II. *Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens und über die Ursache des Undeutlichsehens außerhalb der Augenaxe;*

von Wilhelm Stamm, Dr. medic.,

pract. Ärzte zu Gernsheim am Rhein

Die Gröfse und den Stand des Netzhautbildes im Verhältniß zur Gröfse, Entfernung und Lage des Gegenstandes im Sehfelde für jedes Auge zu kennen, wäre, als ein Bestandtheil der Lehre vom Sehen, an sich schon wünschenswerth; werthvoller aber würde die Lösung dieses Problems noch dadurch, daß sie zu weiterem wissenschaftlichen Gewinne führen, daß namentlich, wenn man die mikroskopischen Untersuchungen der Retina zu Hülfe nähme, sich manches Licht über die Functionen derselben verbreiten würde. Die Berechnung kann uns nie diesen Wunsch befriedigen, da wir niemals weder die Dimensionen noch die Gröfsen der strahlenbrechenden Kräfte des lebendigen Auges erfahren können.

Es haben die Schriftsteller, welche die Lehre vom Sehen behandelten, sich viele Mühe gegeben, Gröfse und Stand der Netzhautbilder zu bestimmen. Ihre Versuche scheiterten. In der neueren Zeit hat Volkmann eine Methode angegeben, die gleichen Zweck hat. Meines Wissens ist dieselbe noch keiner gründlichen oder, — um den trefflichen Arbeiten von Treviranus nicht zu nahe zu treten, — besser gesagt: unbefangenen Prüfung unterworfen worden. Ich habe sie mir deshalb zur Aufgabe gemacht.

Man kann sich von den einzelnen Punkten des Netzhautbildes zu den entsprechenden Punkten des Objectes gerade Linien gezogen denken. Volkmann nannte diese Linien »*Richtungslinien des Sehens*«, und zwar aus dem

Grunde, weil er voraussetzte, daß wir in der Richtung dieser Linien die Objecte sähen. Allerdings besitzen wir das Vermögen, unsere Gesichterscheinungen nach außen zu versetzen, und unser Tastgefühl überzeugt uns, daß die gesehenen Gegenstände sich ungefähr an den Stellen unseres Sehfeldes, so wie in der relativen Lage zu einander befinden, wo wir sie, vermöge unserer Eigenschaft des nach Außensetzens der Gesichterscheinungen, als befindlich uns gedacht haben. Es kann hier ganz unerörtert bleiben, worauf sich jene Eigenschaft wohl gründen möchte, denn diese Erörterungen gehören nicht hierher, sie sind vielmehr Aufgabe der Psychologie. Allein das Mittel, mit Hülfe dessen wir die Richtung eines gesehenen Gegenstandes zu unserem Auge, oder, mit andern Worten, dessen Platz im Sehfelde bestimmen, muß erkannt werden. Man hat behauptet, daß wir die Objecte in der Richtung eines gewissen, von ihnen ausgehenden Strahls sähen. Daß diese Behauptung wahr ist, werden wir unten sehen; allein dieser Strahl ist keineswegs das Mittel, mit Hülfe dessen wir die Richtung der Objecte bestimmen, denn es kann seyn, daß er gar nicht zur Retina, ja nicht einmal zur Hornhaut gelange, und dennoch werden wir über die Richtung des gesehenen Objectes nicht in Zweifel seyn. Davon weiter unten. Volkmann und Andere haben diesen Strahl den »*Richtungsstrahl*« genannt. Ich werde diese Bezeichnung beibehalten. Da eine bestimmte Stelle der Netzhaut nur von einer bestimmten Stelle des Sehfeldes Lichtstrahlen empfangen kann (unter Sehfeld eine Fläche verstanden, für welche das Auge accommodirt ist), und kein Lichtstrahl, welcher von einer andern Stelle des Sehfeldes ausgeht, auf jene Netzhautstelle fallen kann, so ist es klar, daß, fällt ein Lichtstrahl auf irgend einen Punkt der Retina, mit dessen Perception zugleich die Empfindung des Orts, woher er gekommen, gegeben ist, mag der Lichtstrahl selbst nun in einer Richtung auf die Netz-

haut aufgefallen seyn, in welcher er immerhin wolle. Die Richtung des Sehens hängt hiernach nicht von der Richtung der die Netzhaut afficirenden Lichtstrahlen, sondern von der Lage des afficirten Netzhauttheils ab.

Zwei hinter einander liegende Objecte, welche sich so decken, daß das hintere für das visirende Auge unsichtbar ist, liegen in einer und derselben Richtung des Sehens, d. h. das hintere Object würde, wenn man das vordere entfernte, in derselben Richtung als dieses gesehen werden, und beide Objecte entwerfen ihre Bilder auf derselben Netzhautstelle, vorausgesetzt, daß das Auge sich den verschiedenen Entfernungen beider Objecte accommodiren könne. Volkmann behauptet nun, *daß zwei sich deckende Objecte (man hat sich hier möglichst kleine Objecte zu denken) in einer und derselben Richtungslinie liegen.*

Da sämtliche Richtungslinien, weil das Netzhautbild ein zu den Objecten verkehrtes ist, sich in einem Punkte der Augenaxe durchschneiden müssen, so handelt es sich darum, die Abstände dieses Punktes von der Netzhaut und der Hornhaut zu finden, um alsdann die Größe des Winkels, welchen die Richtungslinien mit der Augenaxe machen, messen zu können. Ist dieser Winkel bekannt, so ergibt sich sehr einfach die Netzhautstelle, auf welche die von einem gewissen Punkte des Sehfeldes ausgegangenen Lichtstrahlen treffen müssen, und eben so leicht die Größe des Bildes, welches ein gegebenes Object auf der Netzhaut entwirft.

Volkmann glaubt den Abstand des Durchschneidungspunktes aller Richtungslinien mit der Augenaxe von dem Axenpunkte der vorderen Hornhautfläche für jedes Auge bemessen zu können. Wenn seine Voraussetzung und seine Methode richtig ist, so fehlt nichts mehr als die Kenntniß des Abstandes jenes Augenaxenpunktes, in welchem die Richtungslinien sich kreuzen, von dem Axenpunkte der Retina, um mit der größten Genauigkeit die

Größe und den Standpunkt der Netzhautbilder bestimmen zu können. Diese Kenntniss ist freilich am lebenden Auge nicht zu erlangen, indessen könnten wir davon wegsehen: der Gewinn, welchen uns Volkmann verschafft hätte, wäre dennoch groß, da zur Messung kleiner Netzhautbilder es schon hinreicht jene fehlende Größe durch eine, aus einer Durchschnittsberechnung sich ergebende, zu ergänzen; das Resultat würde sich alsdann nur um ein unendlich Kleines von der Wirklichkeit entfernen. Volkmann hätte uns in den Stand gesetzt, die Netzhautbilder der kleinsten, mit unbewaffnetem Auge noch sichtbaren Gegenstände zu messen. Wie folgenreich, wenn einmal die mikroskopische Anatomie der Retina deren Elementartheile so getreu dargestellt hat, daß kein Zweifel mehr erhoben werden kann.

Doch zur Sache, nämlich zur Prüfung der Volkmann'schen Versuche und Schlüsse. Um Wiederholungen und eine Vermehrung der Zeichnungen zu vermeiden, muß ich den Leser ersuchen, Volkmann's Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes zur Hand zu nehmen.

Der erste und zweite Versuch Volkmann's (vergl. dessen Beitr. S. 26) sind sich ganz ähnlich, nur gestattet der letztere mehr Genauigkeit, wiewohl auch gegen diesen sich einige Einwendungen machen lassen, deren wichtigste darin besteht, daß vielleicht die Drehscheibe nicht mit der äußersten Sorgfalt gearbeitet war, die nothwendig ist, damit sie sich genau nur um einen einzigen Punkt drehe. Volkmann leitet aus diesen beiden Versuchen nichts weiter ab, als daß es *einen* Punkt im Auge gebe, in welchem alle Richtungslinien sich schneiden müssen, ein Satz, den man auch ohne jene Versuche zugeben müßte.

Der dritte, auf S. 27, und der fünfte, auf S. 28 der Beitr. beschriebene Versuch soll zeigen wie die Bilder zweier, in *eine* Richtungslinie gestellter Flammen in einanderfallen, so daß das kleinere Bild der fernerer

Flamme in dem größeren Bilde der näheren Flamme enthalten ist, und daß diese Bilder bei allen Drehungen des Auges um einen gewissen fixen Drehpunkt nicht auseinanderweichen, während sie sogleich in zwei getrennte Bilder zerfallen, sobald das Auge um einen andern Punkt gedreht wird.

Volkmann nennt die von ihm gesehenen Bilder „*Netzhautbilder*“. Es fragt sich, ob die Flammenbilder, welche er in dem ersten bis fünften Versuche gesehen hat, wirklich immer Netzhautbilder waren? Nach dioptrischen Gesetzen kann nur dann das concentrirte Bild einer Flamme oder eines sonstigen Objectes auf die Netzhaut eines todten Auges fallen, wenn jene in eine bestimmte Entfernung von dem Auge gestellt ist. Eine sogenannte Accommodation, — sie mag nun bestehen worin immerhin, — kann im todten Auge nicht stattfinden. Volkmann sagt aber nirgends, daß er diejenige Entfernung, in welcher eine vor das von ihm benutzte Kaninchenauge gestellte Kerzenflamme ein concentrirtes Bild auf dessen Netzhaut entwirft, aufgefunden habe. Hat V. diese Entfernung weder absichtlich noch zufällig getroffen, so hat er in seinen Versuchen entweder unreine Netzhautbilder, — sogenannte Zerstreungsbilder, — oder er hat reine, aber keine Netzhaut-Bilder gesehen. Ich werde die Umstände näher bezeichnen, unter welchen er bald die einen, bald die andern gesehen haben kann.

