

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.)

## Ueber die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen.

Von

Dr. **F. B. Hofmann**,  
Privatdocent und Assistent am  
physiolog. Institut.

Dr. **A. Bielschowsky**,  
und Assistent an der Universitäts-Augen-  
klinik zu Leipzig.

---

(Mit 3 Textfiguren.)

---

Als Fusionsbewegungen bezeichnen die Ophthalmologen jene Augenbewegungen, welche lediglich durch nichtcorrespondirende (disparate) Lage der beiden Netzhautbilder des jeweiligen Gesichtsfeldes veranlasst und bis zur möglichst correspondirenden Lage der Bilder fortgesetzt werden. Gewöhnlich handelt es sich dabei nur um Convergenzänderungen der Gesichtslinien.

Durch besondere Versuchseinrichtungen können aber auch Fusionsbewegungen gleichsam erzwungen werden, welche für gewöhnlich anscheinend gar nicht oder höchstens in sehr geringem Maasse ausgeführt werden. Es sind dies:

1. ungleiche Höheneinstellung beider Augen;
2. wahre Rollungen um die Gesichtslinie bei sonst ungeänderter Lage der Augen und des Kopfes;
3. absolute Divergenzstellung der Gesichtslinien.

Mit diesen drei Arten von Augenbewegungen beschäftigt sich die nachfolgende Untersuchung.

Herrn Prof. Hering sind wir für die Anregung zu derselben sowie für seine stete Unterstützung und Förderung während ihres Verlaufes zu grossem Danke verpflichtet. Ebenso danken wir Herrn Collegen Garten dafür, dass er bereitwilligst eine Anzahl von zum Theil recht mühseligen Versuchen für uns anstellte.

Abgesehen von einigen orientirenden Versuchen wurde die Untersuchung, die sich mit längeren Unterbrechungen vom Jahre

1896 bis 1899 erstreckte, fast ausschliesslich am Hering'schen Haploskop angestellt. Als Sehobjecte dienten je zwei identische, auf ebene Glas- oder Metallplatten geklebte Zeichnungen oder Druckschriften. Die Spiegel waren streng vertikal gestellt und der Kopf durch ein Beissbrettchen fixirt.

## I. Ungleiche Höheneinstellung (Verticaldivergenz) beider Augen.

### Literatur.

Ungleiche Höheneinstellung beider Augen im Interesse des binocularen Einfachsehens wurde zuerst von Donders (1846, S. 382), Alfred Gräfe (1858, S. 82) und Helmholtz (1867, S. 475) beobachtet beim Vorsetzen schwacher vertical ablenkender Prismen vor ein Auge. Panum (1858, S. 24) und Nagel (1861, S. 51) sahen dasselbe beim Höher- und Tieferschieben der einen Hälfte einer im Stereoskop betrachteten Doppelzeichnung, ja es trat die Höhenablenkung auch dann noch ein, wenn man den Augen von vornherein verticaldistanthorizontale Linien zur binocularen Vereinigung bot. Eingehender hat sich mit diesen Erscheinungen in der Folge Hering (1868, S. 14 ff.) befasst. Er (1869, S. 8 ff.) betonte insbesondere zuerst die Unterschiede zwischen diesen und den gewöhnlichen Augenbewegungen: die ersteren erfolgen viel langsamer und schwieriger als die letzteren und nur innerhalb sehr enger Grenzen. Ferner haben sie die besondere Eigenthümlichkeit, dass die Innervation, durch welche sie hergestellt worden sind, sozusagen noch einige Zeit fort klingt, wenn der Anlass zu der ungewöhnlichen Augenstellung längst beseitigt ist. Wenn man die Augen längere Zeit in der durch die künstlichen Versuchsverhältnisse bedingten abnormen Stellung lässt, so wird diese auch nach vollendetem Versuche noch eine Weile beibehalten. Dies äussert sich darin, dass man nach dem Versuche die Objecte der Umgebung vorübergehend abermals in verticaldistanten Doppelbildern sieht. Ausserdem bemerkte Hering (1868, S. 14), dass man um so stärkere Prismen zu überwinden vermag, je öfter man den Versuch wiederholt. Neuerdings bezeichnet Hering die ungleiche Höhenlage beider Augen als Verticaldivergenz der Gesichtslinien und nennt dieselbe im Interesse der Kürze positiv, wenn dabei die rechte, negativ, wenn die linke Ge-

