Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen.

Von

F. C. Donders.

Hierzu Tafel III.

Versuche über Augenbewegungen lassen sich derartig anstellen, dass man, vom Primärstand ausgehend, mit dem Blick einen gegebenen Punkt erreicht, womit der Bogen, welchen die Blicklinie beim Versuch durchlief, bekannt ist. Dann allerdings ist noch die Lage der Meridiane zu bestimmen. Dazu besitzen wir zwei Methoden: die der Nachbilder und die der Halbbilder. Die erste, wobei vor der Bewegung ein Nachbild entwickelt wird, lehrt uns die absolute Veränderung in der Lage der Meridiane für jedes Auge gesondert kennen, aber nicht mit grosser Genauigkeit. Die letzte, wobei Halbbilder des rechten und linken Auges parallel gestellt werden, zeigt uns nur die relative Veränderung zwischen den correspondirenden Meridianen der beiden Augen, diese aber mit grosser Genauigkeit an.

Bei seitlichen Bewegungen der beiden Blicklinien nach der nämlichen Seite sind parallele Aenderungen der Meridiane zu erwarten, welche allein durch die Methode der Nachbilder zu erkennen sind. Bei symmetrischer

Bewegung der Blicklinien kann man symmetrische Aenderungen (im entgegengesetzten Sinne für beide Augen) erwarten, und dabei scheint die Methode der Halbbilder allen Anforderungen zu genügen. Zur scharfen Bestimmung des Einflusses der symmetrischen Convergenz bei verschiedenen Neigungen der Blickebene wünschte ich diese Methode nun in Anwendung zu bringen.

Mein erstes Bemühen war, ein Instrument zusammenzustellen, um den relativen Stand der Meridiane schnell, sicher und genau zu bestimmen. Dies glückte mir vollständig. Aber nun ergab sich schon bei den ersten Versuchen, dass nicht bloss die Richtung der Blicklinien, sondern auch im Gesichtsfeld anwesende Gegenstände auf den Stand der Meridiane Einfluss ausüben. Bei unveränderter Convergenz und unveränderter Richtung der Blickebene sah ich die Richtung der Meridiane sich unter dem Einfluss der Netzhautbilder ändern. Dieser Einfluss musste nun in erster Linie untersucht werden. Die Untersuchung gewann an sich selbst schon eine grosse Ausdehnung. Sie musste, wie sogleich deutlich werden soll, zum Abschluss gebracht werden, bevor nach dem Einflusse der Bewegungen auf den Stand der Meridiane mit Gewinn geforscht werden konnte. Einige Punkte wurden nach meiner Anweisung schon durch Dr. van Moll bestimmt und in seiner Dissertation über die normale Incongruenz der Netzhäute, Utrecht 1874, (vgl. auch Untersuchungen aus dem physiolog. Laboratorium zu Utrecht. Dritte Reihe, III, p. 39) besprochen. So weit nothwendig, werde ich hier von seinen Resultaten Gebrauch machen.

Rollbewegung unter dem Zwang der Netzhautbilder ist nicht gänzlich unbekannt. Vor mehr als 25 Jahren stellte ich fest, dass wenn durch ein schwaches Prisma das Bild auf der einen Netzhaut nach innen und aussen oder selbst nach oben und unten verschoben wird, der

soziale Instinct der Augen, wie Tourtual es nannte, Bewegungen hervorruft, welche die Halbbilder auf correspondirende Punkte bringen. Durch eine Combination von zwei Prismen lässt sich das Bild für das eine Auge auch zur Seite neigen, und Helmholtz*) überzeugete sich, dass auch in diesem Falle das Auge die Abweichung durch Bewegung und zwar durch Rollbewegung zu corrigiren trachtet. Dasselbe hatte schon früher Nagel**) mit schief gedrehten stereoscopischen Bildern gefunden, und nach Wiederholung dieser Versuche von Nagel erkannte Hering***) an, was er früher Helmholtz gegenüber geleugnet hatte. Aber in jener Erscheinung sah man nur die Wirkung eines abnormen Dranges: ist das Auge im Stande, demselben zu gehorchen, so könnte dies, meinte Nagel†), schon darum nicht befremden, weil Rollbewegung, als associirt mit gewissen Bewegungen der Blicklinie, im Allgemeinen dem Auge nicht fremd ist. Ueberdem sollte allein die Stellung von horizontalen Halbbildern diesen Drang ausüben, während von verticalen nur Modificirung der stereoscopischen Vorstellung, nach den bekannten Gesetzen, ausgehen sollte. Quantitative Bestimmungen waren, wie später noch erhellen wird, nach der Methode von Nagel auch nicht möglich.

Bei meinen Untersuchungen traten die symmetrischen Rollbewegungen in ein gänzlich verschiedenes Licht. Es erhellte nämlich, dass sie der Funktion des Sehens unter den gewöhnlichen Bedingungen eigenthümlich sind, und dass die Augen sich in beständiger schwankender Bewegung befinden, in Verband mit dem unbewussten

*) Physiol. Optik, p. 476.

**) Das Sehen mit zwei Augen, 1861, p. 51.

***) Archiv f. Ophthalm. B. XV, 1, S. 1.

†) Archiv f. Ophthalm. B. XIV, 2, S. 228.

Streben, die correspondirenden Netzhautpunkte zur Vereinigung zu bringen.

Dies Ergebniss ist nicht ohne Bedeutung. Hierin liegt eingeschlossen, dass der mathematische Horopter, der von festen Gegebenen ausgeht, eine Fiction ist, und dass im stereoscopischen Sehen die Rollbewegung als Factor in Betracht kommt.

Noch aus einem anderen Gesichtspunkt sind diese Untersuchungen von Gewicht. Hering*) hatte bereits darauf hingewiesen, dass seine verticalen Meridiane im primären Stand nach oben divergiren, und es hat sich später herausgestellt, dass dies für alle Augen ohne Ausnahme gilt. Darf dies Incongruenz heissen? Keinesfalls! denn eine kleine Rollbewegung würde, sofern die Abweichung sich darauf beschränkte, die Correspondenz herstellen können, und Hering meinte wirklich, dass das Nachuntenrichten der Blickebene dazu ausreichend wäre. Aber nun fand Helmholtz**), dass der Winkel der scheinbar horizontalen Meridiane nicht dem der scheinbar verticalen gleich, und dass in Folge dessen durch keinerlei Rollbewegung das gleichzeitige Zusammenfallen der scheinbar verticalen und horizontalen Meridiane zu erzielen ist. Hierin besteht die wahre Incongruenz, deren Entdecker Helmholtz ist, und welche kurz nachher durch Volkman n ausführlich untersucht ward. Sie ist die Ursache, dass man ein Kreuz mit jedem Auge gesondert nicht genau rechtwinkelig stellt, was nicht nur für convergirende Blicklinien gilt (v. Recklinghausen***), sondern auch für parallele (Helmholtz, Volkman n)

*) Beiträge zur Physiologie, p. 175.

**) Jahrbücher d. med.-natur-hist. Vereins. Heidelberg, 8. Mai 1863.

***) v. Recklinghausen, A. f. O., B. V., 2, p. 133: „Eine Verziehung der Winkel liess sich nicht mehr beobachten, wenn f (der Abstand des Convergenzpunktes von der Mitte der Grundlinie) die Grösse von 250 Mm. überschritt.“

— und zwar mit entgegengesetzter Abweichung für rechtes und linkes Auge.

Mein Instrument nun, welches ich **Isoscop** nennen möchte, ermöglicht es, sowohl für ein Auge als für beide, den Stand der scheinbar verticalen und horizontalen Meridiane gesondert oder gleichzeitig, d. i. in ihrem wechselseitigen Einfluss auf einander, zu bestimmen und gleichzeitig die Aenderungen der Richtung, die sie erleiden, sei es unter dem Einfluss der Augenbewegungen, sei es unter dem der Netzhautbilder, nicht allein zu constatiren, sondern auch zu messen. Ich glaube nun der Untersuchung dieser Veränderungen einen hohen Werth beimessen zu dürfen.

Das Auge verräth uns mancherlei Asymmetrie. Dazu gehört auch die Incongruenz der Netzhäute. Es würde wenig Einsicht in das Entstehen des harmonischen Verbandes der Körpertheile verrathen, wenn man darin etwas Zufälliges oder Unvollkommenes sehen wollte. Jede Asymmetrie hat ohne Zweifel ihre Bedeutung. Aber eine Einsicht in die Bedeutung bekommen wir erst dann, wenn es glückt, auf den Grund ihrer Entstehung durchzudringen, und dazu finden wir den Schlüssel in den Verhältnissen, unter denen die Anomalie in dem Individuum sich modificirt. Dies ist der Gesichtspunkt, wovon ich bei diesen Untersuchungen ausgehe.