Auf Taf. III Fig. 1 sey A der Querdurchschnitt des Kaninchenauges, BB' der Querdurchschnitt einer in so weiter Entfernung von dem Auge befindlichen Lichtflamme, daß deren concentrirtes Bild bb' noch vor die Netzhaut in den Glaskörper fällt; — auf jene fällt also ein Zerstreungsbild. Der Punkt B der Flamme sendet einen Strahlenkegel kBl zum Auge, der, durch die Pupille gehend, im Punkte b sich wieder vereint. Von da aus weichen die Strahlen wieder auseinander; durch die durchsichtige Netzhaut und Aderhaut dringend divergiren sie

nun, weil sie in ein viel dünneres Medium, die Luft, eintreten, noch weit mehr als auf ihrem Wege von b bis zur äusseren Oberfläche des Auges, so dass der Strahl Blb nach β und der Strahl Bkb nach o hingelenkt wird. In eben derselben Weise wendet sich der Strahl $B'kb'$ nach β' und der Strahl $B'lb'$ nach o' . Wenn die beiden Strahlen bo und $b'o'$ in das Auge eines Beobachters fallen können, so wird das ganze concentrirte Flammenbild von demselben gesehen. Der blofse Anblick der Fig. 2 Taf. III belehrt schon, ohne weitere Erklärung, wie das concentrirte Bild eines zu nahen Gegenstandes hinter die Sclerotica fallen mufs, und welche Strahlen von demselben zu dem in oo' befindlichen visirenden Auge gelangen können.

Magendie hat ebenfalls Bilder, welche in dem Auge des weissen Kaninchens von äusseren Gegenständen entworfen werden, durch die durchsichtige hintere Wand dieses Auges hindurch beobachtet, und er bemerkt: »Wenn man die Gröfse des Bildes durch die Entfernung oder Annäherung des Objectes verändert, so sieht man nie einen Unterschied in seiner Schärfe«. (Vergl. Magend. Physiol., übers. von Heusinger, I. S. 56.) Diese Beobachtung bestätigt, dass man die concentrirten Bilder, sie mögen nun in den Glaskörper, oder die Netzhaut, oder, — bei zu grosser Nähe des Gegenstandes, — hinter die Sclerotica fallen, immer sehen wird, sobald man nur seinem Auge eine passende Stellung giebt. Wenn dagegen das visirende Auge eine ungeeignete Stellung hat, so wird es das scharfe Bild entweder nur theilweise oder gar nicht sehen. Nehmen wir an, das Auge befände sich zwischen β und α in der Fig. 2 Taf. III. Alsdann können nur von dem Theile des Objectes BB' , welcher zwischen B und α liegt, Lichtstrahlen zum Auge des Beobachters dringen, und dieser sieht auch nur den entsprechenden Theil des Bildes bb' , nicht das ganze Bild. Wenn das Auge des Beobachters sich ausserhalb des, zwischen den beiden Linien $b\beta$ und

$b'\beta'$ (Fig. 2 Taf. III) gelegenen Raums befinden sollte, so sieht er von dem scharfen Bilde gar nichts mehr, weil von demselben gar kein Lichtstrahl mehr in sein Auge dringt. Wohl aber sieht der Beobachter auch bei der letzteren Stellung seines Auges die von der Flamme beleuchtete Stelle der Wandung des Kaninchenauges. Da nämlich diese minder durchsichtig ist als die sie umgebenden Medien, der Glaskörper und die äußere Luft, so reflectirt sie einen Theil der auf sie fallenden Strahlen und erscheint mit transparenter Beleuchtung.

Die Fig. 3 Taf. III zeigt zwei Segmente des Querdurchschnitts eines und desselben Auges, die jedoch nicht auf einander passen, weil ihre Mittelpunkte auseinanderstehen. Bei c ist der Mittelpunkt des mit A und bei c' der Mittelpunkt des mit A' bezeichneten Segmentes. Die Hornhautkrümmung hh' gehört dem Segmente A und die Hornhautkrümmung $h'h''$ dem Segmente A' an. Beide Krümmungen bilden den Abschnitt eines Kreises, der seinen Mittelpunkt in r hat. Das Verständniß der Figur ist hiernach leicht. Denke man sich das Segment A um den Punkt r sich drehend und die Drehung den Winkel crc' beschreibend, so wird sein ergänzendes Kreissegment die Stellung einnehmen, welche das Segment A' hat. BB' sey der Querdurchschnitt einer Flamme, welche sich in solcher Entfernung vom Auge befindet, daß ihr concentrirtes Licht auf die Netzhaut fällt; es wird also vor der Drehung zwischen bb' und nach derselben zwischen pp' zu stehen kommen. Es darf nicht befremden, daß das Bild bb' weiter von der Hornhaut absteht als das Bild pp' ; — denn man muß berücksichtigen, daß die Strahlen Bm und Bn , welche sich in b vereinigen, eine größere Vereinigungsweite haben müssen als die weit schiefer auf die Hornhaut auffallenden Strahlen Bq und Bs . Der Strahl Bnb wird, beim Heraustreten aus der Sclerotica vom Ausfallslothe ablenkend, nach β hin, und der Strahl $B'nb'$ nach β' hin seine Rich-

Richtung nehmen. Befindet sich nun bei β und β' das Auge des Beobachters, so, daß jene beiden Strahlen noch in dessen Auge hineinfallen können, so wird von demselben das ganze concentrirte Netzhautbild bb' gesehen. Die Strahlen des Lichtkegels sBq , welche sich in p vereinigen, werden, wenn sie aus dem Auge in die Luft hinaustreten, zerstreut und so abgelenkt, daß sie in dem Lichtkegel $qp\pi$ enthalten sind; eben so werden sämtliche von B' ausgegangene Strahlen in dem Lichtkegel $q'p'\pi'$ enthalten seyn. Das bei $\beta\beta'$ befindliche Auge des Beobachters sieht also das Flammenbild gar nicht, es nimmt bloß wahr, daß die zwischen pp' gelegene Stelle der Augenhaut heller erleuchtet ist als die übrige Augenhaut.

Machen wir nun von dieser Erklärung unsere Nutzanwendung auf die Volkmann'schen Versuche. Ich setze den Fall, Volkmann habe die Kerzenflamme in diejenige Entfernung vom Kaninchenauge gebracht, in welcher deren concentrirtes Bild genau auf die Netzhautfläche fällt, so mußte, sobald die verlängerte Axe des Kaninchenauges die Lichtflamme und das Diopterloch in ihrer Mitte durchschneidet, das hinter diesem befindliche Auge das ganze Flammenbildchen wahrnehmen. Allein bei der geringsten Drehung des Kaninchenauges mußte schon ein Theil des Bildes unsichtbar werden. In der Fig. 3 Taf. III geschieht die Drehung in der Richtung von h nach h'' . Bei der allergeringsten Drehung in dieser Richtung wird der Strahl $B'n b' \beta'$ durch die vorrückende Iris abgeschnitten, und vom Bildpunkte b' gelangt nun kein Strahl mehr zum Auge des Beobachters. Rückt nun der Rand i der Iris bei fortgesetzter Drehung so weit vor, daß er auch den Strahl $Bm b \beta$ abschneidet, so fällt von dem Flammenbilde gar kein Strahl mehr in das Auge des Beobachters: es verschwindet gänzlich dem Blicke, und dafür sieht derselbe nur noch die beleuchtete Augenhaut.

Für die Fig. 4 Taf. III sind die Bezeichnungen dieselben, wie für Fig. 3 Taf. III. Der Gegenstand BB' befinde sich in zu weiter Entfernung vom Auge. Die Strahlen Bm und Bn vereinigen sich deshalb schon im Glaskörper im Punkte b , und die Strahlen $B't$ und $B'u$ in dem Punkte b' . Zwischen bb' liegt also das concentrirte Bild von BB' . Auf die Netzhaut A fällt ein Zerstreuungsbild $\pi\pi'$. Der Strahl Bnb bekommt, wenn er das Auge verlassen hat, die Richtung nach β , und der Strahl $B'tb'$ die Richtung nach β' . Fallen diese beiden Strahlen in das Auge des Beobachters, so wird das ganze Bild bb' gesehen. Nach der Drehung fällt das concentrirte Bild zwischen pp' und davon auf die Netzhaut A' ein Zerstreuungsbild, was die zwischen $q\phi'$ gelegene Netzhautstelle bedeckt. Kein einziger demselben angehöriger Strahl gelangt zu dem bei $\beta\beta'$ befindlichen Auge des Beobachters. Also sieht dieser das Bild pp' nicht, sondern ihm leuchtet nur die Netzhautstelle $q\phi'$ entgegen. Die Richtungslinie durchschneidet das Zerstreuungsbild $q\phi'$ in x . Dieser Punkt x muß aber dem Punkte q näher liegen als der Punkt q' . Dies widerspricht der Angabe Volkmann's, welcher bei allen Drehungen des Kaninchenauges das Netzhautbild stets in seiner Mitte von dem in der Richtungslinie befindlichen Haarvisire getheilt gesehen haben will. Das kann aber, wie wir oben gesehen haben, nur seyn, wenn das Object BB' sich in derjenigen Entfernung befindet, in welcher es sein concentrirtes Bild auf die Netzhautfläche wirft; denn es läßt sich auf ganz ähnliche Weise zeigen, wie das Zerstreuungsbild, welches bei zu großer Nähe des Objectes auf die Netzhaut fällt, ebenfalls bei den Drehungen nicht mehr von der Richtungslinie halbtirt werden kann. Sollte Volkmann wirklich diese einzige Entfernung bei seinem zweiten Versuche getroffen, ohne sie gesucht zu haben? Ich halte mich nicht für berechtigt, die getreue Darstellung von Volkmann's

Beobachtungen in Zweifel zu ziehen; ich muß also annehmen, daß derselbe bei seinem Versuche die Kerzenflamme wirklich in diejenige Weite von dem ihm zum Versuche dienenden Kaninchenauge gestellt habe, daß sie ein concentrirtes Bild auf die Netzhaut werfen konnte. Ich will diese Weite der Kürze wegen *Netzhautweite* nennen. Da nun bei allen Drehungen des Auges die beleuchtete Stelle der Augenwandung stets vom Haarvisire in der Mitte getheilt blieb, so kann Volkmann dies nur dadurch bewerkstelligt haben, daß er das Auge um den Mittelpunkt der vorderen Hornhautkrümmung drehte, so wie dies meine dritte und vierte Figur darstellt.