sichtslinie die höher liegende ist<sup>1)</sup>. Zu diesen Beobachtungen älterer Forscher<sup>2)</sup> ist in der Folgezeit noch einiges hinzugefügt worden. So gaben Alfred Gräfe (1880, 1891, S. 249) und kurz darauf Schneller (1892, S. 73 ff.) an, dass bei Convergenz stärkere vertical ablenkende Prismen überwunden werden als bei parallel gestellten Gesichtslinien. Alfred Gräfe (1891, S. 249 ff.) und nachher Simon (1896) fanden, dass bei latentem Schielen nach oben oder unten, wobei also die Gesichtslinien an und für sich schon zur Verticaldivergenz geneigt sind, ein Prisma, welches zur Fusion der Bilder Verticaldivergenz in demselben Sinne fordert, viel leichter überwunden wird als ein die entgegengesetzte Verticaldivergenz forderndes. So wird z. B. ein Prisma von  $6^\circ$  überwunden, wenn es mit der Basis nach oben vor dem linken oder mit der Basis nach unten vor dem rechten Auge steht, dagegen nur ein Prisma von  $2^\circ$  mit der Basis nach unten vor dem linken oder mit der Basis nach oben vor dem rechten Auge. Simon betont ferner (1896, S. 113), dass, wenn er vor sein rechtes Auge das stärkste nach unten ablenkende Prisma, das er zu überwinden vermag, nämlich eines von  $6^\circ$ , vorgesetzt hat, die Differenz der Höhenlage der Augen durch Vorsetzen eines wenn auch noch so schwach nach oben ablenkenden Prismas vor das linke Auge nicht gesteigert werden kann. Wird einerseits ein Prisma von  $4^\circ$  vorgesetzt, dann wird noch ein entgegengesetzt wirkendes von  $2^\circ$  vor dem andern Auge überwunden: kurz, die beiderseits in entgegengesetzter Richtung vorgesetzten Prismen dürfen zusammen nur eine Stärke von  $6^\circ$  haben, wenn sie noch überwunden werden sollen. Nach Abschluss des Manuscriptes wurde uns ferner ein Experiment von Reddingius bekannt, welches der Autor selbst (1898, S. 69) folgendermaassen beschreibt: „Indem ich normalerweise beim binocularen Sehen ein Prisma von  $2^\circ$ , mit der Basis horizontal und unten vor eines der Augen gestellt überwinden kann und Prisma  $3^\circ$  nicht mehr und so auch ein Prisma von  $2^\circ$  mit der Basis horizontal und oben und Prisma  $3^\circ$  nicht mehr, so zeigt es sich, das dieser Zustand sich geändert hat, wenn ich während etwa 20 Minuten das Prisma  $2^\circ$  mit der Basis unten

1) Im Jahre 1898 hat Reddingius (1898, S. 65) für die erstere Augenstellung die Bezeichnung verticale Convergenz, für die letztere die Bezeichnung verticale Divergenz gebraucht.

2) Man vergleiche übrigens die Darstellung von Hering in Hermann's Handb. d. Physiologie Bd. 3, Abth. 1, S. 506 ff.

getragen habe. Ich kann alsdann nämlich ein Prisma von  $3^\circ$  mit der Basis unten überwinden und Prisma  $2^\circ$  mit der Basis oben nicht mehr.“

#### Anordnung und allgemeiner Gang der Versuche.

Um den Verlauf einer durch ein vertical ablenkendes Prisma veranlassten Fusionsbewegung genauer beobachten zu können, benutzt man ein Gesichtsfeld, welches auf einfarbigem Grunde zureichend von einander abliegende und in verticaler Richtung wenig ausgedehnte Figuren enthält, so dass man die durch das Prisma erzeugten übereinander liegenden Doppelbilder gut zu unterscheiden vermag. Durch einige über die ganze Fläche laufende verticale Striche von verschiedener Farbe sorgt man für unveränderte Horizontalconvergenz der Gesichtslinien. Ist das Prisma nicht zu stark, der Abstand der Doppelbilder also nicht zu gross, so sieht man letztere in dem Maasse, als die Gesichtslinien in Verticaldivergenz übergehen, anfangs sich einander langsam nähern, während sie später, wenn sie schon ganz nahe bei einander liegen, meist plötzlich zusammenfahren und zu einem Bilde verschmelzen. Während dieser Fusionsbewegung kann man, dauernd oder vorübergehend, einen Punkt des einen oder andern Bildes fixiren; wir vermochten jedoch trotz längerer Uebung nicht, die Näherung der Doppelbilder willkürlich zu beschleunigen oder aufzuhalten. Im Gegentheile vollzog sich dieselbe am ehesten, wenn wir die Augen bei unausgesetzter Aufmerksamkeit auf das Gesichtsfeld sozusagen sich selbst überliessen. Allerdings ist die Fusionsbewegung erschwert, wenn die Doppelbilder, wie in den bisher beschriebenen Versuchen, einzeln für sich deutlich wahrgenommen werden können, daher, wie schon Hering (1869, S. 8) für derartige Versuche hervorhob, dieselben dem in der Unterscheidung von Doppelbildern sehr Geübten zuweilen nicht ebenso leicht gelingen wie dem Ungeübten, und ein Gesichtsfeld, in welchem die Doppelbilder schwerer bemerklich sind, die Fusionsbewegung begünstigt. Bei raschem Wechsel der Blickrichtung oder bei Nachlassen der Aufmerksamkeit zerfällt das Sammelbild anfangs noch immer leicht in Doppelbilder. Dies geschieht besonders dann, wenn man in diesem Stadium vor das eine Auge ein rothes Glas setzt und eine Kerzenflamme fixirt. Erzeugt man sich durch willkürliches starkes Convergiere gleichseitige Doppelbilder der Flamme, so bekommen die Doppelbilder zunehmend stärkeren Höhenabstand. Der-