Ich werde mich im Folgenden beschäftigen: a) mit der Bestimmung der scheinbar verticalen Meridiane, b) mit der der horizontalen, c) mit der der scheinbar verticalen und horizontalen gleichzeitig, — um erst hierauf den Einfluss der Bewegung der Blicklinien zu untersuchen.

Zum Schlusse soll über den Ursprung der Incongruenz gehandelt werden.

I.

In erster Reihe spreche ich vom

Winkel V im Primärstande (gerade Kopfhaltung, horizontale Blickebene, parallele Gesichtslinien) und seinen Veränderungen unter dem Einflusse der Netzhautbilder.

a) Methode. Die Lage der scheinbar verticalen Meridiane wird gefunden, indem man die Bilder zweier Linien, deren eine mit dem rechten, die andere mit dem linken Auge gesehen wird, parallel und vertical stellt. Um parallel zu erscheinen, müssen die Linien dabei einen Winkel bilden: dies ist der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane V. Derselbe ist positiv, wenn, wie dies unter den gewöhnlichen Umständen des Sehens für alle Menschen gilt, die Meridiane nach oben divergiren. Um diesen Winkel zu bestimmen, gebrauchte Helmholtz anfänglich zwei Fäden, und zwar von verschiedener Farbe, weil diese dann weniger Neigung haben, sich stereoscopisch zu vereinigen. Später zog er es vor, ein schmales rothes Bändchen mit dem einen, einen blauen Faden mit dem anderen Auge, beide auf dunklem Hintergrund, zu betrachten und den Faden auf die Mitte des Bändchens zu projiciren. Anstatt zweier durchgehenden Fäden nebeneinander benutzte Volkmann auch wohl zwei Radian zweier runder Scheiben, welche um ihren Mittelpunkt drehbar waren und so gestellt wurden, dass die Radian einen Durchmesser bildeten — ein Princip, von welchem Hering schon für einen anderen Zweck Gebrauch gemacht hatte. Die Methode von Helmholtz wurde benutzt von Berthold und von Dobrowolski, welcher letztere zudem, auf den Rath von Helmholtz, bei verschiedenen Graden der Convergenz, die Drehscheiben von Volkmann mit einzelnen Radian bei der

Untersuchung sich in einem drehbaren Spiegelstereoscop spiegeln liess. Hering gebrauchte als Object für das eine Auge zwei schwarze Fäden, für das andere einen weissen, welcher sich dann mitten zwischen den zwei schwarzen zeigen musste.

Das Einstellen der Fäden wurde auf verschiedene Arten erzielt. Die Drehscheiben von Volkmann waren um den zu fixirenden Mittelpunkt beweglich und die Stellung der Radien konnte unmittelbar auf einer festen Gradeintheilung abgelesen werden, welche eine jede der Scheiben umgab. Helmholtz hängte zwei Fäden an Gewichten vor einer hölzernen Tafel auf, verschob die unteren Enden über Nadeln, bis die Fäden parallel erschienen, und steckte dann die Nadeln in die Tafel. Leichter wird wohl die Einstellung sein, wenn man mit Hering die Fäden in Klemmen befestigt, welche man längs Leisten verschieben kann. In beiden Fällen kann die Abweichung vom verticalen Stand dann gemessen werden.

Das Stellen sowohl als das Ablesen geschieht schnell, sicher und genau mit dem von mir construirten Instrumente, zu dessen Beschreibung ich nunmehr übergehe.

Das **Isoscop** besteht aus zwei Theilen:

I. Dem Rahmen-Apparat, in welchem die Fäden ausgespannt sind, die für die Untersuchungen gebraucht werden.

II. Einem Kopfhalter, nach dem Princip des von Hering eingerichtet, um die Wahrnehmungen bei einem bestimmten Stande des Kopfes zu machen.

Deutlichkeitshalber bilden wir sie gesondert ab (Taf. III, Fig. 1 und 2). Wie sie vereinigt sind, ist dann klar genug einzusehen.

Fig. 1 ist der Rahmenapparat. Zur Erklärung verweisen wir in erster Linie auf das Schema, hier im Holzschnitte aufgenommen.

Der Rahmenapparat besteht aus 1) einem rechtwinkligen festen Rahmen A, B, C, D, welcher an der oberen Seite eine unbewegliche Scale S von beinahe 60° trägt; 2) einem beweglichen Rahmen, dessen Leisten a, b, c, d durch die Schrauben 1, 2, 3, 4 beweglich verbunden sind,

Fig. 1*).

sodass es Rautenform annehmen kann (wie auf Fig. 1) wobei die horizontalen Leisten a, b, horizontal bleiben, die verticalen c, d, unter vollkommen gleichen Winkeln seitlich geneigt sind: diese letzten sind genau in ihrer Mitte gleichfalls durch Schrauben 5, 6, mit den correspondirenden Punkten des festen Rahmens beweglich verbunden. Eine der verticalen Leisten d des beweglichen Rahmens trägt eine Scale mit Nonius n, beweglich über der festen Scale und genau die Neigung der Leisten anzeigend, was in Zehnteln von Graden abgelesen, in Hundertsteln geschätzt werden kann. Gleiche Neigung erhalten die

*) In Fig. 1 muss statt U, U₁, U₂ gelesen werden v, v₁, v₂.

ursprünglich verticalen Fäden v' , v'' , während der im Rahmen ausgespannte Faden v seine verticale Richtung unverändert behält. Ist dieser von v' etwas weiter entfernt als die Knotenpunkte des rechten und linken Auges (also etwa 68 Mm.), dann sieht man, bei parallelen Blicklinien, die Halbbilder von v und v' nahe bei einander und kann sie durch Drehen des Rahmens mit der Hand an einem der unteren Enden 7 oder 8 der Leisten c oder d scheinbar parallel stellen: sie bilden dann in Wirklichkeit den Winkel V für scheinbar parallele (ungefähr verticale) Meridiane. — Noch genauer findet man V , wenn man dem festen Faden v eine richtig bestimmte Neigung gegeben hat, die ungefähr dem halben Winkel V gleichkommt, so dass bei der Einstellung v und v' ungefähr symmetrisch von der Verticalen abweichen.

Die Vortheile dieser Einrichtung springen in die Augen: die Einstellung geschieht schnell und sicher, die Neigung wird unmittelbar und genau abgelesen, und was vor Allem ein Vorzug ist, der bewegliche Faden dreht sich um einen Punkt, der in der Blickebene liegt: so drehen sich auch alle weiter im beweglichen Rahmen ausgespannten Fäden um Punkte der in der Blickebene gelegenen Linie, die die Schrauben 5 und 6 verbindet.

Auf der genaueren Abbildung, Tafel III, Fig. 1 sind A, B, C, D wieder der feste, a, b, c, d der bewegliche Rahmen und haben die Ziffern 1—8 auch die nämliche Bedeutung wie auf der schematischen Abbildung. Der feste Faden v ist oben an einem Messingstäbchen s , welches vom festen Rahmen ausgeht, unten dagegen an einer verschiebbaren Klemme k befestigt und kommt in dieselbe Ebene zu liegen wie der bewegliche Faden v' , der zwischen den Klemmen k k' ausgespannt ist. Von derartigen Klemmen kann eine grosse Zahl wie k'' , k''' etc. angebracht werden auf den Messingstäben a, b, welche auf den horizontalen Leisten des Rahmens befestigt sind. Die Klemmen dienen

einestheils dazu, für gewisse Versuche eine grössere Anzahl Fäden auszuspannen, anderntheils als Riegel für diejenigen Klemmen, zwischen denen ein Faden ausgespannt ist, sodass letztere, so oft man sie zeitweise aus dem Gesichtsfeld entfernen muss, schnell wieder auf den vorigen Platz zurückgebracht oder auch zwischen zwei Riegeln jeweilen nach Gutdünken verschoben werden können. — Um den Faden v vertical zu stellen, wird in einigem Abstand eine Lothlinie herunter gelassen und v dieser parallel gestellt, was man bis auf weniger als $0,02^\circ$ genau ausführen kann, indem man sich der Schraube x bedient und längs v visirt. Auf die nämliche Weise wird v' vertical gestellt, während bei Verticalstellung der Leisten c und d der Nonius auf 0° steht. Verlangt man nun v unter einen bestimmten Winkel zu stellen, z. B. 1° links geneigt, dann stellt man v' unter 1° , macht die Lothlinie über einem verschiebbaren Stift parallel damit und richtet dann v nach dieser.