In dem dritten Versuche stellte Volkmann zwei Kerzenflammen hinter einander. Von diesen konnte doch nur *eine* sich in der Netzhautweite befinden. Es sind nun drei Fälle möglich. Der erste Fall: Die nähere Flamme befand sich in der Netzhautweite. Vor der Drehung mußte Volkmann beide Bilder deutlich sehen, und so gestellt, daß das kleinere Bild der ferneren Flamme genau in der Mitte des großen Bildes der näheren Flamme lag. Bei der Drehung des Auges mußten beide Bilder verschwinden, und es war nur noch die beleuchtete Augenwand zu sehen. Die Beleuchtung mußte da am hellsten seyn, wo das concentrirte und das Zerstreuungsbild sich deckten. In der Fig. 5 Taf. III stellt AA' die nähere, in der Netzhautweite sich befindende, BB' die fernere Lichtflamme vor. Die Strahlen Am und An vereinigen sich auf der Netzhautstelle a die Strahlen $A'o$ und $A'p$ in a' ; die Strahlen Bq und Bs vereinigen sich im Glaskörper in b , und die Strahlen $B't$ und $B'u$ in b' . Diese letzteren Strahlen zerstreuen sich nun wieder und werfen auf die Netzhaut ein zwischen β und β' gelegenes Zerstreuungsbild. Dieses liegt nun allerdings im reinen Bilde aa' , aber nicht in dessen Mitte. Volkmann sagt zwar nicht, daß er

es so geschen, er sagt vielmehr: »drehte ich die Scheibe, so blieb stets das Bild einfach«. Dieser Ausdruck hat indessen nicht Schärfe genug, um hierauf einen Beweis gründen zu können. Ueberhaupt verlor Volkmann die eigentlichen Bilder aus dem Gesichte, sobald er die Drehung vornahm, er sah nachher nichts mehr als die beleuchtete Augenwand, an welcher er höchstens einen verschiedenen Beleuchtungsgrad wahrnehmen konnte, je nachdem sie einfach oder doppelt beleuchtet war.

Der zweite Fall: Die fernere Flamme befand sich in der Netzhautweite. In diesem Falle ist das reine Netzhautbild derselben sehr viel kleiner als das Zerstreuungs-Netzhautbild der näheren Flamme; jenes ist vor der Drehung in des letzteren Mitte gestellt, während der Drehung nähert es sich aber der Gränze des größeren Bildes, und zwar in einer, bei gleicher Richtung der Drehung, dem vorigen Falle entgegengesetzten Richtung.

Der dritte Fall: Keine von beiden Flammen befand sich in der Netzhautweite;

a) beide sind zu nahe oder zu ferne. Hier ist das Auseinanderweichen der beiden Netzhautbilder am unbedeutendsten;

b) die eine Flamme befand sich zu nahe, die andere zu ferne. Hier ist das Auseinanderweichen beider Netzhautbilder während der Drehung unter allen bezeichneten Fällen am bedeutendsten.

Die Folgerung Volkmann's (Beitr. S. 27): »Diejenigen Objecte, welche in gleichem Richtungsstrahle« (Volkmann gebraucht hier dieses Wort für Richtungslinie) »liegen, erzeugen Ein Netzhautbild, und müssen in der Erscheinung sich decken«, ist also nicht erwiesen.

Ich gehe nun zur Prüfung der folgenden Versuche über. Der achte Versuch leidet an einem Gebrechen. Es ist nämlich schwierig so viele kleine Objecte, wie Stecknadelköpfe sind, mit einem unverwandten Blick

zu übersehen; mir ist es wenigstens unmöglich, die seitlich liegenden so deutlich wahrzunehmen, daß ich mich vergewissern könnte, ob die vorderen Stecknadelköpfe die hinteren wirklich decken. Indessen abgesehen von vielleicht individuell verschiedenen Befähigungen, zieht Volkmann aus diesem und dem folgenden Versuche einen Schluss, welcher auf eine nicht bewiesene Voraussetzung sich gründet. Diese Voraussetzung spricht er in einer Anmerkung auf S. 29 der Beitr. aus, wo er sagt: »Da zwei Körper natürlich nur dann sich decken können, wenn sie in *einem* Sehstrahle« (Volkmann gebraucht dieses Wort für Richtungslinie) »liegen, so beweisen die in vorstehendem Versuche sich deckenden Nadeln, daß gg' , bb' , ff' wirklich Sehstrahlen sind.«

Allein es wäre erst zu erweisen: *daß die gerade, zwei sich deckende Objecte verbindende Linie mit den Richtungslinien jener beiden Objecte zusammenfällt.* Volkmann's Versuche am Kaninchenauge haben dieses keineswegs erwiesen, und die Behauptung, daß wir nicht in der Richtung einer, das Netzhautbild und das Object verbindenden, geraden Linie den Gegenstand sehen, sondern in einer von der Richtungslinie abweichenden Richtung, läßt sich aus Volkmann's bis hierher citirten Versuchen nicht widerlegen. Die Linien gg' , bb' , ff' (vergl. Volkmann's Beitr. Taf. II Fig. 3) dürfen noch nicht für Richtungslinien, sondern nur für Richtungsstrahlen (nach der oben diesem Worte untergelegten Bedeutung) genommen werden, und es bleibt noch zu erweisen, *ob die Richtungslinie und der Richtungsstrahl irgend eines leuchtenden Punktes im Sehfelde außerhalb dem Auge wirklich in eine Linie zusammenfallen.*

Wenn dieser Beweis erst geführt wäre, dann würde der neunte Versuch (vergl. Volkmann's Beitr. S. 30 folg.) vollkommen geeignet seyn, um den Durchschneidungspunkt sämtlicher Richtungslinien für jedes Auge

zu finden. Uebrigens läßt dieser neunte Versuch eine weit größere Genauigkeit zu als der achte Versuch, in welchem entweder die vorderen oder die hinteren Nadeln sich nicht in der deutlichen Sehweite befinden, also auch keine concentrirten Netzhautbilder entwerfen. Es darf zwar auch nicht angenommen werden, daß während der Anstellung des neunten Versuches die Haarvisire in *b* und *c* (vergl. Volkmann's Beitr. Taf. II Fig. 5) sich immer in der richtigen Sehweite befänden. Der Hintergrund der beiden Haare muß ein heller seyn, sonst werden sie durch die Diopter kaum gesehen, namentlich das seitlich in *c* befindliche nicht. Nun ist es schwierig, für so kleine Gegenstände, wie Haare sind, hinter welchen ein heller Hintergrund befindlich ist, das Auge beständig in dem geeigneten Accommodationszustande zu erhalten. Man ist also bei dem Versuche nie gewiß, ob die Haarvisire nicht ein Zerstreuungsbild auf der Netzhaut entwerfen. Daß man dieselben rein und scharf sieht, beweiset nichts, da die Diopterlöcher verhältnißmäßig nur sehr wenige Strahlen durchlassen, welche auf die Netzhaut, auch bei unrichtiger Accommodation, wenn ich so sagen darf, doch in so geringe Entfernung von einander fallen, daß sie ein reines Bild geben, während, wenn alle übrigen Strahlen durch die Pupille zur Netzhaut gelangen könnten, ein breites Zerstreuungsbild entstehen würde. Indessen bringt es keinen Nachtheil, wenn auch die Haarvisire sich nicht in der deutlichen Sehweite befinden, wenn man bei der Anstellung des Versuches darauf achtet, daß die Haarvisire ganz genau in der Mitte der Diopterlöcher erscheinen, denn dann fällt ihr Bild ganz genau auf den Punkt des Zerstreuungsbildes, wohin das reine Bild fallen würde, wenn man bei richtiger Accommodation des Auges die Haarvisire betrachtete. Die Fig. 6 Taf. III erläutert dies. In *a* und *b* befinden sich die beiden Haarvisire in zu großer Nähe, so daß ihre reinen Bilder erst auf die Punkte *e* und *f* fallen wür-

den, und a ein Zerstreuungsbild gh , b ein Zerstreuungsbild il auf der Netzhaut entwerfen. Bei c befinde sich ein Dioptr, durch welchen ganz allein Lichtstrahlen von a aus zum Auge gelangen können. Diese fallen alle auf den Punkt m der Netzhaut, oder so nahe demselben, daß das Bild rein ist, und das Object deutlich gesehen wird, und zwar in der Mitte des Dioptrers c ; denn das Lichtbild, welches dieser auf der Netzhaut darstellt, hat seinen Mittelpunkt in m . In d befinde sich der andere Dioptr, welcher allein Lichtstrahlen von b in's Auge zuläßt. Diese fallen auf, oder ganz nahe um den Punkt k der Netzhaut, und geben auch ein reines Bild von b . Wird nun bei dem Standpunkte des Dioptrers in d der Gegenstand b gerade in dessen Mitte gesehen, so hat das Lichtbild, welches dieses Dioptrloch auf der Netzhaut entwirft, seinen Mittelpunkt in k . Gesetzt nun, man gäbe diesem Dioptr einen andern Standpunkt, z. B. in n , dann fällt der Mittelpunkt seines Lichtbildes nicht mehr in k , sondern auf einen Punkt der Netzhaut, der weit entfernter vom Axenpunkte m der Netzhaut als k ist; umgekehrt fällt bei diesem Standpunkte des Dioptrers in n das Bild von b auf den Punkt l der Netzhaut, also näher bei m als vorher. Das Bild von b und der Mittelpunkt des Lichtbildes des Dioptrloches gehen also bei Verschiebungen des Dioptrers nach entgegengesetzten Richtungen auseinander, und es wird hiernach begreiflich, wie bei der allgeringsten Verschiebung von d der Gegenstand b nicht mehr in dessen Mitte gesehen wird. Verlängert man die von dem Mittelpunkte des Dioptrers d nach b gezogene gerade Linie rückwärts nach p , und versetzt das Haarvisir von b nach p , wornach es in die deutliche Schweite kommen soll, so muß sein scharfes Bild nach k fallen, und es muß in der Mitte des Dioptrloches gesehen werden. Da der Abstand des Haarvisirs a in demselben Verhältnisse größer werden muß, so bleibt das Resultat der Rechnung dasselbe, und es ist