selbe gleicht sich, solange man das rothe Glas vorhält, auch wenn man das Schielen wieder aufgiebt, nicht aus, sondern verschwindet erst wieder, wenn man nach dem Aufgeben des Schielens auch das Glas wegnimmt, so dass beide Augen wieder gleichgefärbte Bilder sehen. Trägt man das Prisma längere Zeit, so wird die Verticaldivergenz der Augen stabiler, es entstehen keine Doppelbilder der Flamme mehr beim blossen Vorsetzen eines rothen Glases. Erzeugt man jetzt durch starke willkürliche Convergenz gleichseitige Doppelbilder der Flamme, so nehmen diese wohl ganz allmählich eine geringe Höhendistanz an, sobald man aber wiederum die Flamme zu fixiren sucht, so wandern die Doppelbilder zunächst in horizontaler Richtung aufeinander zu, und sobald sie sich stark genähert haben, auch in verticaler Richtung. Der Weg, den die Doppelbilder dabei zurücklegen, ist angenähert durch Figur 1 wiedergegeben.



Fig. 1. A Bild des linken Auges. B Bild des rechten Auges.  
C Binoculares Vereinigungsbild.

Wird jetzt, nachdem eine solche stabile Verticaldivergenz beider Augen erreicht ist, das Prisma weggenommen, so erscheinen zunächst alle Objecte abermals in übereinander stehenden Doppelbildern. Dieselben verschmelzen unter analogen Erscheinungen mit einander, wie wir sie oben als Folge des Vorsetzens eines Prismas beschrieben haben, d. h. zunächst ist diese Verschmelzung nur eine lockere und kann durch Hervorrufen von quer distanten Doppelbildern wieder gelöst werden. Aber nach und nach wird sie fester, und wenn man sich jetzt quer distante Doppelbilder erzeugt, so können diese wohl noch eine Spur von Höhenunterschied zeigen, aber nach Aufhören des Schielens fließen sie sehr rasch in ähnlicher Weise zusammen, wie wir es vorhin beschrieben haben.

Um die jeweils bestehende Verticaldivergenz der Gesichtslinien leicht messen zu können und zugleich die durch die Prismen bewirkte Bildkrümmung zu vermeiden, benützten wir, wie gesagt, das Haploskop und verschoben je eine der beiden Objecttafeln nach oben oder unten. Die Höhe der Verschiebung wurde an einer Millimeterscala gemessen. Da zwei sonst gleiche Netzhautbilder auch dann zu einem einfachen Bilde verschmelzen können, wenn sie noch

eine geringe Höhen(Längs-)disparation haben, so kann das Einfachsehen bei solchen Versuchen schon eintreten, ehe noch der Unterschied der Höhenlage der beiden Objecte durch entsprechende Verticaldivergenz der Gesichtslinien vollständig ausgeglichen ist und die beiden Netzhautbilder wieder auf genau correspondirenden Stellen liegen. Um nun beim jeweiligen Einfachsehen auch die wirkliche Verticaldivergenz der Gesichtslinien bestimmen zu können, brachten wir auf der Druckschrift der einen Seite einen horizontalen Strich (Controllinie), auf der Druckschrift der andern aber eine verticale Millimeterscala an. Der Punkt, in welchem bei noch gleicher Höhenlage der beiden Druckschriften die Controllinie auf dem Verschmelzungsbilde die Millimeterscala durchschneidet, bildet den Nullpunkt für die Messung.