Auf der Rückseite des festen Rahmens A, B, C, D ist ein zweiter beweglicher Rahmen angebracht, von welchem die verticalen Leisten c', d' sichtbar sind. Drehbar ist dieser zweite Rahmen mit seinen nicht sichtbaren Leisten a', b' und zwar auf dem Mittelpunkte der Horizontalen A, B , des festen Rahmens, so dass zugleich mit den Leisten die horizontal darin ausgespannten Fäden ihre Richtung ändern, welche Richtung mittels des Nonius n' auf der seitlich am festen Rahmen angebrachten Gradeintheilung S' abgelesen wird. Die horizontalen Fäden müssen ungefähr in dieselbe Ebene unmittelbar hinter die verticalen zu liegen kommen. Darum sind sie ausgespannt zwischen den über zwei Messingstäben c'', d'' , verschiebblichen Klemmen k, k , welche durch horizontale Arme w, w', w'', w''' an die Leisten c', d' befestigt sind und mit diesen gleiche Richtung haben. An den Enden der horizontalen Leisten dieses Rahmens, von denen eines (9) an der rechten

Seite sichtbar ist, wird der hintere bewegliche Rahmen mit der rechten Hand gestellt, während die linke den vorderen Rahmen bei 7 bewegt.

Um dem Faden, während der Nonius auf 0° steht, eine wirklich horizontale Richtung zu geben, wird er verglichen mit einem auf gewissem Abstand in der Blick-ebene horizontal ausgespannten Faden. Die Lage dieses letzteren wird erhalten durch Einstellung längs des Niveaus von zwei mit Quecksilber gefüllten Glasröhrchen, die durch ein dünnes Kautschuk-Röhrchen mit einander in Verbindung stehen. Der horizontale Faden kann dazu dienen, um mit einem der verticalen Fäden ein Kreuz für das Auge einzustellen, wobei die Abweichung der beiden Fäden unmittelbar abgelesen werden kann. — Auf welche Weise horizontale Fäden zur Bestimmung des Winkels der scheinbar horizontalen Meridiane verwendet werden, soll später, wenn von diesem Winkel die Rede sein wird, beschrieben werden.

Es ist unumgänglich, dass der Kopf sich zu allen Zeiten in einer bestimmten Haltung dem Rahmen gegenüber befinde. Darum ist der Rahmen mit einem Kopfhalter in Verbindung gebracht, welcher, einmal gestellt, die Möglichkeit gewährt, die Versuche stets bei gleichem Stande zu wiederholen. Dieser Kopfhalter, in der Hauptsache mit dem von Hering übereinstimmend, ist als Fig. 2 auf Taf. III abgebildet. M ist das Mundstück, drehbar um, sowie links und rechts verschieblich auf der Messingstange s. Diese Stange ist in zwei Hülsen b b befestigt, welche nach vorn und hinten über einen horizontalen Stab s' mit Schraubengewinde verschoben und durch zwei Muttern in jedem Stande auf s s' festgestellt werden können. Der horizontale Arm s' s' biegt sich um in den verticalen s'' s'', der in den Hülsen b' und b' verschieblich ist. Endlich sind diese Hülsen drehbar um die Axe a a'. Danach also kann das Mundstück sich drehen

um eine horizontale Axe, ist nach links und rechts zu verschieben auf dieser Axe, kann mit der Axe nach vorn und hinten gehen auf $s's'$, kann in $b'b'$ gehoben und gesenkt werden und sich endlich um die Axe aa' drehen. Diese Axe geht durch zwei hölzerne Arme AA , unter einander verbunden durch ein gebogenes horizontales Mittelstück B , von dessen Mitte die Stange S ausgeht, welche mittels Klemmschrauben am Tische T befestigt ist.

Das Mundstück M , worin die Zähne abgedrückt sind, wird nun so eingestellt, dass die Grundlinie, welche die Drehpunkte der Augen verbindet, genau zusammenfällt mit der Axe aa' . Um diesen Stand zu erreichen, wird auf 1 Meter Abstand vom Kopfhalter ein kleiner Spiegel (Fig. 2) angebracht, über welchen ein horizontaler

Fig. 2.

Faden $h h'$ läuft, der mit der Axe aa' in der nämlichen Horizontalebene liegt. Der Spiegel steht senkrecht und ist parallel aa' , wenn man, längs b_1' (Taf. III, Fig. 2) visirend, b_2' sich in i spiegeln sieht, und umgekehrt b_2' beim Visiren längs b_1' . Ueber den Spiegel sind noch zwei verticale Fäden $v_1 v_2$ ausgespannt, auf dem gegenseitigen Abstand der parallelen Blicklinien = 65 Mm. Nun wird der Mundhalter so um die Stange gedreht,

und nach links oder rechts geschoben, dass bei aufrecht stehendem Kopfe die Pupille des rechten Auges sich in r , die des linken Auges in l spiegelt. Ferner wird der Mundhalter so viel nach vorn oder nach hinten geschoben, dass sich die Augen beim Drehen des gesammten Bügels um die Axe $a\ a'$ fortwährend in denselben Punkten r und l spiegeln. Um nun endlich den Kopf genau in den primären Stand zu bringen, wird das Spiegelchen entfernt und an Stelle desselben ein Bändchen vertical vor einem grossen verticalen Schirm aufgehängt, welcher parallel mit $a\ a'$ ist, über welchen eine horizontale Linie in der nämlichen Horizontalebene mit $a\ a'$ gezogen ist, und vor welchem an der linken wie an der rechten Seite mit einem Gewicht gespannte Fäden vertical herabhängen. Man fixire nun, bei im Mundhalter feststehenden Kopfe, mit jedem Auge besonders oder mit beiden gleichzeitig das rothe Band in der Höhe der horizontalen Linie und projicire die Nachbilder abwechselnd links und rechts in die Nähe der verticalen Fäden. Schnell findet man dann durch Drehung des Bügels um die Axe $a\ a'$ den Stand, wobei die Nachbilder vertical bleiben. In diesem Stand wird nun durch Drehung an den Muttern $m\ m$ die Axe $a\ a'$ festgestellt, und dann erst wird der Zeiger i , der mit starker Reibung um die Axe $a\ a'$ befestigt ist, auf dem Gradbogen, der an der Aussenseite von A' befestigt ist, auf 0° gestellt. So beobachtet man im primären Stand mit horizontaler Blickebene. Dreht man den Bügel um die Axe $a\ a'$, dann behalten die horizontalen Blicklinien ihren Platz im Raume; der Kopf dreht sich um die Augen, und die horizontale Blickebene ist dann als gehoben oder gesenkt zu vermerken, um so viele Grade als der Zeiger anzeigt.

Die Axe $a\ a'$ geht durch in die verticalen Leisten des grossen festen Rahmens $R\ R\ R$, welcher unbeweglich auf dem Tische festgeschraubt ist, und um die nämliche

Axe drehen sich zwei kräftige Eisenstäbe, mit deren hinteren Armen P P der ganze Rahmen des Isoscops durch P' P' (s. Taf. III, Fig. 1) verbunden ist und im Gleichgewicht gehalten wird durch die verschiebbaren, an den vorderen Armen V V angebrachten Gewichte Q Q. Bei jeder Stellung wird nun überdies durch die Muttern m' m' alle Bewegung verhindert. Ein Gradbogen G zeigt dabei die Stellung an, die man den Armen V P und damit dem Rahmenapparat gegeben hat. An der linken Aussenseite trägt dieser Gradbogen seine Theilung, über welche ein am Arme V P befestigter Zeiger läuft. Im horizontalen Stand dieser Arme, wobei der Rahmenapparat vertical steht, wird der Zeiger auf 0° gestellt. Man kann nun die Arme und damit den Rahmen um die Axe a a' drehen und dadurch die Blickebene, welche durch die Mitte der Fäden geht, nach oben oder unten richten, während der Kopf unbeweglich bleibt. Für mässige Neigung der Blickebene wird von dieser Bewegung ausschliesslich Gebrauch gemacht: sie ist aber zu gering, um die Blickebene stark nach unten zu richten und sie wird darum für die äusserste Neigung combinirt mit einer Drehung des Bügels und des Mundstücks, wobei sich der Kopf nach hinten neigt.