hiernach völlig gleichgültig, ob die Haarvisire a und b sich in der Weite des deutlichen Sehens befinden, oder ob nicht. Allein eine andere Frage ist die, *ob die Linien br und rk in eine Gerade zusammenfallen?* Wenn dieß nicht der Fall ist, so ist Volkmann's Rechnung falsch. Volkmann setzt dieß voraus, bleibt aber, wie schon bemerkt, den Beweis schuldig. Der Beweis wäre sehr leicht zu führen, wenn man die Wahrheit eines Satzes anerkennen will, den Volkmann später zu beweisen sucht, — den nämlich, *daß das Auge um einen unbeweglichen Punkt der Augenaxe durch seine Muskeln gedreht werde, welcher da liegt, wo die verlängerte Linie br die Augenaxe schneidet.* Dann brauchte man nur den Blick zu verwenden, so daß b in die Sehaxe zu liegen kommt; — sieht man alsdann, was auch wirklich der Fall ist, b noch in der Mitte des Diopters d , so ist der Beweis geliefert, daß die Linien br und rk keinen Winkel, sondern eine einzige Gerade bilden. Denn bei der Drehung des Auges muß, unter obiger Voraussetzung, der Axenpunkt m der Netzhaut in die Linie re fallen, damit auch jetzt noch der Mittelpunkt des Lichtbildes des Diopterloches d und das Bild des Haarvisirs b auf einem Netzhautpunkt zusammentreffen können. Bei dieser Stellung des Auges muß aber die von dem Haarvisire b durch die Mitte des Diopters nach seinem Netzhautbilde gezogene Linie eine Gerade seyn, denn sie ist die Sehaxe selber; daraus folgt aber, daß die Linie brk auch eine Gerade ist. Die Linie br ist eine, zwei leuchtende Punkte, nämlich die Mitte des Diopters und einen Punkt in der Länge des Haarvisirs verbindende gerade Linie, und da jene beiden Punkte sich decken, so ist br deren Richtungsstrahl, — gemäß meiner obigen und auch der von Volkmann in Poggendorff's Annalen, Bd. XXXV S. 209, gegebenen Definition dieses Wortes. Es fragt sich nun, ob dieser Strahl durch die Hornhaut eine Abweichung von seiner Rich-

tung erhalte, oder ob er ungebrochen durch die Hornhaut hindurchtrete, wie Mile behauptet, in wie weit die Linse etwa ebenfalls verändernd auf seinen Gang einwirke, und endlich, ob er an eben derselben Stelle der Netzhaut anlange, an welcher er angelangt seyn würde, wenn er gar nicht von seiner ursprünglichen Richtung abgewichen, d. h. wenn er ungebrochen durch sämtliche Augenmedien hindurchgegangen wäre. Trifft er wirklich auf diese Stelle der Netzhaut, so folgt, daß der Richtungsstrahl zweier sich deckender Punkte und deren respective Richtungslinien außerhalb dem Auge ineinanderfallen, identisch sind, und nur innerhalb des Auges, in sofern der Richtungsstrahl Brechungen erleidet, auseinanderweichen. In diesem Falle bietet der Volkmann'sche Gesichtswinkelmesser ein Mittel dar, für alle nicht zu weit von der Mitte des Sehfeldes sich entfernende Richtungslinien die Richtung, den Punkt, wo sie die Augenaxe durchschneiden, und den Winkel, welchen sie mit dieser machen, zu bestimmen, also auch den Punkt der Netzhaut zu finden, auf welchen derjenige Lichtstrahl, welcher in dem, außerhalb dem Auge gelegenen Theile der Richtungslinie verläuft, auffallen muß, wobei Ungenauigkeiten nur dadurch bedingt werden, daß man die Länge der Augenaxe für jedes Auge nur approximativ bestimmen kann. Es ist also der oben ausgesprochene Satz, daß Richtungslinie und Richtungsstrahl außerhalb des Auges identisch seyen, folgenreich; seine Wahrheit hängt aber, wie oben bemerkt, von der Erweisbarkeit des andern Satzes, daß ein fixer Drehpunkt des Auges vorhanden, und daß dieser zugleich der Durchschneidungspunkt sämtlicher, in gerader Richtung bis zur Augenaxe verlängerten, Richtungsstrahlen sey; denn ist er dies wirklich, so trifft, wie ich oben gezeigt habe, die geradlinige Fortsetzung des Richtungsstrahls die Netzhaut an derselben Stelle, welche der wirkliche Strahl, auch wenn er gebrochen wird, treffen muß, — und die

Richtungslinie ist alsdann identisch mit jener geradlinigen Fortsetzung des Richtungsstrahls.

Die Beweise, welche Volkmann in dem fünften Kapitel seiner Beiträge für jenen Satz vorbringt, sind leider unzulänglich. Allerdings beweist Volkmann, daß unser Auge von seinen Muskeln um einen unbeweglichen, in der Augenaxe befindlichen Punkt rotirt werde, — er beweist aber nicht, daß dieser Punkt zugleich der Kreuzungspunkt sämtlicher Richtungslinien sey. Jenen Beweis gründet er auf die Thatsache, daß zwei in der Sehaxe befindliche, sich daselbst deckende Objecte bei allen Bewegungen unseres Auges sich nicht aufdecken. Diese Thatsache ist indessen in Zweifel gezogen worden. Der Versuch, welchen Volkmann, S. 35 der Beiträge, mittheilt, ist auch nicht ganz geeignet die Richtigkeit derselben außer Zweifel zu setzen. Mile beruft sich in Poggendorff's Annalen, Bd. XXXII S. 69, auf eine Erscheinung, welche beweisen soll, daß bei den Augenbewegungen die sich deckenden Objecte sich wieder aufdecken. Diese Erscheinung ist folgende: Richtet man das Auge auf eine Lichtflamme und schiebt vor das Auge ein Kartenblatt so, daß dadurch eben die Flamme unsichtbar wird, so erscheint sie doch, wenn man das Auge von der Karte etwas abwendet, und zwar neben der Karte stehend.

Mile bemerkt hierzu (a. a. O, S. 70): »Wenn in dieser Augenlage die Bilder der Flamme und des Kartenrandes sich noch wie früher decken sollten, so dürfte die Flamme nicht erscheinen«. Volkmann, die Thatsache anerkennend, sucht den daraus entnommenen Einwurf gegen seine Theorie durch folgende Erklärung zu beseitigen. (Vergl. Poggendorff's Ann. Bd. XXXV S. 223.) In der von Volkmann entworfenen Figur (a. a. O. Taf. II Fig. 5) sey *A* das Auge, *P* die Pupille, *c* der Kreuzungspunkt der Richtungslinien und zugleich der unbewegliche Punkt, um welchen das Auge sich bewegt;

kk' sey die undurchsichtige Karte; FF' die Kerzenflamme. Der leuchtende Punkt F würde auf der Netzhaut bei n , der leuchtende Punkt F' bei m sein Bild entwerfen; also ist mn die dem Netzhautbildchen der Flamme zugehörige Stelle. Nun kann aber dieses Netzhautbildchen nicht gebildet werden, weil bei der Stelle der Pupille P hinter der Karte kk' kein einziger Lichtstrahl der Kerze in's Auge fällt. Die Stelle mn der Netzhaut empfängt einen Theil des Kartenbildes, und zwar von dem zwischen $k'k''$ gelegenen Theile der Karte. Jetzt wende sich das Auge um seinen Drehpunkt c , so daß die Pupille in die Gegend von p zu stehen kommt. Bei dieser Stellung der Pupille und der Karte können Lichtstrahlen der Flamme in der Richtung Fp und $F'p$ in's Auge fallen, welche bezüglich nach m und n hin gebrochen werden. Die Netzhautstelle mn empfängt nun zwei Bilder, eins von dem Kartenrande $k'k''$ und eins von der Flamme FF' . Da das Flammenbildchen von strahlendem Lichte gebildet ist, so muß es in der Empfindung vorherrschen. Von dem dunkeln Kartenbilde mo kommt der zwischen mn befindliche Theil nicht zur deutlichen Empfindung, daher scheint das Flammenbildchen neben dem Kartenrande zu stehen.

Mile verwahrt sich gegen eine solche Erklärung, indem er (a. a. O. S. 70) sagt: »Man könnte vermuthen, daß die zwei Scheiben« (Bilder) »von den Objecten auch jetzt noch gerade aufeinanderfallen, die lichte aber nur gefühlt werde. Daß diese Vermuthung aber nicht gegründet sey, zeigt der Versuch mit umgekehrt beleuchteten Objecten; wenn man z. B. ein Licht neben dem Auge so stellt, daß die vordere Kartenfläche beleuchtet wird und man sie vor einen dunkeln Streifen schicht, so kommt dieser dennoch zum Vorschein, sobald man das Auge abwendet. Auch gleichbeleuchtete oder verschiedenfarbige Flächen geben dasselbe Resultat, nur ist die Verschiebung schwieriger zu sehen«.

Volkmann bemerkt nun hierzu (Poggendorff's Annal. Bd. XXXV S. 224): Man dürfe nicht verlangen, daß das helle Bild des vorderen Gegenstandes das dunkle des hinteren ganz verdränge, dazu sey das Licht der Karte viel zu wenig glänzend, und das Bild der Kohle (er nahm eine solche als hinteren Gegenstand) viel zu tief schattig. Licht und Schatten glichen sich auf der Netzhautstelle *mn* in so weit aus, daß das Kartenbild hier dunkler, oder, was dasselbe sage, das Kohlenbild heller erscheine, daher sähe man neben der hellen Karte eine in's Graue spielende Kohle. Wenn Volkmann's Erklärung durchaus richtig wäre, dann dürften gleich beleuchtete Flächen nicht dasselbe Resultat liefern. Ich nehme zwei schwarz eingebundene Bücher von gleicher Größe, stelle sie so hinter einander, daß das vordere das hintere ganz verdeckt; verwende ich nun den Blick nach rechts, so sehe ich das hintere, wegen seiner grösseren Entfernung kleiner erscheinende, neben dem rechten Rande des vorderen Buches hervorragen. Ich stelle eine blaue Fläche vor eine gelbe, so daß der rechte Rand der ersteren die letztere dem Blicke gerade verbirgt. Verwende ich nun den Blick nach rechts, so erscheint die gelbe Fläche ganz deutlich neben der blauen, und nicht eine grüne, wie man nach Volkmann's Erklärung vermuthen sollte. Doch man kann diese weiteren Beobachtungen ganz unberücksichtigt lassen, und schon aus der zuerst erzählten zeigen, daß wenigstens der Schlaftheil der Volkmann'schen Erklärung unrichtig ist. Die Figur der Lichtflamme ist eine andere als die des Kartenblatts; das Netzhautbild des Kartenblatts ist auch weit höher als das der Flamme. Daher müßte, wenn Volkmann's Erklärung richtig wäre, die Flamme von dem Kartenblatte oben und unten, und auch noch zum Theil auf der äusseren Seite und jedenfalls auf der inneren Seite der Flamme begränzt erscheinen, mit einem Worte: die Flamme müßte durch das Kartenblatt hindurchscheinen.

