärts vom Centrum des Schfeldes, das heisst von dem fixirten Punkte oder von der in sich selbst projecirten 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.