Verschiebt man das eine Object nach oben oder unten, so erscheint die Controllinie an einer andern Stelle der Scala, und erst, wenn die Augen die ungleiche Höheneinstellung der Objecte vollkommen ausgeglichen haben, wieder auf dem Nullpunkte. Da man bei 60 cm Entfernung der Objecte vom Auge 1 mm noch ganz gut ablesen kann, so liesse sich die Augenstellung auf diese Weise bis auf ungefähr 6 Winkelminuten genau bestimmen. Beim Vorhandensein vertical distanter Doppelbilder wird allerdings die Genauigkeit der Ablesung durch die unten erwähnten Schwankungen der Augenstellung wesentlich beeinträchtigt.

Unsere messenden Versuche am Haploskope ergaben nun Folgendes: Zu Anfang des Versuches werden die noch kleinen Verschiebungen der Objecte durch ungleiche Höheneinstellung der Augen rasch und beinahe vollständig ausgeglichen; es treten keine Doppelbilder auf, wohl aber bleibt ein kleiner, nur durch die Controllinie nachweisbarer Rest von Längsdisparation der Netzhautbilder bestehen. Derselbe wächst beim weiteren Verschieben der Objecte ganz allmähig an und bei einem bestimmten Betrage desselben, der je nach der Grösse und Form der betrachteten Objecte verschieden ist — für unsere Augen beträgt dieser Grenzwert der untermerklichen Disparation bei feinen, scharf conturirten Horizontalstrichen 10—15', bei grossen, breiten Streifen 20—25' — neigt das binoculare Vereinigungsbild zum Zerfall. Dies äussert sich, ohne dass zunächst deutliche Doppelbilder auftreten, in einer eigenthümlichen Unruhe des Bildes, welcher ein beständiges Schwanken des Disparationsrestes entspricht. Subjectiv hat man dabei die Empfindung,

dass die Augenstellung unbequem wird und nur mit Mühe festzuhalten ist. Betrachtet man das Bild aufmerksam längere Zeit hindurch, so wird die Vereinigung wieder fester, das Bild ruhiger, und das Gefühl der Anstrengung schwindet. Bei weiterer Hebung oder Senkung kommt man schliesslich zu einem Punkte, bei welchem deutliche Doppelbilder auftreten, die jedoch unter starken Schwankungen sich bei längerer Betrachtung wieder allmählig nähern und endlich sich erst nur vorübergehend, später dauernd vereinigen. Die Lage der Controllinie schwankt während dieser Zeit ebenso; bald nähert sie sich der Nullstellung bis zu dem oben angegebenen Grenzwerte der Disparation, bei welchem eben Doppelbilder auftreten, bald entfernt sie sich wieder, schliesslich bleibt sie, wenn sich die Doppelbilder vereinigen, auf dem Grenzwerte der Disparation, bei dem noch Einfachsehen möglich ist, stehen. Wenn man jetzt die Verschiebung vorsichtig noch weiter steigert, so wiederholt sich eine Zeit lang derselbe Vorgang. Schiebt man dagegen rasch oder zu weit vor, dann werden die Entfernungen der Doppelbilder von einander und ihre Schwankungen grösser, die Doppelbilder nähern und entfernen sich von einander, vereinigen sich aber nicht mehr vollständig, und bei noch weiterem Verschieben kann es dahin kommen, dass sie, anstatt sich wieder zu nähern, unaufhaltsam auseinander weichen. Verfährt man aber mit hinreichender Vorsicht, so nimmt die Verticaldivergenz der Gesichtslinien (gemessen an der Controllinie) ganz allmählig immer noch etwas zu, obwohl die Doppelbilder unter schwankendem geringen Abstand von einander sichtbar bleiben. So erreicht man schliesslich das unter den jeweiligen individuellen Versuchsbedingungen erreichbare Maximum der Verticaldivergenz. Schiebt man schliesslich die Objecte wieder gegen die Ausgangsstellung zurück, so erreicht man bald eine Stellung, bei der sich die Doppelbilder wieder vereinigen. Sie ist weiter von der Ausgangsstellung entfernt, als die Stellung, bei welcher die Doppelbilder beim Verschieben zuerst auftraten. Obwohl nunmehr die Bilder beider Augen wieder vollständig vereinigt sind und nicht die geringste Andeutung von Doppelbildern vorhanden ist, bemerkt man an der Controllinie doch noch eine ganz geringe Längsdisparation der Netzhautbilder. Schiebt man die Objecte, um auch diesen Rest noch zu beseitigen, ruckweise weiter gegen die Ausgangsstellung zurück, so scheint derselbe anfangs schon endgültig behoben zu sein, bei etwas längerer Betrachtung tritt dagegen noch lange Zeit immer