So ist es aber durchaus nicht; im Gegentheil tritt bei dem Versuche die Flamme ganz aus der Karte heraus, ja man bemerkt, wenn man statt der Flamme einen ganz kleinen, glänzenden Körper, z. B. eine Stecknadel, wählt, zwischen dem Kartenrande und der Nadel noch ein Zwischenfeld. Wohl aber sieht man die Flamme oder die Stecknadel durch das Kartenblatt nahe seinem Rande hindurchschimmern, wenn man diesen nur ganz knapp verschiebt, und nun den Blick auf diesen Rand selber richtet. Für diese Erscheinung paßt Volkmann's Erklärung vollkommen. Die Flamme sendet noch Lichtstrahlen am Kartenrande vorbei, diese werden durch die Hornhaut gebrochen, und können noch zum Theil durch die Pupille dringen und von der Flamme ein Bild auf den mittleren Theil der Netzhaut entwerfen, auf welchen auch ein Stückchen des Kartenbildes fällt. Wo beide Bilder sich decken, da entsteht eine gedämpfte Empfindung des hinteren Gegenstandes, sey dieser nun glänzender oder sey er dunkler als der vordere. Man kann sogar den Rand der Karte so weit verschieben, daß man ihn den hinteren Gegenstand noch überragen sieht, und dieser in der Karte gewissermaßen eingerahmt erscheint. Alsdaun muß freilich der hintere Gegenstand ein intensiveres Licht haben als die Karte. Diese scheinbare Durchsichtigkeit der Karte offenbart sich nur dann, wenn man an ihrer deckenden Seite einen doppelten Rand gewahrt, einen inneren, bis zu welchem die Karte ganz undurchsichtig ist, und einen äußeren Rand, welcher einen zwischen beiden Rändern gelegenen schmalen, halbdurchsichtigen Streifen begränzt. Durch diesen Streifen allein vermag man einen dahinter liegenden hellen Gegenstand zu erkennen. Dieser Streifen ist das Zerstreuungsbild der zu nahe vor das Auge gehaltenen Karte, es ist derjenige Theil des Netzhautbildes der Karte, welcher, wie die seitlichen Theile aller Zerstreuungsbilder, von verhältnißmäßig nur wenigen Strahlen gebildet wird,

und deshalb nur eine matte Empfindung bewirkt. Es ist aber bekannt, daß, wenn Zerstreuungs- und concentrirte Bilder auf *eine* Netzhautstelle fallen, jene nicht mehr wahrgenommen werden, selbst wenn sie von näheren Objecten als diese herrühren. Dieß erklärt das ganze Phänomen. Entfernt man daher die Karte von dem Auge auf deutliche Schweite, so sieht man keinen dahinterliegenden Gegenstand mehr durch dieselbe hindurch, auch selbst diejenigen Gegenstände nicht, welche hinter deren Rand so verborgen sind, daß sie noch Lichtstrahlen durch die Pupille senden können, und seyen sie auch noch so glänzend. Denn jetzt entwirft die Karte ein scharfes Bild auf der Netzhaut und die dahinterliegenden Objecte entwerfen Zerstreuungsbilder. Eben so muß man auch in dem Mile'schen Versuche das Kartenblatt so nahe vor das Auge halten, daß jener doppelte Rand gesehen wird. Schiebt man nun die Karte so weit vor, daß, wenn der Blick auf der Karte selbst ruht, der innere undurchsichtige Rand die dahinterstehende Flamme gänzlich verbirgt, so springt diese dennoch bei einer nicht bedeutenden Verwendung des Blicks ganz frei hervor, aber nicht über den äußern Rand des durchsichtigen Streifens. Dieser durchsichtige Streifen, das durch Zerstreuung der Strahlen entstandene Doppelbild des Kartenrandes, wird nämlich, weil es auf seitliche Theile der Netzhaut fällt, gar nicht mehr wahrgenommen, sondern bloß das reine Bild der Flamme oder jedes andern Gegenstandes, auch wenn er tiefschwarz, mattgrau oder von der Farbe der Karte ist, darauf kommt es gar nicht an. Dieser durchsichtige Streifen wird, wenn er in dem mittleren Theil des Gesichtsfeldes liegt, noch deutlich wahrgenommen, deshalb birgt er auch den dahinterliegenden Gegenstand noch in etwas; er ist auch wahrscheinlich schmaler als er seyn wird, wenn er im seitlichen Theile des Gesichtsfeldes liegt. Dieß kann man daraus schließen, daß man in dem letzteren Fall gar nicht mit Schärfe wahrnehmen

kann, wo die Karte anfügt undurchsichtig zu werden, die Erscheinung eines doppelten Randes verliert sich hier ganz. Die Volkmann'sche Erklärung ist also in sofern richtig als allerdings nach der seitlichen Bewegung des Auges die Pupille eine Stellung erhält, in welcher nun Lichtstrahlen von dem hinteren Gegenstande durch dieselbe hindurchdringen und ein Bild von diesem auf der Netzhaut entwerfen können, was bei ihrer vorherigen Stellung nicht möglich war; — sie ist ferner in sofern richtig als sie die Deckung der beiden Netzhautbilder anerkennt; nur darin ist sie falsch, daß sie eine aus beiden Bildern gemischte Empfindung annimmt. Die Falschheit dieser Annahme geht aus folgender Modification des Versuchs hervor. Man schiebe den Kartenrand in einer Entfernung vom rechten Auge, in welcher man deutlich sieht, von links nach rechts vor die noch viel weiter entfernte Lichtflamme, so daß diese, wenn man den Kartenrand fixirt, nicht mehr gesehen wird, sogleich aber theilweise zum Vorschein kommt, sobald man die Karte nur eine Linie breit wieder nach links schiebt. Alsdann bewege man das Auge nach rechts und fixire einen Gegenstand, welcher eben so weit vom Auge entfernt ist als die Karte. Man wird von der Flamme nichts gewahr. Es ist nach der obigen Erklärung augenfällig, daß bei dieser Stellung des Auges Strahlen von der Flamme durch die Pupille gehen müssen, ihr Glanz überwiegt den Glanz der Strahlen, welche die Karte aussendet, — und dennoch bewirken sie keine Empfindung, weil diese zerstreuten Strahlen auf ein concentrirtes Bild fallen. Fixirt man dagegen nach der seitlichen Bewegung des Auges einen mit der Flamme gleich weit von jenem entfernten Gegenstand, dann sieht man diese sogleich neben dem Kartenrande vorspringen, jedoch nur theilweise, — man sieht nur einen schmalen Streifen derselben, und dieß aus dem Grunde, weil die doch ziemlich ferne Karte zwar ein Zerstreuungsbild, aber kein breites, auf der

Netzhaut entwirft, so daß also auch der halbdurchsichtige Streifen am Kartenrande weit schmaler als bei größerer Nähe der Karte ist.

Das Resultat dieser Erörterungen stimmt mit dem Volkmann'schen ganz überein. Mile's Behauptung, der bisher besprochene Versuch bewiese, daß die sich deckenden Netzhautbilder zweier Objecte aufhörten sich zu decken, auseinanderwichen, wenn das Auge durch seine Muskeln bewegt werde, ist falsch, vielmehr spricht dieser Versuch für das Gegentheil.

Volkmann hat, um dasselbe zu beweisen, noch einen andern Versuch angestellt, welchen er in Poggendorff's Annalen, Bd. XXXV S. 222, beschreibt. Ein leicht zu verbesserndes Gebrechen dieses Versuchs ist, daß Volkmann beide Spalten gleich schmal machte; der fernere Lichtstreifen erscheint auf diese Weise viel schmaler als der nähere, was der genauen Beobachtung des etwaigen Auseinanderweichens der beiden Lichtstreifen hinderlich ist. Ich habe diesen Versuch nachgeahmt, nur modificirte ich ihn folgendermaßen: Ich beklebte zwei Glas-cylinder mit schwarzem Papier. Bei dem einen liefs ich aber eine einen halben Zoll breite, bei dem andern eine zwei Linien breite Spalte frei. In die Cylinder brachte ich brennende Kerzen. Den Cylinder mit der breiteren Spalte stellte ich in so weite Entfernung von dem mit der schmälern Spalte, daß der Lichtstreifen des letzteren, 20" vom Auge entfernten Cylinders eben so breit erschien als der hintere Lichtstreifen. Die Stellung der beiden Cylinder war so, daß beide Lichtstreifen in einander übergingen, einen einzigen zu bilden schienen. Ich muß jedoch bemerken, daß einer der Lichtstreifen, sobald ich den andern fixirte, stets etwas breiter wurde und an Schärfe der Umrisse verlor, — weil er ein Zerstreuungsbild auf der Netzhaut entwarf. Da jedoch die seitlichen Theile eines Zerstreuungsbildes, als dessen undeutlichster Theil, wenn dasselbe auf seitliche Stellen
der

der Netzhaut fällt, gar nicht wahrgenommen zu werden scheinen, so hat wahrscheinlich dieser Umstand der Genauigkeit des Versuchs keinen Eintrag gethan. Dieser Versuch lieferte mir übrigens dasselbe Resultat wie Volkmann. Nur muß ich bemerken, daß ich den Blick nicht weit verwenden durfte, sonst war es mir nicht mehr möglich deutlich wahrzunehmen, ob die beiden hellen Spalten wirklich noch in einer geraden Linie standen. Die seitliche Augenbewegung durfte höchstens einen Winkel von 17° beschreiben. — Verweilen wir noch einen Augenblick bei diesem Versuche.

