

XV.

Ueber eine Einrichtung der Fovea centralis retinae, welche bewirkt, dass feinere Distanzen als solche, die dem Durchmesser eines Zapfens entsprechen, noch unterschieden werden können.

Von Dr. Hensen in Kiel.

(Hierzu Taf. IX.)

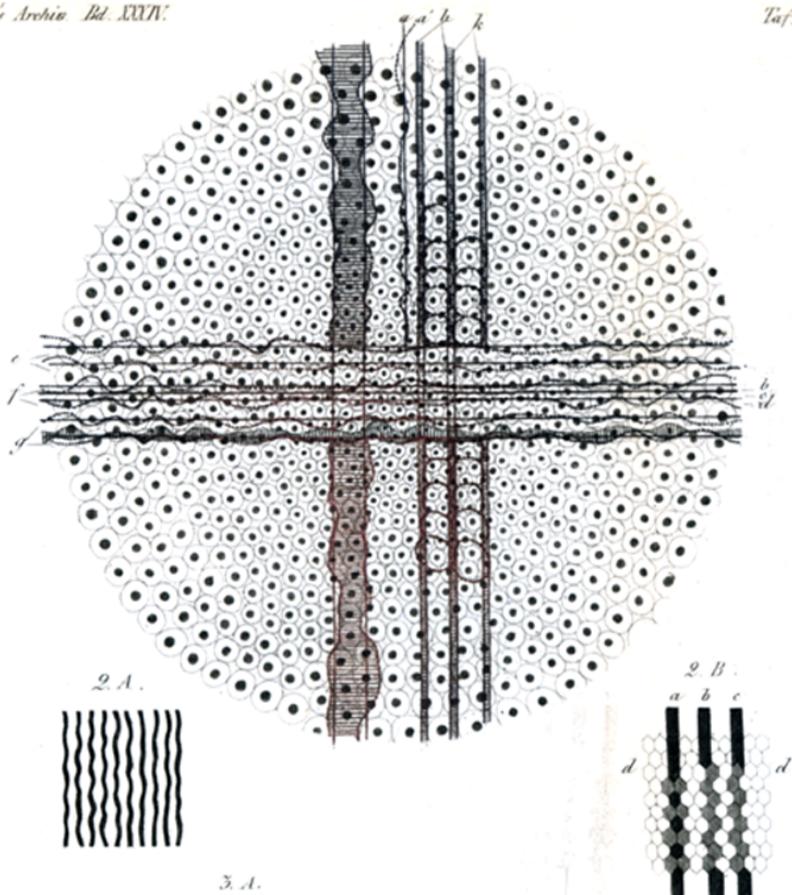
Professor A. W. Volkmann hat in seinen physiologischen Untersuchungen auf dem Gebiete der Optik und neuerdings in Du Bois und Reichert's Archiv*) den Satz aufgestellt, dass Weber's Fundamentalalbre von den Empfindungskreisen und die Auffassung der Zapfen als einfache Elemente der Netzhaut sich nicht vereinigen lassen. Er hat durch seine Untersuchungen gezeigt, dass die feinsten noch wahrnehmbaren Distanzen Bilder auf der Netzhaut geben müssen, die kleiner sind wie der Durchmesser eines Zapfens. Da es nun nicht denkbar ist, dass ein Nervenende, als welches die Zapfen der Fovea aufgefasst werden, gleichzeitig zweierlei Empfindungen vermittelt, z. B. die einer schwarzen und einer weissen Linie, so scheint in der That dieser Theil der Lehre von den Gesichtswahrnehmungen bedroht.

Es haben Aubert**), Bergmann***), Helmholtz und Funke Einwendungen gegen die Zulässigkeit von Volkmann's Calcül erhoben, aber auch nach ihrer Anschauung würde die Sehschärfe durch die Grösse der Zapfen auffallend früh absolut beschränkt sein. Ausserdem bliebe sehr auffallend, dass, wie Helmholtz auf der Naturforscherversammlung in Giessen hervor-

*) 1865. Hft. III. Zur Entscheidung der Frage: ob die Zapfen der Netzhaut als Raumelemente beim Sehen fungiren.