wieder eine Spur von ihm auf, und man muss oft noch beträchtlich zurückgehen, um ihn vollends zum Verschwinden zu bringen. Ist dies eingetreten, so ist nunmehr die Höhendifferenz der Objecte durch eine entsprechend ungleiche Höheneinstellung der Augen vollständig ausgeglichen. Der jetzt bestehende Höhenunterschied der Objecte ist in dem bezügl. Versuche der grösste, bei welchem ein solcher vollständiger Ausgleich erfolgt, weshalb wir denselben als das *Ausgleichsmaximum* der Höhenverschiebung bezeichnen.

Die Messung des ersterwähnten Maximums der Verticaldivergenz lieferte in Folge des starken Schwankens der Controllinie nur Annäherungswerthe. Ausserdem wurde durch das Betrachten der nur auf einer Seite vorhandenen, daher keinen Zwang zur binocularen Verschmelzung ausübenden Controllinie stets die Aufmerksamkeit vom übrigen Sehfelde abgelenkt, und die Augen gingen dabei oft weit nach der Ausgangsstellung hin zurück. Dagegen ist die Differenz der Höhenlage der beiden Objecte in dem Zeitpunkte, wo beim Wiederrückschieben des einen Objectes die Doppelbilder sich eben wieder vereinigen, leicht und genau zu messen, weil das Sammelbild dabei ganz ruhig ist. Jetzt hat zwar die Verticaldivergenz bereits wieder etwas abgenommen; da jedoch trotz der Wiederverschmelzung der Bilder noch eine kleine Höhendispagation der Netzhautbilder besteht, die gemessene Höhendifferenz der Objecte also etwas grösser ist, als der gleichzeitig bestehenden Verticaldivergenz der Gesichtslinien entspricht, so lieferten beide Arten der Messung beiläufig dieselben Werthe, und die grösste Differenz zwischen beiden betrug nur 17 Winkelminuten. Wir haben desshalb beinahe ausschliesslich die Höhendifferenz der Objecte im Momente der Wiedervereinigung der Doppelbilder beim Zurückschieben gemessen und nur ausnahmsweise das Maximum der Verticaldivergenz der Gesichtslinien in der zuerst angegebenen Weise.

Die Bestimmung des *Ausgleichsmaximums* kann nur mit Hilfe der Controllinie erfolgen.

Wie schon eingangs berichtet wurde, verschwindet eine künstlich herbeigeführte Verticaldivergenz der Gesichtslinien nach Beseitigung ihrer Ursache nicht sofort wieder; es dauert vielmehr die Innervation, durch welche sie unterhalten wurde, noch längere Zeit unter beständiger Abnahme fort. Diese Abnahme wird gewöhnlich dadurch sehr beschleunigt, dass z. B. nach



Entfernung des Prismas die jetzt durch die Verticaldivergenz der Gesichtslinien bedingten Doppelbilder abermals einen Fusionszwang ausüben, der im Sinne der Wiederbeseitigung der noch bestehenden Verticaldivergenz wirkt und die Augen verhältnissmässig schnell wieder in das normale Stellungsverhältniss zurückführt. Schliesst man jedoch dieses abermalige Entstehen von Doppelbildern nach Entfernung des Prismas aus, so erfolgt die Abnahme der Verticaldivergenz viel langsamer.

Um auch unter solchen Bedingungen den zeitlichen Verlauf dieser Abnahme beobachten zu können, benützt man eine jener Methoden, mit Hülfe deren man die relative Lage beider Augen zu einander bei möglichst vollständigem Ausschluss jedes Fusionszwanges zu untersuchen pflegt; nur muss dabei bedacht werden, dass es sich hier nur um Ausschluss eines Fusionszwanges in verticaler Richtung handelt, und dass daher durch eine oder mehrere verticale Contouren, welche binocular fixirt werden können, der Parallelismus bzw. ein bestimmter Grad von Convergenz der Gesichtslinien während der ganzen Versuchsdauer unverändert erhalten bleiben muss.