Es erübrigt nur zu bemerken, dass unmittelbar hinter den Fäden eine matte Glasplatte als Hintergrund eingeschoben werden kann, oder auch ein Rechteck von Pappe mit drehbaren stereoscopischen Tafeln: beide folgen dann jeder Veränderung der Neigung des Rahmenapparates. Auf dem Tische hinter dem Rahmen steht ein verschiebbarer Schirm und können allerlei Gegenstände Platz finden.

Wie aus der Beschreibung hervorgegangen sein wird, ist das Isoscop eingerichtet, um den Winkel der scheinbar verticalen und den der scheinbar horizontalen (freilich

auch anderer) Meridiane gesondert und gleichzeitig, das ist in ihrem gegenseitigen Einfluss auf einander zu bestimmen, und zwar bei jeder Neigung der Blickebene und jeder Convergenz der Blicklinien, sei es symmetrischer oder (beim Gebrauch zur Seite ausgespannter Fäden) asymmetrischer, sowie um dabei den Einfluss von Linien und Objecten von allerlei Richtung, die in das Gesichtsfeld fallen, zu verfolgen.

Ich experimentirte bei einem gegenseitigen Abstand der Fäden von 68.5 Mm. und liess sie sich beim Einstellen bis auf 4 Mm. einander nähern; demnach waren meine Blicklinien parallel. Je nachdem man es vorzieht, kann man die Fadencombinationen von Helmholtz oder Hering (s. oben S. 105 ff.) gebrauchen.

Die Bestimmungen konnten schnell und genau geschehen. Ohne Hast kann man sechs bis sieben Bestimmungen in einer Minute machen, wenn ein Anderer abliest und aufzeichnet: man stellt ein, klopft, sowie man fertig ist, es wird abgelesen, aufgeschrieben und beim Worte **fertig!** schiebt die Hand, welche auf ihrem Platze blieb, den Rahmen zur Seite, worauf die inzwischen abgewendeten Augen sich wieder richten und die Fäden auf's Neue eingestellt werden. Liest man selbst ab, was nur für einzelne Versuche erlaubt ist, dann muss man nach jeder Einstellung das Mundstück loslassen, um gerade gegenüber die Scale abzulesen.

b) Beobachtungen. Bei der Leichtigkeit der Beobachtungen wurden diese so zahlreich wiederholt, bis über den in Frage stehenden Punkt volle Sicherheit erzielt war; es ist überflüssig, hier sämtliche mitzutheilen, aber ich glaubte doch bei der Aufnahme der Resultate nicht karg sein zu müssen.

Die Ablesung in Graden und Decimalen von Graden gewährt bei der Berechnung der Mittelzahlen eine grosse

Erleichterung gegenüber der in Minuten und Sekunden. Eine gewöhnliche Reihe umfasst 10 Bestimmungen, von denen man nur die Werthe zu addiren hat, um das Mittel zu finden. Die Reihen werden in römischen, die einzelnen Bestimmungen in gewöhnlichen Ziffern angegeben. Besteht eine Reihe aus mehr oder weniger als 10 Bestimmungen, so ist diese Anzahl hinter der römischen Ziffer in gewöhnlichen Ziffern beigelegt. Der wahrscheinliche Fehler (r für eine Beobachtung, R für eine Reihe von 10 Beobachtungen) ist klein genug. Um ihn zu finden, muss man Reihen benutzen, deren Bestimmungen auf gleiche Weise und in gleichen Zwischenräumen gemacht sind. Dies gilt von den untenstehenden Reihen, alle an verschiedenen Tagen erhalten, aber jede die erste Reihe des betreffenden Tages: sie lehren also ferner **meinen normalen Mittelwerth** von V kennen, bei parallelen Blicklinien im primären Stand.

1. Winkel der congruenten verticalen Meridiane

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	3 ^o .32	3.	3.22	3.5	3.12	3.5	3
	3 ^o .32	3.6	3.19	3.6	3.03	3.7	3.05
	3 ^o .35	3.3	3.30	3.7	3.18	3.5	3.05
	3 ^o .51	3.3	3.33	3.55	3.27	3.5	3.2
	3 ^o .35	3.1	3.30	3.45	3.28	3.3	3.15
	3 ^o .24	3.1	3.29	3.5	3.18	3.35	3
	3 ^o .50	3.3	3.48	3.7	3.14	3.43	3.05
	3 ^o .06	3.5	3.30	3.7	3.24	3.3	3.1
	3 ^o .05	3.3	3.33	3.45	3.15	3.46	3.2
	3 ^o .32	3.2	3.19	3.4	3.02	3.45	3.15
Mittel	3 ^o .302	3 ^o .27	3 ^o .293	3 ^o .555	3 ^o .161	3 ^o .449	3 ^o .095
r =	0 ^o .1040	0 ^o .1228	0 ^o .0570	0 ^o .0776	0 ^o .060	0 ^o .0796	0 ^o .0512
R =	0 ^o .0329	0 ^o .0388	0 ^o .0180	0 ^o .0245	0 ^o .019	0 ^o .0251	0 ^o .0162

2. Die ersten Reihen, des Morgens genommen, ergeben für dieselbe Person ziemlich constante Werthe.

Für mich selbst fand ich den Mittelwerth für $V = 3^{\circ}.304$, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $0^{\circ}.1066$ für jeden Tag.

Für verschiedene Personen gehen dagegen die Werthe sehr auseinander. van Moll fand bei sich selbst $V = 0^{\circ}9$, bei 26 Anderen (wovon 19 hier untersucht) als Minimum $0^{\circ}.093$, als Maximum $2^{\circ}.6$. Dieses Maximum bleibt noch unter der bei mir gefundenen Ziffer von $3^{\circ}.304$: insofern ein grosser Werth grosse Schwankungen erwarten lässt, liegt darin ein günstiger Umstand für die Untersuchung. Dass bei allen Personen V positiv ist, m. a. W. dass die scheinbar verticalen Meridiane bei einem Jeden nach oben divergiren, ist eine Thatsache von grosser Bedeutung.

Für die Versuche von Dr. van Moll wurde ein einfacherer Apparat gebraucht als der oben beschriebene, übrigens nach demselben Principe wirkend; er war dazu bestimmt, bei verschiedenen Personen V zu bestimmen, und weil Ungeübte häufig Mühe haben, ihre Gesichtslinien parallel zu stellen, so liessen wir auf einem circa 100 Meter entfernten blinden Hausgiebel eine schwarze Tafel von 40 Cm. Durchmesser, genau im Kreuzungspunkt der Horizontalebene und der Medianebene, anbringen. Man hatte nun nur die genannte Platte zu fixiren, um die Halbbilder der Fäden nahe bei einander zu sehen, und das Parallelstellen gewährte sonach keine Schwierigkeit.

3. Bald zeigte sich, dass in einigen Reihen von Versuchen, unmittelbar nach einander angestellt, die Werthe von V allmählig stiegen,

So fand ich, des Morgens beginnend, als Mittel der vier ersten Reihen:

$3^{\circ}.21$; $3^{\circ}.26$; $3^{\circ}.51$; $3^{\circ}.58$.

Später stiegen sie auf:

$3^{\circ}.9$; $4^{\circ}.22$; $4^{\circ}.14$.

Bei einer gewissen Pause zwischen jeder Bestimmung nahmen die Werthe wieder ab:

 Pausen von: 15'' 30'' 1' 1' 5'
 Mittel: 3°.94; 4°.08; 3°.63; 3°.46; 3°.35.

Darauf wurden die Bestimmungen ohne Pause wieder aufgenommen und für vier Reihen gefunden:

 3°.57; 3°.83; 3°.65; 3°.78.

Nach einer Pause von einigen Minuten begannen sie wieder etwas niedriger, aber stiegen noch höher:

 3°.64; 3°.62; 3°.93; 4°.13.

Des Nachmittags erhielt ich in sieben Reihen:

 3°.37; 3°.45; 3°.44; 3°.76; 3°.9; 4°; 4°.12.

Von dreizehn Reihen, des Morgens angestellt, ergaben die erste 3°.29, die letzte 4°.02.