**) Physiologie der Netzhaut.

***) Zeitschrift für rationelle Medicin 1865. S. 145.



a

b

c

d

e

b

c

d

hob, gerade an dem Ort des schärfsten Sehens nur die gröberen Sehelemente der Netzhaut sich finden. Nun hat auch noch Volkmann neue Versuche gemacht, bei denen er den erhobenen Einwänden Rechnung getragen hat, und dennoch ist er zu demselben Schluss wie früher gekommen. So scheint denn in der That unsere Anschauung über die Function der Zapfen eine ungenügende zu sein.

Diesem gegenüber glaube ich im Interesse der Wissenschaft zu handeln, wenn ich meine, allerdings noch auszubildenden, Anschauungen, da sie mir über jene Schwierigkeiten hinweghelfen, vorlege.

Durch Untersuchungen, welche ich *) über das Auge der Dintenfische und anderer wirbellosen Weichthiere unternommen habe, bin ich darauf aufmerksam geworden, dass bei diesen die zelligen Elemente der Retina direct nichts mit der Erregung durch das Licht zu thun haben. Sie sind nämlich durch eine dichte Pigmentschicht vom Lichte getrennt, während die Stäbchen nicht Zellen entsprechen, sondern, wenigstens bei den Cephalopoden, sich als Cuticularbildung, d. h. Zellausscheidungen erwiesen haben. Die Analogie der Stäbchen jener Thiere scheinen mir bei den Wirbelthieren nicht die Zapfenkörper, sondern die Zapfenstäbchen zu sein, und, was für unsere Frage ohne Bedeutung ist, nicht die ganzen Stäbchen, sondern nur die äusseren Glieder derselben. Die Zapfenkörper verhalten sich ihrem Inhalte nach mehr wie Zellsubstanz, ich möchte sie vorläufig als stärker entwickelten Ernährungskörper des Bacillus auffassen. Man hat die letzteren bis jetzt wenig beachtet, die Physiologen pflegen Zapfen und Zapfenstab gemeinschaftlich als lichtempfindend anzusehen. Der Lage nach das äusserste Glied der Retinaelemente dabei von Pigment umhüllt, beim Chamäleon ganz davon eingeschiedet, darf man gewiss schliessen, dass es an der Lichtempfindung Theil nimmt, es ist daher wohl kein zu grosses Verlangen wenn ich bitte einmal mit mir die Hypothese zu prüfen, dass nur die Zapfenstäbchen und nicht die Zapfenkörper durch Licht direct erregt werden.

*) Ueber das Auge der Cephalopoden. Zeitschr. für wissenschaftl. Zoologie. 1865

Machen wir einmal diese Annahme, so haben wir zunächst zu bedenken, dass das Gesichtsfeld in der Fovea dann kein ununterbrochenes, sondern ein lückenhaftes, aus empfindlichen Punkten und unempfindlichen Kreisen bestehendes sein würde. Ist eine solche Annahme statthaft? Es wird wohl Niemand dagegen Bedenken haben, denn erstlich wissen wir, wie leicht die grosse Lücke des Mariotte'schen Flecks ausgefüllt wird und zweitens ist auch bei der gewöhnlichen Annahme, dass die Zapfenkörper direct erregt werden ein unterbrochenes Gesichtsfeld vorhanden, denn zwischen den runden Zapfen, die grosse Lücken lassen müssen, kann keine Erregung stattfinden. In dem einen Fall sind die nicht empfindenden Kreise grösser, im anderen kleiner; eine gleichmässige Fläche hat also als Charakteristik immer nur das Eine, dass alle Punkte, welche empfinden können, gleichmässig erregt werden. Bei meiner Voraussetzung wäre aber zum Eindruck einer gleichmässigen Fläche eine feinere Punktirung nöthig als nach der früheren. Von dieser Seite dürfte der Annahme, dass die Zapfenstäbchen allein direct erregbar sind Nichts im Wege stehen.