Dieser Forderung wurde auf folgende zweifache Weise genüge gethan. Bei der ersten Methode wurden nach Bestimmung des Maximums der Verticaldivergenz die Druckschriften auf beiden Seiten gleichzeitig durch thürflügelartig bewegte, mit weissem Carton überzogene Blechscheiben verdeckt. Auf dem Carton war jederseits in der Mitte eine verticale Linie gezogen, welche zur Erhaltung einer bestimmten Convergenz bzw. des Parallelismus der Gesichtslinien dauernd fixirt wurde. Zur Ablesung des Betrages der Verticaldivergenz diente wiederum eine verticale Punktreihe auf der einen und eine horizontale Controllinie auf der andern Seite. Die deckende Cartonscheibe wurde möglichst gross genommen, um einen Fusionszwang durch die indirect gesehenen Ränder derselben zu vermeiden. Doch liess sich derselbe wohl nicht vollkommen ausschalten, weil man im indirecten Sehen neben den Haploskopspiegeln vorbei noch einzelne Contouren binocular sah.

Besser ist daher die zweite Methode, bei welcher nach Herbeiführung der Verticaldivergenz das ganze Gesichtsfeld verdunkelt und nur noch leuchtende Linien und eine verticale Reihe von leuchtenden Punkten sichtbar gemacht wurde. Als Sehobjecte benützten wir hierbei auf Glasscheiben aufgeklebte Druckschriften.

Durch einen auf der Rückseite der Glasscheiben aufgeklebten schwarzen Carton wurden dieselben ganz undurchsichtig gemacht. Dann wurde der Carton beiderseits in der Mitte in verticaler Richtung durchgeschnitten, sodass die Glasfläche im Schnitt frei lag. Ein ebensolcher Schnitt wurde auf der einen Seite in horizontaler Richtung geführt. Der andere Carton war schon vorher durch eine verticale Reihe von Nadelstichen in je 1 mm Entfernung von einander durchlöchert worden. An den Schnittstellen und Stichlöchern wurde dadurch die Glasscheibe bei Beleuchtung von hinten durchscheinend gemacht. Beim Versuche wurde nun nach Bestimmung des Maximums der Verticaldivergenz an Stelle der Beleuchtung der beiden Sehobjecte von vorne eine Durchleuchtung derselben von hinten eingeschaltet. Da als Lichtquelle elektrische Glühlampen benützt wurden, so liess sich dies sehr einfach und rasch durch Umlegen eines Wechselschlüssels bewerkstelligen.

Welches Verfahren man auch anwendete, immer beobachtete man beim Fehlen eines abermaligen Fusionszwanges eine nur allmähliche, anfangs raschere, dann immer langsamer werdende Abnahme der künstlich herbeigeführten Verticaldivergenz, bis nach Ablauf von höchstens einer Minute diese Abnahme sich so verlangsamte, dass lange Zeit ein fast unveränderter Rest von Verticaldivergenz fortbestand. (Der Rest war nach 15 Minuten noch ziemlich unverändert.) Man kann ihn beseitigen, wenn man längere Zeit in gewöhnlicher Weise die Umgebung betrachtet, so dass der Fusionszwang seitens der längsdisparaten Netzhautbilder wieder wirksam wird. Aber selbst dann, wenn die ursprüngliche Verticaldivergenz unter der Einwirkung des entgegengesetzten Fusionszwanges schon so gut wie vollständig verschwunden ist, stellt sie sich nach Ausschluss des letzteren noch eine Zeit lang immer wieder in geringerem Grade her. Es bleibt also selbst in diesem Falle noch relativ lange ein tonisch wirkender Innervationsrest im Sinne der Verticaldivergenz latent fortbestehen.

---

Erfolgt bei den in Rede stehenden Versuchen die Verschiebung der Objecte rasch und können die Augen in Folge einer durch öftere Wiederholungen der Versuche erzielten Uebung (vgl. das Folgende!) die Verschiebung ungefähr ebenso rasch ausgleichen, so sieht man eine der letzteren entsprechende Bewegung des Sammelbildes. Wird aber die Objectverschiebung ganz langsam und gleich-

mässig vorgenommen, so bemerkt der Beobachter keine Aenderung der Lage des Objectes, selbst wenn die ausgleichende Augenstellung schon mit einer merklichen Anstrengung verbunden ist. Allerdings muss man dabei berücksichtigen, dass bei dem geringen Betrage der erreichbaren Verticaldivergenz ein Höher- oder Tiefererscheinen des Sammelbildes leicht unbeachtet bleiben kann, zumal auch die Lokalisation bei Ausschluss jedes Vergleichsobjectes ungenau ist.

Die Scheinbewegung der Doppelbilder gegen einander haben wir schon bei Gelegenheit der Prismenversuche erwähnt.