Denken wir uns aus der Mitte des unteren Randes des oberen fernerer Lichtstreifens eine Linie durch die Mitte des oberen Randes des unteren, näheren Lichtstreifens gezogen und bis zur Hornhaut verlängert; nennen wir den Anfangspunkt jener Linie den leuchtenden Punkt *a*, und den Punkt, in welchem jene Linie den näheren Lichtstreifen durchschneidet, den leuchtenden Punkt *b*. Die Bilder beider Punkte fallen auf einen und denselben Punkt der Netzhaut. Nur einer von jenen beiden leuchtenden Punkten kann sich in der Weite des deutlichen Sehens befinden; es sey dieß der Punkt *a*, — der andere *b* muß also mehr oder weniger große concentrische Zerstreuungskreise auf der Netzhaut entwerfen, deren Mittelpunkt das reine Bild von *a* einnimmt. Der, beiden leuchtenden Punkten gemeinschaftliche, Richtungsstrahl fällt auf das reine Bild von *a*, also auch in die Mitte der Zerstreuungskreise von *b*. Von allen Strahlen, welche ein leuchtender, außerhalb der Weite des deutlichen Sehens befindlicher Punkt zur Hornhaut sendet, kann nur der in die Mitte des aus Zerstreuungsstrahlen bestehenden Netzhaut-Kreisbildes fallen, welcher senkrecht auf der Netzhaut steht. *Mithin stehen alle Richtungsstrahlen senkrecht auf der Hornhaut.* Da der in Rede stehende Versuch unläugbar beweist, daß das concentrirte Bild von *a* bei nicht bedeu-

tenden Bewegungen des Auges nach rechts oder links nicht aus der Mitte des Zerstreuungsbildes von b herausrückt, so folgt weiter, daß bei den Muskelbewegungen des Auges, wenigstens gewiß solchen, welche keinen zu großen Winkel beschreiben, alle leuchtenden Punkte im Sehfelde ihren Richtungsstrahl beibehalten, daß, mit anderen Worten, *ein Strahl, der senkrecht auf der Hornhaut stand, auch auf derselben bei den Augenbewegungen senkrecht stehen bleibt.*

Mile hat schon diese Ansicht ausgesprochen. Er sagte: »Wollte man annehmen, die Richtungsstrahlen ständen nicht senkrecht auf der Cornea, so würde ihnen der Charakter mangeln, von ihren Lichtpunkten zusammenfallende Bilder auf der Retina zu liefern« (Poggendorff's Annalen, Bd. XXXXII S. 53). Mile läßt aber unberücksichtigt, daß die zu nahen und die zu fernen Lichtpunkte Zerstreuungskreise auf der Netzhaut entwerfen, und nur der einzige Punkt, welcher sich genau in der Weite des deutlichen Sehens befindet, ein concentrirtes Bild dahin entwirft. Es galt zu beweisen, daß dieses letztere in den Mittelpunkt der Zerstreuungskreise falle, und daß diese concentrisch seyen, d. h. einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt haben. Der obige Versuch beweist dies aber. Denn wenn die beiden Lichtstreifen, anfänglich in der Sehaxe des visirenden Auges sich befindend, als ein einziger gerader Lichtstreifen erscheinen, wenn nach der Seitwärtswendung des Auges, — wobei dieses, weil es im Dunkeln keinen Gegenstand fixiren kann, für die Ferne, und also für die ferneren Lichtstreifen, sich unwillkürlich accommodirt, und wobei der nähere Lichtstreifen sich verbreitert und seine Umrisse an Schärfe verlieren, — wenn man dennoch deutlich sieht, wie der fernere Lichtstreifen auf dem mittleren Theile des oberen Randes des näheren steht, — so führt uns ein kurzes Nachdenken zur Anerkennung des obigen Satzes.

Soll ein senkrecht auf die Hornhaut auffallender Strahl bei den Muskelbewegungen des Auges diese Stellung behalten, so muß sich das Auge, wenn seine Hornhaut eine sphärische Gestalt hat, um den Mittelpunkt der vorderen Hornkautkrümmung drehen, — wenn dagegen die Hornhaut ein Ellipsoid ist, so müssen sehr viele Drehungspunkte seyn, weil die Normalen des Ellipsoids sich nicht in einem Punkte schneiden. Es würde eine unnütze Abschweifung seyn, die krumme Fläche zu beschreiben, in welcher sämtliche Drehungspunkte nothwendig liegen müssen. Volkmann behauptet indessen, daß das Ochsenauge, welches nach Senff's Untersuchung eine ellipsoïdische Hornhaut haben soll, einen fixen Drehungspunkt habe. Er stützt seine Behauptung auf einen in Poggendorff's Annalen, Bd. XXXV S. 212 bis 215 mitgetheilten Versuch. Derselbe ist in der nämlichen Weise angestellt, wie der zweite Versuch mit dem Kaninchenauge, der oben besprochen wurde. Meine obigen Bemerkungen zu diesem Versuche gelten auch hier. Ueberdies ist es eine reine Unmöglichkeit, daß das concentrirte Bild, welches eine ellipsoïdische Fläche von einem Gegenstande entwirft, bei der Drehung derselben um einen fixen Punkt stets an derselben Stelle verbleiben solle, wie dies Volkmann gerne aus seinem Versuche ableiten möchte. Es widerspricht eine solche Behauptung so ganz den unumstößlichen Gesetzen der Dioptrik, daß es eine müßige Arbeit seyn würde, jene nur widerlegen zu wollen. Uebrigens will ich die Wahrhaftigkeit des Berichtes, welchen Volkmann von seinem Versuche macht, nicht antasten; im Gegentheil will ich versuchen, Volkmann als getreuen Beobachter zu rechtfertigen, ohne mich dabei, wie ich hoffe, gegen die Gesetze der Dioptrik zu versündigen.

In der Fig. 7 Taf. III stelle A die Peripherie des Querdurchschnitts des Ochsenauges, dessen Axe in der Richtungslinie RR sich befindet, dar; A' ist die Peripherie des-

selben Querschnitts, nachdem das Auge um den Winkel Rrh gedreht worden ist; r ist also der fixe Drehungspunkt und zugleich derjenige Punkt, worin die Normalen der Hornhautpunkte m und n die Augenaxe schneiden. EL ist eine elliptische Linie, deren kleine Axe in die Axe des Auges A fällt und deren Mittelpunkt sich in c befindet. Der Theil EH dieser elliptischen Linie ist ein zur Peripherie A gehöriger Querschnitt der Hornhaut. $E'H'$ ist derselbe Querschnitt der Hornhaut, welcher aber zur Peripherie A' gehört. Der Punkt h ist der Axenpunkt dieser Hornhaut und zugleich der Durchschneidungspunkt der beiden elliptischen Linien EL und $E'H'$. Die gerade Linie rh ist Normale des der elliptischen Linie $E'H'$ angehörigen Punktes h , und die gerade Linie $r'h$ ist Normale des der elliptischen Linie EL angehörigen Punktes h ¹⁾. $B'B$ ist der Querschnitt der Kerzenflamme. Nehmen wir zuvörderst an, dieselbe befinde sich in derjenigen Weite vom Auge, in welcher ihr concentrirtes Bild genau auf die Netzhaut fällt, und die von dem Lichtpunkte B aus auf die Hornhaut EH zwischen m und n einfallenden Strahlen vereinigten sich sämmtlich in dem Punkte b der Netzhaut A und die in dem Lichtkegel $nB'm$ enthaltenen Strahlen vereinigten sich in b' , so ist bb' das concentrirte Netzhautbild von BB' . Lassen wir nun um den Punkt r die Drehung vor sich gehen und dieselbe den Winkel Rrh beschreiben. Der Punkt h gehört, wie ich oben anschaulich zu machen suchte, zwei Ellipsoiden an. Lassen wir auf denselben einen Lichtstrahl $B'h$ fallen. Für die Ellipsoide EL ist der Sinus des Einfallswinkels gleich dem Sinus $\angle r'hB'$, für die Ellipsoide $E'H'$ ist der Sinus des Einfallswinkels gleich dem Sinus $\angle rhB'$. Das Brechungsverhältniß ist für beide Ellipsoiden natürlich gleich. Da nun Sinus $\angle rhB' <$ als Sinus $\angle r'hB'$, so wird der Strahl $B'h$, wenn er

1) Ich muß bemerken, daß der Punkt r' durch Rechnung und möglichst genaue Messung in der Figur bestimmt worden ist.

von der Ellipsoide EL gebrochen würde, mehr von seiner Richtung abgelenkt werden als dies durch die Hornhaut $E'H'$ geschieht. Gesetzt der Strahl $B'h$ werde von der Ellipsoide EL so gebrochen, daß er in β' auf die Netzhaut A' fällt, so kann der von der Ellipsoide $E'H'$ gebrochene Strahl $B'h$ nicht eben dahin, sondern etwa nach γ' gebrochen werden. Aus demselben Grunde wird der Strahl Bh nicht nach β , sondern nach γ abgelenkt. Demnach fällt nach der Drehung um den Punkt r und bei einem Drehungswinkel gleich Rrh das reine Bild der Flamme auf die Netzhautstelle $\gamma'\gamma$. Dieses kann von der Richtungslinie RR' nicht in seiner Mitte durchschnitten werden. Dieses Resultat steht im Widerspruch mit Volkmann's Beobachtung.