Ich habe Fig. 1 ein Flächenbild von den Zapfen der Fovea entworfen. Der Durchmesser der Fovea beträgt nach Kölliker 0,23 — 0,18 Mm. nach H. Müller und Michaelis bis 0,45 Mm. Die Zapfen (des Centrums?) messen nach M. Schultze und H. Müller 0,0022, andere Maasse geben die doppelten Durchmesser; diese scheinen an mehr peripherischen Zapfen gewonnen zu sein. Es würden danach auf den Durchmesser 70 bis etwa 150 Zapfen kommen. Auf meiner Figur sind 38 Zapfen im Durchmesser, ich habe die Zapfen den angegebenen Maassen entsprechend wachsen lassen, da aber verhältnissmässig zu wenig Zapfen da sind, entsteht dadurch ein Fehler, den ich später in Rechnung zu ziehen bitte. Es gibt viele Möglichkeiten die Zapfen zu ordnen, die Anatomie hat uns leider darin noch keine Beschränkung auferlegt. Das natürlichste würde eine gradlinige Anordnung sein, jedoch würde dann die Richtung grader Linien zum Auge einen wesentlichen Unterschied für ihre Wahrnehmbarkeit abgeben, je nachdem nämlich die Richtungslinien der Stäbchen gekreuzt würden (günstiger Fall) oder nicht. Meine Beobachtungen an der

Nobert'schen Platte ergaben mir keinen solchen Unterschied. Ich musste daher eine krummlinige Anordnung wählen. Diese ist so getroffen, dass der Kreis durch Bögen desselben Radius in sechs Theile getheilt ist und die Zapfen nach diesen Bögen gerichtet wurden.

Ziehen wir über diese Figur eine gerade feine Linie *a*, so trifft dieselbe niemals auf eine continuirliche Reihe von Zapfenstäbchen, stets aber auf einige, je dicker sie ist auf desto mehr. Wird nun die Linie *a* als eine ununterbrochene gesehen werden oder nicht? Ich meine, wir werden uns darüber nicht täuschen, dass es eine Linie ist, welche unsere Netzhaut beschattet. Wir machen nämlich fortwährend die Erfahrung, dass wenn mehrere in derselben Richtung liegende Stäbchen erregt werden, diese Erregung in der Regel durch eine continuirliche Linie geschieht, die kleinste Augenbewegung liefert uns den Beweis, dass etwaige Lücken nur scheinbar sind. Wir sind erfahrungsgemäss viel geneigter, discontinuirliche Linien für continuirlich zu halten als umgekehrt. Eine punktierte oder unterbrochene Linie erscheint beim ersten Sehen immer als Linie, erst später bemerken wir die Lücken; auf meiner Zeichnung Fig. 1 sehe ich viel leichter geschwungene continuirliche Linien als die Kreise der Zapfen und doch muss ich im ersteren Fall viele Lücken überspringen und sehe etwas Verkehrtes gegen besseres Wissen!

Wenn man die Möglichkeit zugibt, dass wir eine Linie sehen, wenn nur alle in entsprechender Richtung sich folgenden Zapfenstäbchen berührt sind, so ist der Nachweis, wie kleinere Abstände als Zapfendurchmesser erkannt werden können leicht aus der Figur ersichtlich. Die Linien *b c d* stehen um den Durchmesser des kleinsten Zapfens auseinander, jede von ihnen berührt eine Reihe von Zapfenstäbchen, die beiden Zwischenräume berühren gleichfalls einige Stäbchen, welche von keiner Linie beschattet sind, demgemäß können wir noch 5 differente Empfindungen haben, wo nach der bisherigen Annahme nur eine möglich sein sollte. Die Stäbchen verhalten sich nach den Angaben zu ihren Zapfen wie 3 : 10, würden sie schmäler oder vermöchten wir noch ein minder beschattetes von einem mehr beschatteten zu unterscheiden, so würde unsere Sehschärfe noch weiter gehen können.