### Das Verhalten der Verticaldivergenz bei häufiger Wiederholung der Versuche.

1. Um den Einfluss der Uebung auf die erreichbare Grösse der Verticaldivergenz der Gesichtslinien festzustellen, führten wir mehrere gleich lang dauernde Versuche in constanten Zeitintervallen nach einander aus. Die Dauer der Einzelversuche und der Pausen zwischen ihnen wurden meist gleich gross gewählt und schwankten in den verschiedenen Versuchsreihen zwischen zehn und drei Minuten. Bei jedem Einzelversuche bestimmten wir das erreichte Maximum der Verticaldivergenz und das Ausgleichsmaximum nach den früher angegebenen Methoden. Es stellte sich heraus, dass beide zunächst langsam (anfangs etwas rascher als später) ansteigen, bis sie schliesslich bei einem ziemlich gleichbleibenden Werth stehen bleiben. Diese Steigerung in Folge der Wiederholung der Versuche erklärt sich zum Theil daraus, dass bei Beginn des zweiten Versuches trotz der Pause, in welcher die Augen in gewöhnlicher Weise beschäftigt waren, noch ein (während der Pause latenter) Rest der Verticaldivergenz fortbesteht, mit welchem der zweite Versuch beginnt. Nach letzterem bleibt dann ein schon etwas grösserer Divergenzrest zurück, so dass der dritte Versuch unter noch günstigeren Bedingungen für die Verticaldivergenz beginnt als der zweite u. s. w., wobei natürlich die Zuwüchse zum jeweiligen Innervationsrest immer kleiner werden.

Ein zweiter Erfolg der Wiederholung der Versuche zeigt sich darin, dass die Augen immer schneller in Verticaldivergenz übergehen. Ebenso erfolgt die Wiederabnahme der letzteren, wenn man nach jedem Versuche die Augen wieder auf ein gewöhnliches Gesichtsfeld richtet, unter dem Einfluss des jetzt entgegengesetzt

wirkenden Fusionszwanges immer rascher, je öfter der Versuch wiederholt wurde.

Diese beiden Erscheinungen stehen nicht im Widerspruch mit einander. Das Anwachsen des Innervationsrestes ist eine Summation, die man ebenso erhalten kann, wenn man die Augen lange Zeit hindurch in einer constanten Verticaldivergenz stehen lässt. Die schnellere Einstellung der Augen bei Wiederholung des Versuches ist offenbar eine Folge des häufigen Wechsels der Innervation, durch welche das Eintreten der Verticaldivergenz überhaupt geläufiger wird. Wir bemerkten ja schon früher, dass während der Versuchspausen die Augen wohl dem augenblicklichen Fusionszwang gehorchend, beinahe ganz zurückgehen können, dass aber trotzdem der von der Dauer des vorhergehenden Versuches abhängige Divergenzrest zunächst noch latent bestehen bleibt.

Wir geben in Tabelle I auf S. 13 Beispiele für das eben Gesagte, und zwar bei jedem fünf Minuten dauernden Versuch das Divergenzmaximum, das Ausgleichsmaximum und den Divergenzrest, und zwar letzteren: a) im unmittelbaren Anschluss an den Versuch, nachdem der Rest sehr angenähert stabil geworden ist, b) nach einer Pause von fünf Minuten, während welcher die Versuchsperson im Zimmer umhersah, unmittelbar vor dem nächstfolgenden Versuche. Die Vorzeichen vor den Zahlen entsprechen der Bezeichnungweise von Hering: das positive Vorzeichen gibt also an, dass die Gesichtslinie des rechten Auges, das negative, dass die Gesichtslinie des linken Auges höher steht. Die Messung des Restes der Verticaldivergenz ist nach einer Methode ausgeführt, welche der ersten der beiden oben beschriebenen ähnlich war, aber nicht so sicher den Fusionszwang im peripheren Sehen ausschloss. Indessen entsprechen die hier gefundenen Werthe durchaus den mit ganz exacten Methoden erhaltenen, von welchen wir aber keine so langen gleichmässigen Versuchsreihen besitzen. Die Objecte befanden sich in 60 cm Entfernung vom Auge. Zur Beurtheilung der Genauigkeit der Zahlen sei auf das S. 6 Gesagte hingewiesen. Die Fehlergrenze bei der Ablesung des Restes der Verticaldivergenz dürfte, da dabei die Augen ruhig stehen, über den dort angegebenen Ablesungsfehler nicht sehr hinausgehen.

Einen unmittelbaren Ueberblick über den Verlauf dieser beiden Versuchsreihen gewährt die graphische Darstellung (Fig. 2 für *H.* und Fig. 3 für *B.*) auf S. 14, in welcher das Maximum der Vertical-

Tabelle I.