Dreizehn Reihen des Abends, alle in einundzwanzig Minuten erhalten, ergaben:

 3°.91; 4°.19; 4°.25; 4°.28; 4°.21; 4°.29; 4°.22; 4°.25; 4°.35;
 4°.57; 4°.55; 4°.54; 4°.46; 4°.66.

Auch bei den Versuchen mit convergirenden Blicklinien ward die Steigerung gefunden:

 3°.17; 3°.33; 3°.52; 3°.51*).

In vier doppelten Reihen, abwechselnd mit horizontaler und mit 40° nach unten gerichteter Blickebene angestellt, zeigte sich für die beiden Kategorien regelmässige Steigung:

I.	3°.19.	2°.60.
II.	3°.44.	2°.72.
III.	3°.47.	2°.78.
IV.	3°.65.	2°.83.

Die Steigung bei fortgesetzten Bestimmungen beträgt bei mir ungefähr 1 Grad. Sie scheint kaum geringer, wenn zum Anfang schon höhere Werthe erhalten worden waren. Dr. van Moll, bei dem V nur 0,9 beträgt, findet auch die Steigung, von welcher hier die

*) Die Convergenz erfordert eine Reduction der abgelesenen Grade, welche für die hier mitgetheilten Zahlen nicht ausgeführt ist.

Rede ist, viel geringer, aber doch unverkennbar. Von zwölf Reihen, mit einer halben Minute Ruhe zwischen jeder Reihe, ergaben die erste $0^{\circ}.85$, die letzte $1^{\circ}.29$; von 6 Reihen, ohne Zwischenpausen genommen, die erste $0^{\circ}.815$, die letzte $1^{\circ}.065$, von zwanzig Reihen die erste $0^{\circ}.85$, die letzte $1^{\circ}.07$, womit in diesem Fall die Steigung ihr Maximum erreicht zu haben schien.

Man wird bemerkt haben, dass die gestiegenen Werthe wieder fallen, wenn man zwischen jeder Bestimmung eine Pause macht. Beginnt man mit Pausen von einer halben bis einer Minute für jede Bestimmung, dann kann die Steigung auch ganz ausbleiben. So fanden wir in vier Reihen von je 10 Bestimmungen:

$3^{\circ}.17$; $3^{\circ}.18$; $3^{\circ}.14$; $3^{\circ}.19$.

Ein gleiches Resultat erhielt Dr. van Moll bei Zwischenpausen von 2 Minuten.

4. Auch mit der Zeit, die man der Einstellung widmet, steigt der Werth von V. In der Regel sind zwei Secunden ausreichend, um die Halbbilder parallel zu stellen. An diese Zeit muss man sich halten, um wahre und vergleichbare Winkel zu finden. Während des Einstellens, wobei die Halbbilder auch hier und da zusammenfallen, wird V grösser und grösser. Eine einzige hohe Ziffer in einer Reihe ist in der Regel dem zuzuschreiben, dass die richtige Einstellung nicht so augenblicklich glückte.

In drei Reihen von 10 Bestimmungen, mit einer Bestimmung per Minute, erhielt ich:

- I. bei rascher Einstellung . . . $3^{\circ}.16$
- II. bei Einstellung von 1 Min. . . $3^{\circ}.74$
- III. bei rascher Einstellung . . . $3^{\circ}.39$

die drei Reihen alle mit sehr kleinem wahrscheinlichen Fehler. In III ist die Nachwirkung von II noch zu spüren.

Sorgt man dafür, dass die Halbbilder auf genügendem Abstand bleiben, um keine Neigung zum Verschmelzen

zu verrathen, dann kann auch bei längerer Einstellung die Steigung grösstentheils ausbleiben:

- I. schnell, ohne Pausen 3^o.17
- II. Einstellung 1 Min. ohne Verschmelzen . . 3^o.19
- III. schnell, ohne Pausen 3^o.38
- IV. schnell, ohne Pausen 3^o.48

Hier also nur die gewöhnliche Steigung

- V. (4) eine halbe Min. Verschmelzen . . . 3^o.73
- VI. (5) schnell, ohne Pausen 3^o.53
- VII. (4) 1 Min. Verschmelzen 4^o.18
- VIII. schnell, ohne Pausen 3^o.52

5. In Obigem lag genügender Beweis dafür, die Ursache der Steigerung in der Neigung der Fäden zu suchen. **Der Einfluss dieser Neigung wurde darum näher untersucht.**

0^o bedeutet parallele Fäden;

+ nach oben divergente;

— nach oben convergente.

Die Resultate entsprechen der Erwartung:

- I. (7) schnell, ohne Pausen 3^o.12
- II. 0^o, eine Minute fixirt 2^o.88
- III. (3) gewöhnliche, lange eingestellt . . . 3^o.57
- IV. (2) + 6^o und + 8^o, 1 Minute fixirt . . 4^o.85
- V. (2) 0^o, eine Minute fixirt 3^o.2

Bei einer anderen Gelegenheit fand ich:

- I. (20) schnell, ohne Pausen 3^o.28
- II. + 5^o, eine Min. fixirt 4^o
- III. (2) 0^o, eine Min. fixirt 3^o.27
- IV. (10) je abwechselnd + 3^o 3^o.68
und 0^o eine Min. fixirt 3^o.28.

Eine andere Gruppe von Bestimmungen gab die folgenden Resultate:

- I. (10) gewöhnliche, schnell nach einander . . 3^o.56
- II. (10) Fäden auf 0^o, eine Minute fixirt . . 3^o.08
- III. (10) Fäden auf — 1^o, eine Minute fixirt . . 3^o.05
- IV. (10) Fäden auf — 2^o, eine Minute fixirt . . 3^o.1
- V. (10) nach Pause, gewöhnliche 3^o.06

- VI. (17) Fäden auf $+ 3^0$, eine Minute fixirt . . $3^0.91$
 VII. (3) Fäden auf $+ 5^0$, eine Minute fixirt . . $4^0.57$
 VIII. (1) Fäden auf $+ 6^0$, eine Minute fixirt . . $4^0.5$.

6. Sind durch die Mitte des Rahmens feste horizontale Fäden ausgespannt, dann bleibt die Steigung von V durch fortgesetzte Bestimmungen oder langes Einstellen fast ganz aus, und wird eine bereits entstandene Steigung reducirt.

Das Erste erhellt aus den folgenden Mittelzahlen von neun Reihen aus 10 Bestimmungen:

$3^0.21$; $3^0.12$; $3^0.07$; $3^0.04$; $3^0.18$; $3^0.14$; $3^0.28$; $3^0.10$; $3^0.09$;
 $3^0.20$; $3^0.02$; $3^0.21$.

Sobald die Horizontalen entfernt wurden, gaben vier Reihen von 5 Bestimmungen:

$3^0.5$; $3^0.99$; $4^0.05$; $4^0.19$.

Und die Wiedereinlegung der Horizontalen drückte die Mittelzahlen auf $3^0.76$; $3^0.49$; $3^0.14$ herab. — Damit ist auch das Zweite bewiesen.

Bei einer anderen Gelegenheit stiegen die gewöhnlichen Reihen auf

$3^0.65$; $3^0.75$; $4^0.12$; $4^0.15$.

Nach Einspannen horizontaler Fäden, unmittelbares Sinken auf

$3^0.58$; $3^0.33$; $3^0.31$; $3^0.24$;

nach Abwendung des Blicks in der Pause erneutes Steigen bis zum Mittel $3^0.56$, und unter bleibender Fixation Sinken auf $3^0.36$. Nach Wegnahme der Fäden: $3^0.93$; $4^0.19$; nach Wiedereinlegen $3^0.65$; $3^0.38$.

Die Wirkung ist schlagend. Die Reduction verräth sich unmittelbar, weicht aber sichtlich schnell wieder, nachdem die horizontalen Fäden weggenommen sind.

In einer anderen Gruppe ward $3^0.59$ durch das Einlegen zweier horizontaler Fäden reducirt auf $3^0.32$; $3^0.26$; bei langer Einstellung auf $3^0.09$; $3^0.07$; und bei Wegnahme der horizontalen Fäden folgte eine Steigung auf $3^0.63$; $3^0.81$, um beim Wiederanbringen zu sinken auf $3^0.49$; $3^0.38$: alle diese Ziffern sind Mittelwerthe aus 5 Bestimmungen.