Der Apparat diese Vergrösserung der Sehschärfe zu erwirken, ist ein so einfacher, dass mir darin eine gewisse Garantie für die Wahrheit meiner Hypothese zu liegen scheint. Beiläufig darf ich an dieser Stelle wohl anführen, wie die bisher rätselhaften farbigen Tropfen in den Zapfen der Vögel und Amphibien dadurch erklärt werden könnten. Die Tröpfchen liegen stets an der Grenze der Zapfen und Zapfenstäbchen, und sind*) von rother und gelber Farbe. Sie schwächen also relativ die chemisch wirksamen Farben, lassen die weniger wirksamen ungeschwächt durch. Dadurch verliert das Licht zwar im Ganzen an Wirksamkeit aber es wächst relativ die Kraft derjenigen Strahlen, welche am wenigsten geeignet sind, chemische Wirkungen zu entfalten, der Strahlen also, welche bei einer etwaigen Unvollkommenheit des Sehapparates zuerst unwirksam werden dürften. Solche Correction hat nur Sinn, wenn in den Zapfenstäbchen allein die Farbenwahrnehmung sich macht.

Ich möchte nun noch einen Versuch machen, meine Annahme einer praktischen Prüfung zu unterwerfen.

Es ist von mehreren Seiten schon die Beobachtung gemacht, dass sehr feine Liniensysteme leicht ein wellenförmiges Ansehen gewinnen. Helmholtz **) gibt zur Erklärung dieses Verhaltens die beistehende Fig. 3 und bemerkt dazu folgendes:

Bei meinen Versuchen bemerkte ich eine auffallende Formveränderung der geraden hellen und dunklen Linien. Die Breite jedes hellen und jedes dunklen Streifen des von mir gebrauchten Gitters betrug $\frac{1}{24} = 0,4167$ Mm. In dem Abstande von 1,1 bis 1,2 Meter fing die Erscheinung an sichtbar zu werden. Das Gitter bekam etwa das Ansehen wie in Fig. 2 A, die weissen Streifen erschienen zum Theil wellenförmig gekrümmt, zum Theil perlchnurförmig mit abwechselnd dickeren und dünneren Stellen. Es seien in Fig. 2 B die kleinen Sechsecke Querschnitte der Zapfen des gelben Flecks a, b und c drei optische Bilder von den gesehenen Streifen, diese sind oberhalb d d in ihrer wirklichen Form dargestellt, unterhalb d d aber sind alle Sechsecke, deren grössere Hälfte schwarz war, ganz schwarz gemacht, deren grössere Hälfte weiss ganz weiss, weil in der Empfindung immer nur die mittlere Helligkeit jedes Elementes wahrgenommen werden kann. Man sieht, dass dadurch in der unteren Hälfte von Fig. 2 B ähnliche Muster entstehen, wie in A. Purkinje hat Aehnliches gesehen und auch Bergmann hat

*) vom Chlorophyll abgesehen

**) Physiologische Optik. S. 213.

beobachtet, dass zuweilen, ehe die Streifen des Gitters ganz verschwinden, dasselbe schachbrettartig erscheint, zuweilen Streifen in querer Richtung gegen die wirklich vorhandenen gesehen werden, was sich Alles durch ähnliche Verhältnisse wie die hier berührten erklären lässt.

Bergmann folgert in der bereits citirten Arbeit, dass durch die sechseckigen Zapfen von einer Linie ein Bild entstehen müsse, welches hier schmäler, dort breiter und im Allgemeinen in denselben Verhältnissen dunkler als schmäler, blasser als breiter sich darstellt. Etwas der Art vermöge man aber an feinen gut gezogenen Linien nicht zu erkennen.

Ich meine, dass Bergmann richtiger geht wie Helmholtz. Das Verfahren ein Zäpfchen, dessen grössere Hälfte weiss oder schwarz wird, ganz weiss oder schwarz zu machen, weil immer nur die mittlere Helligkeit eines Elements wahrgenommen werden kann, scheint mir nicht begründet. Die weisse Linie habe die Helligkeit = 1, bedeckt sie die Hälfte des Zapfens, so ist dessen mittlere Helligkeit 0,5 und er wird als erregter betrachtet, hört diese Erregung auf, wenn die mittlere Helligkeit = 0,49 wäre? Das hängt offenbar von der absoluten Helligkeit, Erregbarkeit und der Reizungsschwelle ab. Es gelingt mir aber nicht, durch Wechsel der Helligkeit die Biegungen der Linien merklich zu modifizieren. Mir scheint desshalb Helmholtz's Erklärung nicht zulänglich zu sein. Anderntheils hat Bergmann recht, dass man feine Linien nicht so sieht, wie sie seiner Theorie nach gesehen werden müssten.