Nehmen wir nun an, die Flamme BB' befinde sich in einer so weiten Entfernung vom Auge, daß ihr reines Bild in dem Glaskörper, und zwar vor der Drehung zwischen $\delta\delta'$, nach der Drehung zwischen $\epsilon\epsilon'$ zu stehen komme. Dann wird nach der Drehung ein Zerstreuungsbild auf die Netzhaut fallen, welches eine noch etwas größere Netzhautfläche als die zwischen $\beta\beta'$ bedecken, und ziemlich genau in seiner Mitte von der Richtungslinie RR' durchschnitten werden wird. Hier haben wir also ein mit Volkmann's Beobachtung übereinstimmendes Resultat. Der Punkt r ist aber nicht der einzige Drehpunkt, wobei man dieses Resultat erhält; auch andere Punkte der Augenaxe sind hierzu geeignet; man muß nur die Entfernung der Flamme auf entsprechende Weise ändern. Im Allgemeinen muß man dieselbe um so weiter vom Auge entfernt stellen, je näher der gewählte Drehungspunkt dem Axenpunkte der Netzhaut ist, und umgekehrt muß man die Flamme dem Auge um so näher bringen, je näher der gewählte Drehungspunkt dem Axenpunkte der Hornhaut ist. Die Sache hat jedoch ihre Grenzen, die ich indessen nicht bestimmen kann, ohne mich in ungehörige Details einzulassen.

Volkmann führt in seinen Beiträgen zur Physio-

logie des Gesichtsinnes noch zwei weitere Beweise, S. 36 bis 40, auf, welche allerdings vollkommen genügen den Satz, daß unser Auge durch seine Muskeln um einen unbeweglichen Punkt rotirt werde, zu erweisen, welche aber zur Beweisführung des weiteren Satzes, daß dieser fixe Drehpunkt der Kreuzungspunkt sämtlicher Richtungslinien sey, nichts beitragen.

Mile hat, obwohl er von Volkmann's Ansichten darin abweicht, daß er den Drehungspunkt des Auges in den Mittelpunkt der Scleroticakrümmung und den Kreuzungspunkt der Richtungslinien in den Mittelpunkt der Cornea versetzt, dennoch eine Ansicht ausgesprochen, welche der Volkmann'schen sehr günstig ist. Er zeigt nämlich, wie die Richtungsstrahlen, d. h. alle senkrecht auf die Hornhaut auffallenden Strahlen im Zickzack durch die Linse hindurchgehen müssen, und wie es wahrscheinlich sey, daß der Richtungsstrahl beim Uebergang aus der Linse in den Glaskörper eine Richtung bekomme, in Folge deren er gerade auf denselben Punkt der Retina treffe, wohin er gelangt seyn würde, wenn er gänzlich ungebrochen durch die Augenmedien gegangen wäre. Er nimmt nämlich an, daß die Richtungsstrahlen ungebrochen durch die Hornhaut und die wäßrige Augenflüssigkeit hindurchgehen, was übrigens nur der Fall seyn kann, wenn die hintere Fläche der Hornhaut mit der vorderen einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt hat, oder wenn die wäßrige Augenflüssigkeit mit der Hornhaut gleiche brechende Kraft hat. Ferner wird hierbei vorausgesetzt, daß der Mittelpunkt der Hornhaut nicht hinter dem Mittelpunkte der vorderen Fläche der Linse liege. Vorausgesetzt wird ferner, daß die gläserne Flüssigkeit dieselbe brechende Kraft habe als die wäßrige. Unter diesen Voraussetzungen würde, wenn die hintere Linsenfläche mit der vorderen gleichen Radius hätte, der aus der Linse heraustretende Richtungsstrahl mit dem in dieselbe eintretenden parallel laufen, aber wegen seines

Zickzack-Verlaufes in der Linse müßte ersterer von der geradlinigen Verlängerung des Letzteren absteilen. Da indessen die hintere Linsenfläche stärker gekrümmt ist als die vordere, so ist der Ausfallswinkel größer als der Einfallswinkel, und der aus der Linse austretende Richtungsstrahl muß sich der geradlinigen Verlängerung des Theils des Richtungsstrahls, welcher zwischen Hornhaut und Linse liegt, immer mehr nähern, um sie an irgend einer Stelle zu schneiden. Mile nimmt nun an, daß dieser Durchschneidungspunkt in der Netzhaut liege. Wenn diese ganze Hypothese mit allen ihren Voraussetzungen richtig ist, so folgt weiter daraus, daß die Richtungslinie und der Richtungsstrahl außerhalb dem Auge zusammenfallen, und daß der Mittelpunkt der Cornea, welcher Drehpunkt des Auges ist, zugleich Kreuzungspunkt sämtlicher Richtungslinien seyn muß. Allein für diese Mile'sche Hypothese fehlt der Beweis.

Ich habe oben bemerkt, man dürfe, wenn man zwei sich deckende Objecte betrachte und nun den Blick abwende, um zu erfahren, ob bei dieser Augenbewegung die Objecte sich aufdecken oder ob nicht, den Blick nicht zu weit abwenden, weil alsdann die Bilder der Objecte auf eine Netzhautstelle gelangen, durch welche nur noch ein sehr undeutliches Sehen vermittelt wird, und man nicht mehr genau unterscheiden kann, ob die Objecte sich wirklich noch decken oder ob nicht mehr. Es entsteht nun die Frage, ob bei weiterer Abwendung des Blickes die Objecte sich wirklich noch decken? Man kann diese Frage mit Ja beantworten. Man stelle den Versuch nur auf folgende Art an: Man gebe dem Kopfe eine solche Stellung, daß die Hornhaut des visirenden Auges, wenn dessen Sehaxe in den Richtungsstrahl der beiden sich deckenden Objecte fallen soll, den äußeren Augenwinkel berühren muß. Nun wende man den Blick ein wenig von diesem Augenwinkel ab und man wird finden, daß sich die Objecte immer noch decken. Hier-

aus folgt, dafs, auch bei Rotationen des Auges in der Nähe des Augenwinkels, bestehende Deckungen der Objecte nicht aufgehoben werden.

Um aus allen bis hierher gegebenen Erklärungen ein Endresultat zu ziehen: *Bei allen Rotationen des menschlichen Auges bleiben die Richtungsstrahlen stets vertical auf die Hornhaut gerichtet, und wenn also diese eine sphärische Krümmung hat, so mufs der Mittelpunkt der Hornhaut der unbewegliche Drehpunkt des Auges seyn. Der Kreuzungspunkt der imaginären Richtungslinien ist hingegen noch unbekannt.* Volkmann's Gesichtswinkelmesser ist geeignet, für jedes Auge die Entfernung des Drehpunktes von dem Axenpunkte der vorderen Hornhautfläche zu finden.

Man sieht, dafs alle Vorwürfe, welche man Volkmann's übrigens sehr verdienstvollen Forschungen über Gröfse und Stand der Netzhautbilder machen kann, darauf hinauslaufen, dafs sie die Netzhaut-Zerstreuungsbilder aufser Rechnung gelassen haben.

Es ist eine herrliche Einrichtung in unserem Auge, dafs, wenn reine und Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut sich decken, diese nicht empfunden werden. Ohne diese Einrichtung würde das Auge ein sehr unvollkommenes Sehwerkzeug seyn. Bei dieser Gelegenheit kann ich nicht unbemerkt lassen, dafs Physiker sowohl als auch Physiologen für manche überraschende Vollkommenheit oder scheinbare Unvollkommenheit unseres Sehorganes die Erklärung in den brechenden Augenmedien zu finden glaubten, während sie doch nur im Bau und in der Function der Retina zu suchen ist. Ich selbst habe z. B. mir viele Mühe gegeben, den Ausspruch einiger Schriftsteller, dafs wir deshalb Gegenstände, welche nicht in der Sehaxe oder in deren nächsten Nähe liegen, undeutlich sehen, weil deren Netzhautbilder Zerstreuungsbilder sind, zu bewahrheiten. Allein ich kam nicht damit zum Ziele; im Gegentheil überzeugte ich mich,

dafs jener Ausspruch falsch ist. Wir bekommen jedenfalls von einem Netzhautbilde, das kaum eine Linie vom Axenpunkte der Retina entfernt ist, schon eine unklare Empfindung. Wenn nun gleichzeitig ein Bild, welches in jenem Axenpunkte liegt, deutlich empfunden wird, so dafs es als concentrirtes Bild angenommen werden mufs, so mufs auch jenes erstere Bild bei gleicher Entfernung der Objecte ein concentrirtes seyn, da beide Netzhautstellen jedenfalls gleich weit von der Linse entfernt sind. Eben diese Betrachtung führt uns dahin Treviranus Meinung für irrig zu halten. Da die von seitlichen Gegenständen ausgehenden Lichtstrahlen schief, und deshalb in geringerer Zahl auf die Hornhaut fallen, und oben drein ein Theil dieser Strahlen von der Cornea reflectirt wird, da in gleichem Verhältnifs sich auch die Zahl der durch die Pupille dringenden Strahlen vermindert und endlich die Linse noch einen Theil dieser schiefen Strahlen reflectirt, so können von jenen Gegenständen verhältnifsmässig weit weniger Lichtstrahlen zur Netzhaut gelangen als von in der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden Objecten. Treviranus leitet davon die Undeutlichkeit des Sehens ausserhalb der Augenaxe ab. Dieses Verhältnifs lässt sich aber nicht auf Gegenstände, welche der Sehaxe ganz nahe liegen, und dennoch undeutlich gesehen werden, anwenden. Und überdies bedarf es zum Deutlichsehen nicht so sehr vieler Lichtstrahlen, wie das Sehen durch ein feines Loch lehrt. Ueberschauen wir eine Landschaft, in welcher uns Gegenstände von den verschiedensten Entfernungen entgegentreten, so sehen wir, wir mögen unsere Augen richten und drehen wie wir wollen, immer nur diejenigen Gegenstände deutlich, welche in der Sehaxe liegen. Es mufs doch von dem einen oder dem andern seitlichen Gegenstande ein concentrirtes Bild auf einen seitlichen Theil der Netzhaut geworfen werden, es können doch nicht aus allen Entfernungen dahin Zerstreungsbilder von Objecten fallen.