7. Aus Vorstehendem geht hervor, dass der Winkel der congruenten Meridiane bei parallelen Blicklinien sich nach der Neigung der Halbbilder von zwei Fäden richtet. Dasselbe findet statt, **wenn die Blicklinien convergiren**. Die verticalen Fäden werden auf eine gegen- seitige Entfernung von 44 Mm. im Rahmen ausgespannt. Wenn man gleichseitige Halbbilder nahe aneinander bringt, erhält man eine Convergenz auf 75 Centimeter.

In vier Reihen wurde V gefunden:

I. (ohne Reduction für die Convergenz)

$3^{\circ}.17$; $3^{\circ}.32$; $3^{\circ}.52$; $3^{\circ}.51$.

Später nach verschiedenen Versuchen: zwei Reihen (beide von 4) $4^{\circ}.6$; nach dem Fixiren auf $+7^{\circ}$ und $+8^{\circ}$, $5^{\circ}.13$; nach Fixation auf 10° , wobei die vereinigten Halbbilder eine starke Neigung verriethen, $5^{\circ}.88$.

In fünf Reihen, jede von 5 gewöhnlichen Bestimmungen sank V nun wieder sehr regelmässig auf

$5^{\circ}.53$; $5^{\circ}.37$; $5^{\circ}.05$; $5^{\circ}.02$; 5° .

Einige Minuten später erhielt ich $5^{\circ}.17$. Eine Minute langes Fixiren der unter 0° stehenden Fäden brachte augenblickliches Sinken auf $3^{\circ}.96$, weiterhin Fixation unter -5° und -3° noch tiefer bis $3^{\circ}.75$ und Fixation unter $+10^{\circ}$ unmittelbar wieder Steigen bis $5^{\circ}.3$ hervor.

8. Verändert sich V auch bei Convergenz je nach der Neigung der Halbbilder, dann muss man annehmen, dass V sich ebenso nach der Neigung eines fixirten Gegenstandes richten wird.

a) Im Rahmen wird ein Stäbchen nacheinander a) hinten- übergeneigt, b) aufrecht oder vornübergeneigt angebracht. Gleichzeitig mit der Fixation des Stäbchens konnten auch die Fäden scheinbar vertical gestellt werden.

In der Weise erhielt ich:

a) 1. hintenüber . . .	$4^{\circ}.03$	b) 2. aufrecht . . .	$2^{\circ}.0$
4. „ . . .	$4^{\circ}.2$	3. vornüber . . .	$3^{\circ}.2$
5. stark hintenüber	$4^{\circ}.5$	6. „ . . .	$4^{\circ}.17$
8. „ „	$4^{\circ}.47$	7. aufrecht . . .	$3^{\circ}.69$
10. eine Minute fixirt	$4^{\circ}.98$	9. „ . . .	$3^{\circ}.59$
a) Mittel	$4^{\circ}.38$	b) Mittel	$3^{\circ}.66$

Zwischen vornübergeneigtem und aufrechtem Stande kein merkbarer Unterschied.

Stärker noch war die Wirkung von:

β) einem vierkantigen Rahmen R, 50 Centimeter hoch, 60 Centimeter breit, worin 40 schwarze Bänder, jedes 4 Mm. breit mit Zwischenräumen von beinahe 1 Ctm., parallel zu einander, ausgespannt waren. Dieser Rahmen ist drehbar um eine horizontale Axe, parallel zur Axe aa' des Kopfhalters und in derselben Horizontalebene gelegen. Er ward auf 30 Centimeter hinter den Fäden des Isoscops, also 60 Centimeter vom Auge aufgestellt. Mit parallelen Blicklinien sah jedes Auge andere Bänder, aber die Bilder fielen aufeinander.

Zwischen den schwarzen Bändern wurden die Halbbilder der rothen Fäden gesehen und parallel gestellt.

I. Bevor R angebracht	= 3°.53
II. R vertical, Blicklinien parallel	= 2°.21
III. R vertical, nach binocularer Fixation auf R	= 3°
IV. R bedeckt 3.1; 3.2; 3.35; 3.5; 3.3; 3.4	= 3°.30
V. gerade wie III	= 3°
VI. R 65° hintenüber, fixirt, darnach V	= 4°.05
80° " " "	= 4°.3
VII. Gewöhnliche Bestimmungen, Schirm vor R	= 3°.69
VIII. id. zwei horizontale Fäden durch den Rahmen gespannt	= 3°.48

Man sieht, dass das Sehen der verticalen Bänder V reducirt, stärker bei parallelen Blicklinien, als beim Fixiren mit Convergenz; freilich, in diesem letzten Falle konnte das Einstellen der rothen Fäden nicht gleichzeitig geschehen und die Wirkung konnte theilweise verschwinden, bevor bei parallelen Blicklinien die Einstellung vollzogen war. Man sieht ferner, wie das Fixiren von R bei hintenübergeneigter Lage V merklich steigen macht und wie die Steigung erst langsam verschwindet.

Anmerkung. Ist der Rahmen mit schwarzen Bändern nach hinten geneigt, dann erscheint die Neigung bei gewöhnlicher binocularer Fixation (mit der dazu erforderlichen Convergenz) viel stärker als bei parallelen Gesichtslinien, wobei die Halbbilder von verschiedenen Fäden verschmelzen.

Um bei Fixation der schwarzen Bänder gleichzeitig die rothen Fäden einstellen zu können, werden diese im Isoscop auf 36 Mm. einander genähert: beim Fixiren der Bänder, welche auf 60 Ctm. vom Auge stehen, zeigen sich nun die Fäden 6 Mm. von einander, wobei sie genau eingestellt werden können. Offenbar beeinträchtigen die fixirten schwarzen Bänder die bleibende Wahrnehmung der rothen Halbbilder in ihren Zwischenräumen. Manchmal verschwindet der eine, nicht selten beide zugleich. Die Wahrnehmung macht so einige Schwierigkeit. Dadurch, dass man die oberste oder unterste Hälfte der Bänder mit einem kleinen Schirm bedeckt, werden die Halbbilder auf dem Schirm beständig genug; aber der Einfluss der Bänder auf den Stand der Meridiane ergibt sich nun als minder gross:

I. R, auf 60 Ctm. vertical	0° 95
II. An Stelle von R, ein Schirm auf 60 Ctm.	2° 27
III. Gerade wie II (4 Stunden später)	2° 22
IV. Schirm auf 95 Ctm.	3° 3
V. Schirm wieder auf 60 Ctm.	2° 25
VI. R vertical auf 60 Ctm.	0° 4
Unterhälfte von R bedeckt	1° 2
Oberhälfte „ „	1°
Wieder unbedeckt	0° 5

In diesen Versuchen blieb die Convergenz gleich und bestimmt durch den Abstand, in welchen die Halbbilder der 38 Mm. von einander stehenden Fäden gebracht wurden.

Werden, beim Gebrauch einer stärkeren Convexbrille, die Bänder nur diffus, die rothen Fäden scharf gesehen, dann wurde der Einfluss des Bänderrahmens abgeschwächt.

9. Wenn man abwechselnd eine Zeit lang eine verticale und eine stark nach hinten geneigte Druckseite liest,

so ergeben die respectiven Reihen von V, die man unmittelbar nachher erhält, fast keine Verschiedenheit. Dagegen ist vom Lesen einer unmittelbar hinter dem Rahmen angebrachten, abwechselnd vertical gestellten (oder selbst vornübergeneigten) und hintenübergeneigten Druckseite einige Wirkung zu merken.

So fand ich:

Druckseite vertical	hintenüber geneigt
1. 3°40	2. 3°66
4. 3°75	3. 3°95
3°58	3°81.

Eine Reihe gewöhnlicher Bestimmungen, schnell nacheinander, ergab hierauf 3°31.

Nun wurde wieder gelesen mit Druckseite:

1. aufrecht . . .	2°85	2. 45° hintenüber .	3°13
3. vornüber . . .	3°36	4. 60° „ .	3°2
5. „ . . .	2°98	6. 70° „ .	3°78
7. „ . . .	3°49		
Mittel	3°17	Mittel	3°37

Bei einer andern Gelegenheit ergab sich:

Druckseite aufrecht	hintenüberliegend
I. (3.) 3°5	II. (5.) 3°98
II. (2.) 3°48	IX. (2.) 3°9
V. (2.) 3°58	VI. (2.) 4°17
VII. (2.) 3°7	VIII. (3.) 3°93
XI. (1.) 3°6	
Mittel 3°55	Mittel 3°99.