Wenn ich eine gerade Linie durch eine Loupe verkleinere, aber nicht stärker, als dass sie mir selbst bei längerem Ansehen in allen Theilen deutlich bleibt, so bekommt sie nach etwa einer Minute eine etwas schlangenförmige Gestalt. Die Windungen sind an den beiden Enden der Linie stärker, im Ganzen aber sehr gestreckt. Sie sind nicht besonders deutlich, wie ich glaube desshalb, weil das Fixiren auf der Loupe das Auge leicht beunruhigt. Betrachte ich ferner den Zwischenraum zwischen zwei aufgelösten Liniensystemen auf der Nobert'schen Platte bei etwa 75maliger Vergrösserung, so erscheint mir bald dieser relativ breite Streifen deutlich varicös. Die Varicositäten sind schwach, aber so weit

ich sehe, regelmässig. Durch stärkere Vergrösserungen überzeugt man sich leicht, dass sie Trugbilder sind, da alle Linien auf der Platte sehr gerade gezogen sind. Ich wusste mir die Verschiedenheit der Erscheinungen gar nicht zu erklären, bis ich mehr Gewicht auf die Breitenunterschiede legte; nun glaube ich in meiner Fig. 1 eine genügende Erklärung gefunden zu haben. Wenn ich nämlich nachsehe, wie die feine Linie a des ersten Falles erscheint, so bekomme ich die Schlangenlinie a' und zwar auf folgende Weise. Die beiden ersten Stäbchen, die getroffen sind, werden durch eine Linie verbunden, die von links oben nach rechts unten geht; wir werden also einer Linie, die sie trifft, dieselbe Richtung zuzuschreiben geneigt sein. Solche Linie würde aber nicht die folgenden Stäbchen, die berührt worden sind, treffen können, ohne sich zu biegen. Da aber nur eine Linie da ist, so halten wir sie wirklich für in der Weise gebogen, dass sie den berührten Punkt trifft. Verbinden wir je weitere zwei getroffene Punkte mit einander, so bekommen wir weitere Zickzacklinien, die wir in der That als solche mehr oder weniger abgerundet sehen werden, wenn wir über die Lage der einzelnen Zapfen zu einander genügend orientiert sind. Anders verhält sich die breite Linie e. Dieselbe trifft je nachdem auf einen oder mehrere Zapfen, und muss desshalb genauer beobachtet varicös erscheinen. Wo ein Stäbchen halb getroffen ist, habe ich der Linie eine entsprechende mittlere Breite gegeben. Die Linie erscheint nun allerdings ziemlich unregelmässig, aber man wolle bedenken, dass die Figur in sich zu viele Fehler birgt. Die Grössenverhältnisse und Zahl der Zapfen sind unrichtig, die Bogen, nach denen sie geordnet sind, werden auch nicht richtig sein, endlich und hauptsächlich war es nicht möglich, die Zeichnung mathematisch genau anzufertigen.

Beide Formänderungen meiner Linien lassen sich noch so, wie Helmholtz will, erklären, nur müssten nach seinem Schema die Ausbuchtungen und Krümmungen in sehr kleinen und häufigen Abständen folgen, während ich sie in Wirklichkeit sehr gestreckt sehe.

Viel deutlicher gestalten sich die Verhältnisse bei den folgenden Versuchen. Man hat jetzt so vortreffliche schwächere Ver-