Johannes Müller hat auch hier wieder die richtige Saite angeschlagen, wenigstens ist mir nicht bekannt geworden daß ein Anderer vor ihm dies gethan. Er sagt (Physiologie, II. S. 351): »Die Empfindung ist in der Mitte der Netzhaut so scharf und auf der Seite derselben so ganz unbestimmt, als wenn in der Mitte der Netzhaut einzelnen kleinen Theilchen des Bildes die Enden einzelner Fasern, an den Seiten vielen kleinen Theilchen des Bildes nur eine Faser entsprechen, und als wenn hier eine Faser in einiger Länge den Eindrücken ausgesetzt wäre, während sie in der Mitte der Netzhaut nur durch ihr punktförmiges Ende empfindet.« Folgender Sehversuch, welchen Jeder bei *einiger* Uebung leicht wiederholen kann, dürfte Einiges zur Bestätigung dieser Ansicht beitragen.

Man beschreibe auf schwarzem Papier einen Kreis, dessen Radius etwa $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll beträgt. An irgend einer Stelle der Peripherie dieses Kreises mache man mit einer feinen Stecknadel drei Löcher, von denen jedes $1\frac{1}{2}$ bis 2 Linien von dem andern entfernt ist. Das Centrum durchsteche man ebenfalls. Man halte nun das Papier gegen das Licht. Am besten stellt man den Versuch in einem nur durch ein Kerzenlicht erleuchtetem Zimmer an. Nun visire man mit einem oder mit beiden Augen (besser aber, namentlich im Anfange, nur mit einem Auge) das Löchelchen im Centrum des Kreises; vorher aber vergewissere man sich, ob die drei Löcher in der Peripherie alle gleich erleuchtet sind, was man am besten dadurch bewerkstelligt, daß man die Lichtstrahlen nicht unmittelbar auf sie fallen läßt, sondern die Flamme mit einem Schirme von milchweißem Glase deckt; ferner halte man das Papier in einer Entfernung vom Auge, worin noch deutliches Sehen möglich ist, d. h. nicht zu nahe. Das Papier so wie der Kopf müssen unverrückt stehen; daher es besser ist, jenes auf ein Stativ zu befestigen und diesen auf die Arme zu stützen. Be-

achtet man nun bei fortwährendem Fixiren des Centrallochs die in der Peripherie befindlichen Löcher, so bemüht man sich vergebens, mehr als zwei zu unterscheiden. Läßt man den Blick langsam von dem Centralloch zu den peripherischen hingleiten, so erscheint das dritte, vorher nicht sichtbare, noch ehe man die Sehaxe darauf gerichtet hat, wieder, und man überzeugt sich, daß das nun erst sichtbar gewordene das mittlere ist. Man kann diesen Versuch auf manigfache Weise verändern, indem man den Kreisen verschiedene Größen giebt, oder die peripherischen Löcher in verschiedene Entfernungen von einander setzt. Das Resultat Aller ist: Je größer, bei gleichbleibender Entfernung des Papiers vom Auge, der Kreis ist, und je näher die peripherischen Löcher bei einander liegen, um so mehr derselben werden unsichtbar bei der Fixirung des Centrallochs. So wird man, wenn man in den obigen Kreis, statt drei Löcher, vier sticht, diese aber näher zusammenrückt, so daß diese vier zusammen nur einen eben so großen Bogen einnehmen als jene drei, auch nur zwei Löcher sehen, und man wird finden, daß die beiden mittleren unsichtbar wurden. Was den Versuch erschwert, ist, daß man oft, ja gewöhnlich, gar kein Loch deutlich sieht, daß man keine Gränze zwischen den hellen und dunkeln Räumen wahrnehmen kann. In diesem Falle darf man nur den Kopf um ganz Weniges zur Seite neigen, und augenblicklich erscheinen die Löcher in bestimmten Umrissen und verminderter Zahl. Visirt man mit beiden Augen zugleich, so gelingt, wenigstens begegnet mir dieß, der Versuch weniger, weil durch unwillkürliches Schielen Doppelbilder entstehen.

Aus den vorstehenden Versuchen lassen sich folgende Resultate ziehen: Die Peripherie eines Kreises von $1\frac{1}{2}$ " bis 2" Halbmesser, ganz aus der Nähe betrachtet, kann als ein großer Gesichtsgegenstand gelten, der also mit einem Blicke auf dessen Centrum in seiner To-

talität als Kreis genau erkannt werden kann. Nicht so ist es aber mit kleineren Theilen seiner Peripherie. Denkt man sich diese in lauter kleine Theile von der Gröfse eines Nadelloches getheilt, so lehrt der obige Versuch, in welchem die Zwischenräume zwischen den Löchern etwa 4 Mal so grofs als diese waren, dafs von je 11 solchen Theilen nur etwa 6 gesehen werden; folglich werden von jener Peripherie, sobald der Blick auf ihrem Centrum ruht, auch nur $\frac{6}{11}$ (annäherungsweise versteht sich) gesehen, die anderen $\frac{5}{11}$ sind gänzlich unsichtbar. Wenn dieser Schlufs richtig wäre, könnte man einwenden, müfste jene Kreislinie unterbrochen gesehen werden. Dieser Einwand ist leicht zu beseitigen. Wenn nämlich $\frac{5}{11}$ jener Kreislinie nicht gesehen werden, so fallen die Bilder dieser Theilchen auf Parthieen der Retina, wo keine auf den Lichteindruck reagirenden Nerven-Elemente liegen. Diese sind also in der Gegend der Retina, auf welche das Bild der Kreislinie fällt, nicht dichtgedrängt gestellt. Es läfst sich aus dem obigen Versuche entnehmen, *dafs die den Lichteindruck unmittelbar aufnehmenden nervösen Elementartheile um so weiter auseinanderstehen, je weiter sie von dem Axenpunkte der Retina entfernt sind.* Die Perceptionen werden dadurch allerdings unterbrochen; allein man wird sich beim gewöhnlichen Sehen dieser Unterbrechungen nicht bewußt, weil die Action keines einzigen des Empfindungseindrucks fähigen Theilchens intercipirt wird, so dafs, obwohl das auf der Netzhaut entworfene Bild nicht vollständig empfunden wird, dennoch von einem Fehlenden keine Vorstellung entstehen kann. Denkt man sich einige, den Empfindungseindruck empfangende Theilchen gelähmt, dann erst wird das Sehen ein unterbrochenes, denn jetzt erst kommt die Vorstellung eines Fehlenden zu Stande. Obwohl das Bild der Kreislinie oder überhaupt eines grofsen Gegenstandes nur theilweise percipirt wird, so thut diefs doch der Vollständigkeit der Vor-

stellung des Bildes keinen Eintrag, weil die unsichtbaren Theile desselben den sichtbaren vollkommen gleich sind, beide sind Punkte (von derselben Gröfse) einer und derselben geraden oder krummen Linie, und die Hälfte aller Punkte dieser Linie giebt, wenn die andere Hälfte, die unsichtbaren Punkte, mit den sichtbaren alterniren, eben so gut eine Vorstellung dieser Linie als die Summe aller Punkte. Befinden sich im Gesichtsfelde ausserhalb dessen Mitte kleine Objecte, und bestehen deren Umrisse aus geraden Linien, so kann eine solche so klein seyn, dafs sie einem unsichtbaren Theil einer grossen Linie an Länge gleich kommt; — sie wird also gar nicht gesehen; — oder sie ist etwa noch einmal so lang, — dann wird sie nur zur Hälfte gesehen; — oder es kann auch der Winkel, in welchem zwei gerade Linien zusammenstossen, nebst einem Theile beider Schenkel unsichtbar bleiben etc. Bei so unvollständiger Perception des Bildes ist eine Ergänzung durch die Vorstellung gar nicht möglich; eben so wenig ist es möglich, wenn die Umrisse Curven von verschiedener Gestalt darstellen, — überhaupt um so weniger möglich, je unregelmässiger die Figuren sind.

Trotz vieler, mühevoller mikroskopischer Untersuchungen wollte es den in diesem Felde der Forschung erprobten Männern noch nicht gelingen, die den Licht-eindruck empfangenden und dagegen reagirenden nervösen Elementartheile fest zu bestimmen, geschweige denn ihre Anordnung zu erkennen. Das, was Treviranus dafür nahm, die von ihm sogenannten Papillarkörper, wurde von späteren Forschern gar nicht als Nervensubstanz anerkannt, sondern vielmehr als eine, noch hinter der eigentlichen Nervensubstanz gelegene, aus Stäben bestehende Schicht der Netzhaut angesehen. Diese Stäbe sind an ihrer, der Choroidea zugewendeten, Fläche mit Pigment unkleidet. Vielleicht läfst sich schon der Nutzen dieser Stäbchenschicht ahnen. Die hinter der Retina ge-

legene Pigmentschicht saugt vielleicht nicht alle Strahlen ein, sondern reflectirt einzelne. Gewiss ist das bei Albinos und in Thieraugen der Fall, deren Pigment nicht tief schwarz ist. Denkt man sich die Pigmentschicht eben, glatt, so kehren die reflectirten Strahlen wieder zur Nervensubstanz zurück, berühren diese aber meist an einer andern Stelle als bei ihrem Einfallen. Dadurch könnte Verwirrung im Sehen herbeigeführt werden; dem beugt die Stäbchenschicht vor. Denn ein in einen Stab eingedrungener Lichtstrahl kann, wenn er auch auf dessen hinterer Oberfläche reflectirt wird, doch nicht nach der ersten und vielleicht zweiten Reflexion wieder zurück, er muß also mehrere Male auf die Pigmentschicht fallen, und seine vollständige Einsaugung von Seiten der letzteren wird dadurch begünstigt.

III. *Untersuchungen über die Elasticität und Cohäsion der Metalle; von Hrn. Wertheim.*

(*Compt. rend. T. XV p. 110.* — Vom Verf. gelieferter Auszug seiner Abhandlung.)

In einer großen Zahl von Untersuchungen, die über die mechanischen Eigenschaften der Körper unternommen worden sind, haben sich die Experimentatoren meistens darauf beschränkt, die von der Analyse im Voraus gegebenen Gesetze zu bestätigen oder die als Baumaterialie angewandten Substanzen zu untersuchen. Während man demnach einerseits die Gesetze der kleinen Formveränderungen und der Vibrationen als vollkommen bekannt ansehen kann, und andererseits das Eisen, den Stahl, die Hölzer und Steine mit Sorgfalt studirt hat, sind dagegen die mechanischen Eigenschaften der Körper überhaupt und die Gesetze der Verschiebungen ihrer Theilchen,