In diesen Reihen ist die Wirkung sehr regelmässig. Dass sie nur gering ist, findet seine Erklärung in dem dominirenden Einfluss der horizontalen Linien, die sich stärker geltend machen als die verticalen Grenzen der Druckseiten und ihrer gedruckten Theile und der unvollkommen correspondirenden aufrechten Buchstabenstreifen.

10. Im Vorstehenden finden wir bereits zahlreiche Angaben hinsichtlich des Verschwindens der erhaltenen Wirkungen.

Das Wichtigste darüber fassen wir hier in folgenden Zeilen zusammen:

1. Negative Wirkungen (Verminderung von V) verschwinden schneller als positive.

2. Ein kurzer Einfluss kann kräftig wirken; aber die Wirkung verschwindet dann bald, erst schnell, dann langsamer.

3. Nach langer Einwirkung des Einflusses halten auch die Wirkungen sehr lange an und kehren unter demselben Einfluss leicht wieder, wenn sie beinahe verschwunden waren.

4. Die Wirkungen sind am folgenden Tag noch nicht geschwunden. In einer Periode, worin man sich viel mit Versuchen beschäftigt, die einen positiven Effect haben, kann V Tage lang continuirlich ansteigen.

5. Eine anhaltende positive Wirkung kann durch einen kurzen negativen Einfluss aufgehoben werden, kehrt aber zurück, um sich auf gewöhnliche Weise langsam zu verlieren. Wir finden hierin eine Analogie mit der Wirkung von Calabar bei Atropin-Mydriasis und mit Reizung der acceleratores bei verzögerten Herzcontractionen unter Vagas-Reizung (Ludwig).

6. Gleichseitige parallele Rollbewegungen durch Neigung des Kopfes nach der Schulter, und vorübergehende starke Convergenz üben keinen Einfluss auf den Verlauf der erhaltenen Wirkungen.

7. Jeder Einfluss offenbart übrigens seine Wirkung auf gleiche Weise, sowohl des Morgens bei kleineren als des Abends (nach vielen ausgeführten Versuchen) bei grösseren Werthen von V. Zum Beweise hierfür mögen die zwei nachfolgenden Gruppen von Versuchen dienen, die überdies geeignet sind, verschiedene Wirkungen noch anschaulicher zu machen.

Gegenseitiger Abstand der Fäden = 72 Mm. Parallele Blicklinien.

A. 22. März, Abends 8½ Uhr. B. 23. März, Morgens 10 Uhr.

Des Morgens viele Bestimmungen, wodurch V von 3°.37 auf 4°.29 gestiegen war. Ein wenig gelesen und geschrieben.

a) Drei Reihen von 10 Bestimmungen mit einer kurzen Pause zwischen jeder Reihe:

3°.88; 4°.02; 3°.99. 3°.46; 3°.44; 3°.34.

b) Jedesmal die Fäden auf + 8° einige Minuten fixirt: starke Steigung

5°; 5°.45; 5°.25 = 5°.23 4°.25; 3°.85; 4° = 4°.03.

Je ein paar Minuten auf + 10°

6°; 5°.35; 5°.5; 6°.35 = 5°.8 4°.3; 4°.3; 4°.6; 5° = 4°.55.

c) Gewöhnliche Reihen, gerade so wie I

5°.24; 5°.25; 5°.23; 5°.21; 5°.29 4°.27; 4°.08; 4°.24; 4°.27; 4°.23.

Nach einer Minute Ruhe:

5°.19 4°.20.

d) Die Fäden auf 0°, eine Minute fixirt:

4°.39; 5°.02 4°.12; 4°.21.

Die Wirkung, sichtbar in der ersten Reihe, verliert sich wieder in der zweiten.

e) Die Fäden auf 0°, zwei Minuten fixirt:

4°.7; 5°.01 3°.93; 4°.24.

Grosse Wirkung von zwei Minuten, welche sich in der zweiten Reihe auch wieder verliert.

f) Fäden auf — 2°, zwei Minuten fixirt:

4°.58; 4°.87 3°.8; 4°.07.

g) Hierauf folgen Versuche, die später zu beschreiben sind, worin durch directen Einfluss auf die horizontalen Meri-

diane der Winkel der congruenten Verticalen stark reducirt ward, in den nachfolgenden Reihen bis zu

3°.59; 3°.3; 2°.81; 2°.04 2°.81; 2°.02; 1°.89; 1°.69.

Nach derartiger Reduction stiegen die Werthe in den Einzelbestimmungen sehr schnell:

4°.45; 4°.5; 4°.3; 4°.9; 5°. 1°.7; 1°.6; 3°; 3°.1; 3°.4.

Mittel 4°.63. Mittel 2°.56.

4°.85; 4°.8; 4°.9; 5°.2; 5°. 3°.2; 3°.36; 3°.2; 3°.5; 3°.75.

Mittel 4°.95. Mittel 3°.45.

h) Hierauf folgen Versuche, welche beweisen, dass abwechselnde Neigung des Kopfes nach der rechten oder linken Schulter ohne Einfluss bleibt.

Die gewöhnlichen Reihen ergeben hierzu:

Mittel 4°.85 Mittel 4°.395.

i) Nach Fixation der Fäden auf $+ 10^\circ$, während einer Minute:

5°.4; 5°.3; 5°; 4°.9; 5°.15° 4°.9; 4°.7; 4°.5; 4°.5; 4°.75

5°; 5°.05; 4°.8; 4°.7; 4°.6 4°.3; 4°.4; 4°.5; 4°.25; 4°.4.

Wir constatiren eine beträchtliche Steigerung für die erste Bestimmung und ziemlich regelmässiges Absinken in den neun darauf folgenden.

In den beiden Gruppen A und B sieht man eine merkwürdige Uebereinstimmung in den unter gleichem Einfluss erhaltenen Resultaten. Im Mittel sind, wie zu erwarten stand, die Werthe von A und B allmählig einander genähert.

11. Auf einem Stück Pappe werden zwei gleiche Reihen, jede von 9 Linien, angebracht, die correspondirenden Linien 64 Mm. von einander, so dass beim stereoscopischen Verschmelzen der Reihen die Gesichtslinien parallel sind. Die einzelnen Linien jeder Reihe stehen um 6,5 Mm. von einander ab. Dieses Stück Pappe wird vertical hinter dem Rahmen angebracht. Im Rahmen

sind die zwei rothen Fäden $64 + 6.5 = 70.5$ Mm. von einander entfernt, so dass ihre Halbbilder sich gerade in den Zwischenräumen der mittelsten verschmolzenen schwarzen Linien zeigen. Bei der Verschmelzung stellt man nun die Halbbilder der rothen Fäden scheinbar parallel und liest als V den Winkel ab, unter welchem sie nun stehen. Man constatirt somit den Einfluss, den das Verschmelzen der schwarzen Linien auf V ausübt. Aber, worauf es hier vor Allem ankommt, man findet, indem man den Winkel x , worunter die Linien stehen, von V abzieht, zugleich, **unter welchem Winkel y der congruenten Meridiane sie verschmolzen sind.** Zuerst wird die Bestimmung gemacht bei parallelem Stand der Linien der beiden Reihen. Aber man kann den Linien jeder Reihe auf dem Carton, durch Drehung um den Fixirpunkt, verschiedene Richtung geben, also sie symmetrisch in einen Winkel gegen einander stellen, und nun mit den Halbbildern der rothen Fäden wieder V bestimmen: dann findet man auch weiter, unter welchem Winkel der scheinbar congruenten Meridiane die beiden nicht parallelen Reihen verschmolzen sind.

Einige Gruppen von Beobachtungen, die nach dieser Methode gemacht sind, lasse ich hier folgen:

Gewöhnliche Einstellung $V = 3^{\circ}.322$.