grösserungen *), dass ihre auflösende Kraft die Schärfe unseres Auges übertrifft. Man erkennt nämlich an den Bildern der Nobert'schen Platte ganz deutlich, dass gewisse Liniensysteme zwar gelöst sind, dass unser Auge aber nicht scharf genug sieht, um sie zu zergliedern. Setzt man dann starke Oculare auf, so sieht man die Linien deutlich, während bei den älteren Systemen stärkere Oculare gänzlich ohne Wirkung bleiben. Es ist hier also eine bequeme Gelegenheit gegeben, die Schärfe unseres Auges zu prüfen. Ich sehe bei gerader Beleuchtung, die ich hier immer anwende, 6 Liniensysteme, ohne allerdings selbst das erste zählen zu können. Das erste enthält übrigens bei gleicher Breite 7 Linien, das sechste 12, bei schräger Beleuchtung sehe ich das neunte mit 15 Linien. In dem vierten System mit 10, also mit 20 weissen und schwarzen Linien entspricht die Breite einer Linie etwa = 0,0052 Mm. auf meiner Netzhaut. Danach wäre es auffallend, dass ich nicht weiter auflösen kann, aber in Wahrheit sind die weissen Zwischenräume viel breiter wie die Striche; eine Berechnung darüber lässt sich aber weder anstellen, noch ist sie von Relevanz. Die Beobachtung der Nobert'schen Platte ist, wie es scheint, desshalb für die Erforschung der optischen Bilder empfehlenswerth, weil das Auge sehr bequem und ruhig beobachtet und die einzelnen Linien sehr fein, gerade und wenig intensiv sind. Wenn man die Platte einige Zeit betrachtet, so nehmen die Linien eine wellenförmige Gestalt an, die mein Zeichner, der leider nicht mehr wie 4 Liniensysteme lösen zu können behauptete, in Fig. 3, A wiedergegeben hat. Jede einzelne Biegung lässt sich jedoch nicht controlliren, weil das Bild nicht bleibend ist, namentlich konnte ich nicht volle Sicherheit darüber gewinnen, ob die Linien im Centrum genau ebenso geschwungen sind wie peripherisch. Beachtenswerth ist nun, dass die Biegungen bei den feineren Systemen feiner und kürzer werden und dass zu gleicher Zeit die Ausdehnung, in welcher ein System gelöst wird, mit der grösseren Feinheit desselben in der Weise abnimmt, wie es die Figur zeigt. Letzteres Verhalten beruht offenbar auf der grösseren Feinheit der

*) Ich habe ein System $\frac{1}{3}$ von Schrödter in Hamburg benutzt.

Elemente im gelben Fleck. Verschiebt man das Auge langsam mit den Linien parallel, so tritt eine Wellenbewegung ein.

Ich meine nun, dass die Verschiedenheit der Wellenlänge, wie sie von der Breite der hellen Räume zwischen den Linien bedingt ist, sich nicht wohl nach der bisherigen Annahme erklären lässt. Legen wir dagegen auf meine Fig. 1 die Linien e, f, g und untersuchen nach den früher erwähnten Prinzipien die Form, welche die hellen Lücken zwischen ihnen und folglich auch die Linien selbst annehmen müssen, so finden wir, dass sie in einer relativ regelmässigen Weise sich gestalten, indem sie ähnliche Formen wie die in Fig. 3, A annehmen. In der Mitte sind die Zapfen relativ klein oder was dasselbe ist die Spatien relativ weit und die Linien verlaufen gestreckter, peripherisch sind die Spatien relativ eng und daher verlaufen sie in engeren Windungen, also wie in Fig. 3, A c und A. An den einzelnen Liniensystemen der Platte habe ich, wie gesagt, keinen auffallenden Unterschied zwischen Mitte und Peripherie wahrnehmen können, den ja auch meine Fig. 1 nach der Construction jedenfalls übertrieben darstellt, dass sich aber doch wirklich ein Unterschied finden muss, schliesse ich, weil die Wellenfigur bei ihrem Entstehen von den feineren Systemen und der Peripherie her hereinzubrechen scheint. Dass die Windungen bei engeren Spatien häufiger werden müssen, geht auch aus der Linie g Fig. 1 hervor. Betrachten wir nämlich den Fall so, dass die beiden Grenzstriche dieser Linie je zwei Linien bedeuten sollen, so würde der mittlere Raum sich etwa gestalten, wie es die schraffirte schwarze Linie zeigt. Der Vergleich mit den punktierten rothen Grenzlinien von g ergibt, dass bei Verengerung des Spatiums die Ausbuchtungen zahlreicher und enger geworden sind, was mit der Beobachtung übereinstimmt.

Es ist, wie wir gesehen haben, weiter beobachtet worden, dass die feinen Linien, ehe sie verschwinden, perlschnurförmig oder schachbrettartig werden. Ich sehe etwas Aehnliches, das sich aber dauernd erhält. Bei etwas längerer Beobachtung nehmen die Liniensysteme ein Aussehen an wie Fig. 3, B. Es sind in meinem Fall aber nicht die Linien, welche perlschnurförmig werden, sondern die Zwischenräume trennen sich in Kugeln. Die feinsten

Systeme erscheinen fein punktiert wie in Fig. 3, A e, aber diese zeigen auch kein deutliches Wellenstadium. Diese Formen scheinen mir so erklärt werden zu können, wie Fig. 1, h, k es darstellt. Die Lagerung der berührten Stäbchen ist der Art, dass gekrümmte Linien entstehen müssen, diese Linien könnten ebensowohl in Verbindung gebracht werden mit den gegenüberstehenden, anstatt wie bisher mit den nachfolgenden Punkten. Aus der Figur lässt sich kaum ein Grund für das Eine oder Andere ableiten. Wir können also die stattfindende Beschattung durch das Vorhandensein von Kreislinien ebensogut erklären, vorausgesetzt dass Kreis an Kreis liegt. In dem letzteren Punkt mag aber eine Schwierigkeit liegen. In der Regel treten zuerst die geschwungenen Linien auf, dann die Kreise, welche fortan nicht eher vergehen, als bis man das Auge bewegt. Jedoch bei schiefer Beleuchtung sehe ich im ersten System nur zuweilen noch Kreise auftreten, die aber wieder vergehen, um geschwungenen Linien Platz zu machen, ich kann hier den Wechsel mehrere Male eintreten lassen. Die Linien h k werden nach aussen relativ enger, so dass hier schliesslich der Kreis nur durch einen erregten Zapfen gefüllt werden könnte, das gibt aber keinen Kreis, sondern eine punktierte Fläche, wie es die Beobachtung fordert. Diess Auftreten von Kreisen lässt sich bei weitem nicht so ungezwungen erklären, wenn wir den Zapfenkörpern Sehfähigkeit vindiciren. Sollen hier Querstriche oder Bögen entstehen, so kann das nur im Widerstreit gegen die gegebene Erregung geschehen. Denn die Psyche muss in diesem Falle nicht nur die Reizung derjenigen Zapfen, über welche die helle Linie zieht, vernachlässigen, sondern sie muss statt dessen geradezu das Bild einer Beschattung setzen, wenn Kreise entstehen sollen.

Diess sind die Gründe, welche für meine Annahme zu sprechen scheinen. Ich bitte schliesslich um Entschuldigung wegen meiner wenig gründlichen Behandlung dieses Themas; der Gegenstand liegt allzusehr ausserhalb des Gebietes, in welchem ich jetzt zu arbeiten versuche.

Kiel, den 7. October 1865.

N a c h t r a g.

In der Fig. 1 ist die Construction hie und da fehlerhaft geworden, da sich bei dem Farbendruck kleine Abweichungen nicht vermeiden lassen. Ich habe doppelt um Nachsicht und wohlmeinende Prüfung zu bitten, weil ohnehin schon zuviel auf dieser Figur zusammengedrängt ist. Da ein für uns genügend genaues Bild der Retina selbst nicht sobald zu erwarten steht, wird man sich zunächst wohl an ähnliche Constructionen zu halten haben. Für jede Liniencombination braucht man eigentlich eine neue Figur, da das Centrum der Linien immer in die Mitte der Fovea zu verlegen ist. Für eine eingehende Prüfung möchte sich daher empfehlen von vornherein von einem guten Schema Abdrücke machen zu lassen.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel IX.

- Fig. 1. Schema einer Flächenansicht der Fovea centralis retinae. Die Kreise entsprechen den Körpern der Zapfen, die Flecke den Zapfenstäbchen.
 - Fig. 2. Copie der Fovea und des Bildes feiner Linien nach Helmholtz.
 - Fig. 3. Optische Bilder von den Liniensystemen der Nobert'schen Platte. A a Ein solches System beim ersten Anblick. b c A Die Form, welche die Linien bei längerer Beobachtung annehmen. e Das punktierte Ansehen der feinsten Liniensysteme nach längerer Betrachtung. B Die Kreisfiguren, welche nach andauernder Betrachtung anstatt der Linien auf der Nobert'schen Platte erscheinen.
-