Unmittelbar darnach (Reihen von 5 Beobachtungen)

x	V	y
0°	$+ 1^{\circ}.45$	$+ 1^{\circ}.45$
$- 2^{\circ}$	$+ 0^{\circ}.79$	$+ 2^{\circ}.79$
$- 4^{\circ}$	$+ 0^{\circ}.68$	$+ 4^{\circ}.68$
0°	$+ 1^{\circ}.336$	$+ 1^{\circ}.336$
$+ 2^{\circ}$	$+ 2^{\circ}.35$	$+ 0^{\circ}.35$
$+ 4^{\circ}$	$+ 3^{\circ}.45$	$- 0^{\circ}.55$
$+ 6^{\circ}$	$+ 4^{\circ}.52$	$- 1^{\circ}.48$
$+ 8^{\circ}$	$+ 5^{\circ}.09$	$- 2^{\circ}.91$
0°	$+ 2^{\circ}.04$	$+ 2^{\circ}.04$

Gewöhnliche Einstellung $3^{\circ}.87$

Diese Steigung der gewöhnlichen Einstellung (über 3°.322) zeigt an, dass die Wirkung der Bestimmungen bei $x = 6^\circ$ und 8° , ungeachtet der letzten Bestimmung bei 0° (mit $V = 2^\circ.04$) sich doch wieder geltend macht: man sieht, wie auch die Bestimmungen bei $x = 0^\circ$ durch die bei negativen Werthen gesunken, durch die bei positiven Werthen gestiegen waren ($1^\circ.45$; $1^\circ.336$; $2^\circ.04$).

Auf das Urtheil über die Neigung der Linien und Fäden bei diesem Versuch komme ich sogleich zurück.

In einer zweiten Gruppe fand ich für gewöhnliche Einstellung $V = 3^\circ.062$. Unmittelbar nachher (Reihen von 5 Wahrnehmungen):

x	V	y
0°	$1^\circ.17$	$1^\circ.17$
0°	$0^\circ.85$	$0^\circ.85$
+ 2°	$1^\circ.82$	— $0^\circ.18$
+ 4°	$2^\circ.89$	— $1^\circ.11$
+ 6°	$3^\circ.45$	— $2^\circ.55$
+ 8°	$4^\circ.17$	— $3^\circ.83$
+ 10°	$4^\circ.65$	— $5^\circ.35$
0°	$1^\circ.49$	$1^\circ.49$
0°	$1^\circ.32$	$1^\circ.32$
— 2°	$0^\circ.65$	$2^\circ.65$
— 4°	$0^\circ.55$	$4^\circ.55$
— 6°	— $0^\circ.11$	$5^\circ.89$
0°	$1^\circ.52$	$1^\circ.52$
0°	$1^\circ.30$	$1^\circ.30$

Gewöhnliche Einstellung $V = 3^\circ.54$

„ „ $V = 3^\circ.52$.

Auch hier zeigt sich, dass V bei gewöhnlicher Einstellung und bei $x = 0^\circ$ gestiegen ist.

12. Die Methode, der wir bei unserer Untersuchung gefolgt sind, besteht in der Vergleichung der Halbbilder des rechten und linken Auges, welche Halbbilder auch unwillkürlich zuweilen zusammenfielen und die man willkürlich verschmelzen kann. Sie führt uns so auf das Gebiet

der Stereoscopie und bot mir die Gelegenheit, auf diesem Gebiete einige Wahrnehmungen zu machen, deren Resultate ich in Kürze hier folgen lasse. Man beachte dabei, dass bei allen Versuchen der Kopf unbeweglich im Kopfhalter festgehalten war.

a) Die Linie der verschmolzenen Halbbilder zweier Fäden zeigt sich in einer verticalen Ebene, wenn die Fäden parallel sind. Divergiren sie nach oben, dann neigt das Bild nach hinten, divergiren sie nach unten, nach vorn über. Dies gilt nicht nur bei parallelen, sondern auch bei convergirenden und divergirenden Blicklinien — leicht durch Aenderung des gegenseitigen Abstandes der Fäden zu erhalten.

b) Bei parallelen Blicklinien ist das Urtheil betreffs der Lage des Fadenbildes in Bezug auf die Verticalebene sehr unvollkommen und kann bei unverrückter horizontaler Blickebene fast gänzlich im Stiche lassen. Divergiren oder convergiren die Fäden, dann kann, bei unverrückter horizontaler Blickebene, die Vorstellung der correspondirenden Neigung beinahe gänzlich ausbleiben, um sich, wenn man die Blickebene wiederholt nach aufwärts oder nach abwärts richtet (wobei das Zusammenfallen der Halbbilder Veränderung der Convergenz fordert) auch nur unvollkommen zu entwickeln — wenn auch allerdings immer im richtigen Sinne.

c) Bei convergirenden Blicklinien ist das Urtheil über die Neigung des Fadenbildes ausserhalb der Verticalebene wohl genauer, lässt aber doch noch viel zu wünschen übrig, ausser wenn der Convergenzpunkt ungefähr in dem Schirm liegt, welcher den Hintergrund abgiebt.

Auch von einem Rahmen, in welchem verticale Fäden ausgespannt sind, nimmt man die Neigung auf die Blickebene mit convergirenden Blicklinien besser wahr, als mit parallelen, unter Verschmelzen der Halbbilder verschiedener Fäden.

d) Man beurtheilt mit der grössten Präcision das Zusammenfallen des Convergenzpunktes mit der Ebene eines Schirmes, für welchen man accommodirt ist. Die geringste Abweichung verräth sich in den Doppelbildern von zufälligen Punkten, Flecken und Streifen. Ist der Schirm vertical, dann fällt das Bild aus den verschmolzenen Halbbildern zweier parallelen in einer verticalen Ebene gelegenen Fäden damit über seine ganze Länge zusammen: die kleinste Unebenheit des Schirmes wird erkannt. Divergiren die Fäden nach oben oder nach unten, dann wird auch mit der grössten Präcision der Punkt angewiesen, wo das nach vorn- oder nach hinten-überneigende Bild den Schirm schneidet. Bereits beim Fixiren dieses Punktes entwickelt sich eine richtige Vorstellung von der Richtung, und, wenn man längs des Bildes auf und nieder sieht, gleichfalls vom Grade der Neigung: häufig kommt es indessen vor, dass, wo der Faden hinter dem Schirm gesehen werden muss, die Vorstellung der Neigung unvollkommen bleibt und das Bild so genau im Fixirpunkt, welcher mit dem Schirm zusammenfällt, eine Knickung zeigt.

e) Die vollkommen entwickelte Neigung wird augenblicks unvollkommen und verschwindet in einigen Fällen selbst gänzlich, sobald man den Schirm dichter an den Rahmen und so ausserhalb des Convergenzpunktes der Blicklinien bringt, — sichtlich weil der Effect der Halbbilder von zufälligen Flecken damit verschwindet. — Ich überzeugte mich, dass, bei den gewöhnlichen Wahrnehmungen mit dem Stereoscop, zufällig zusammentreffende accidentelle Punkte der nicht gänzlich homogenen Papierfläche für einfache Figuren gleichfalls die räumliche Vorstellung befördern können: von einfachen **Linien** lässt der stereoscopische Effect übrigens auch viel zu wünschen übrig. Viel schärfer kennzeichnet sich der Entfernungs-

unterschied zweier **Punkte**, die beide ungefähr mit dem Blickpunkt zusammenfallen.

f) Das Urtheil über die Richtung der verschmolzenen Halbbilder ist nicht absolut, sondern es richtet sich nach derjenigen der Fläche, worauf man projecirt. Zur Erläuterung dienen einige Wahrnehmungen mit Hilfe der zwei Reihen von längsgerichteten schwarzen Linien, die unter 11 beschrieben sind.

I. Rothe **Fäden** auf 0° ; **Linien** auf 0° .

Beide erscheinen vertical.

II. Rothe **Fäden** auf 0° , schwarze **Linien** auf -2° , später auf -3° .

Die **Linien** erscheinen vertical, die **Fäden** nach hinten überliegend.

Auch wenn man längs den Fäden auf- und niederblickt, bleiben diese stark hintenüber geneigt, und erhält man die Vorstellung, als müsste man die Convergenz verändern.

Blickt man über die Linien auf und nieder, so sieht man diese allmählig vornüber geneigt, so dass Faden und Linien sich beinahe unter gleichen Winkeln mit der Verticalen wie unter einander schneiden.

Die Ursache, warum die Linien, ungeachtet ihrer symmetrischen Neigung unter einem Winkel x , bei Verschmelzung sich ganz vertical zeigen, ist zum Theil darin zu suchen, dass sie auf einen Carton geklebt sind, an dessen verticaler Stellung man festhält. Bei Versuchen mit horizontalen Linien und mit drehenden Druckseiten wird dies noch deutlicher werden. Hier genügte es zu zeigen, dass die Vorstellung, welche aus der Richtung der Halbbilder entspringt, zum Theil nur eine relative ist.

Dies weist uns auf Winkel V als einen Factor der stereoscopischen Wahrnehmung.

Davon hoffe ich in einem besondern Abschnitte zu sprechen.

Fig. 2

Fig. 1