Versuchs- person	Reihenfolge der Versuche	Hebung rechts				Senkung rechts			
		Rest der Ver- ticaldivergenz vor dem Versuche	Maximum der Vertical- divergenz	Ausgleichs- Maximum	Rest der Ver- ticaldivergenz nach dem Versuche	Rest der Ver- ticaldivergenz vor dem Versuche	Maximum der Vertical- divergenz	Ausgleichs- Maximum	Rest der Ver- ticaldivergenz nach dem Versuche
H. 7. Juni 1899	1	- 0° 40'	+ 1° 55'	+ 0° 52'	- 0° 12'	0°	- 2° 52'	- 1° 20'	- 1° 9'
	2	- 0° 6'	+ 2° 40'	+ 0° 52'	+ 0° 17'	-	-	-	-
	3	+ 0° 6'	+ 3° 10'	+ 1° 55'	+ 0° 35'	-	-	-	-
	4	+ 0° 15'	+ 3° 10'	+ 2° 12'	+ 0° 46'	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	+ 0° 17'	- 2° 24'	- 0° 57'	- 0° 46'
	6	-	-	-	-	+ 0° 10'	- 3° 21'	- 1° 9'	- 0° 57'
	7	-	-	-	-	- 0° 34'	- 3° 38'	- 0° 57'	- 0° 57'
	8	-	-	-	-	- 0° 34'	- 3° 56'	- 0° 57'	- 0° 57'
	9	-	-	-	-	- 0° 40'	- 4°	- 1° 6'	- 1° 6'
	10	- 0° 35'	+ 1° 26'	0°	0°	-	-	-	-
	11	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 7. Juni 1899	1	0°	+ 3° 4'	+ 2° 30'	+ 1° 20'	- 0° 57'	- 2° 52'	- 0° 17'	- 0° 12'
	2	-	-	-	-	+ 0° 12'	- 3° 50'	- 1° 32'	- 0° 29'
	3	-	-	-	-	+ 0° 29'	- 4° 25'	- 2° 12'	- 0° 32'
	4	-	-	-	-	- 0° 17'	- 4° 53'	- 1° 55'	- 0° 35'
	5	-	-	-	-	- 0° 35'	- 5° 34'	- 3° 20'	- 0° 56'
	6	-	-	-	-	- 0° 46'	- 5° 51'	- 3° 38'	- 1° 9'
	7	- 0° 46'	+ 2°	+ 0° 57'	+ 0° 57'	-	-	-	-
	8	0°	+ 3° 4'	+ 1° 55'	+ 1° 9'	-	-	-	-
	9	0°	+ 3° 88'	+ 2° 52'	+ 1° 9'	-	-	-	-
	10	+ 0° 17'	+ 3° 88'	+ 2° 52'	+ 1° 38'	-	-	-	-
	11	+ 0° 17'	+ 4°	+ 2° 52'	+ 1° 44'	-	-	-	-
	12	+ 0° 40'	+ 4° 42'	+ 3° 10'	+ 1° 44'	-	-	-	-
	13	-	-	-	-	+ 0° 40'	- 2° 52'	- 0° 29'	+ 0° 17'

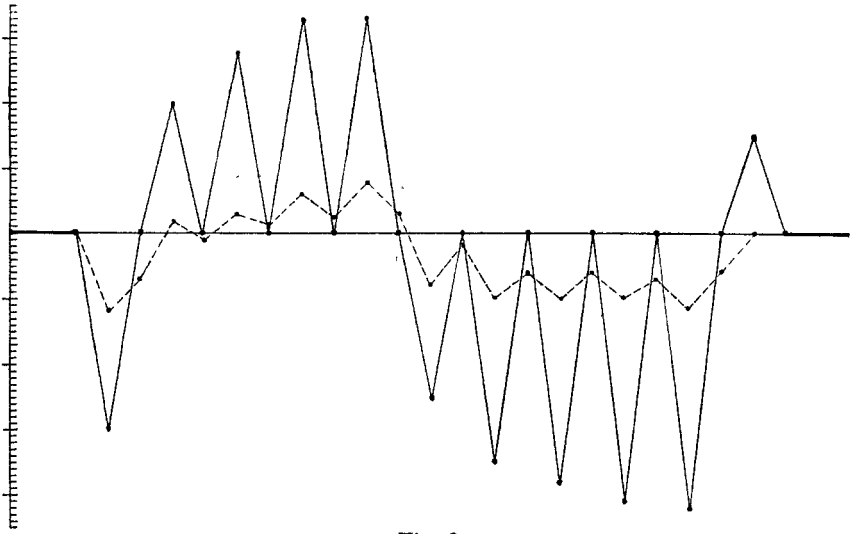


Fig. 2.

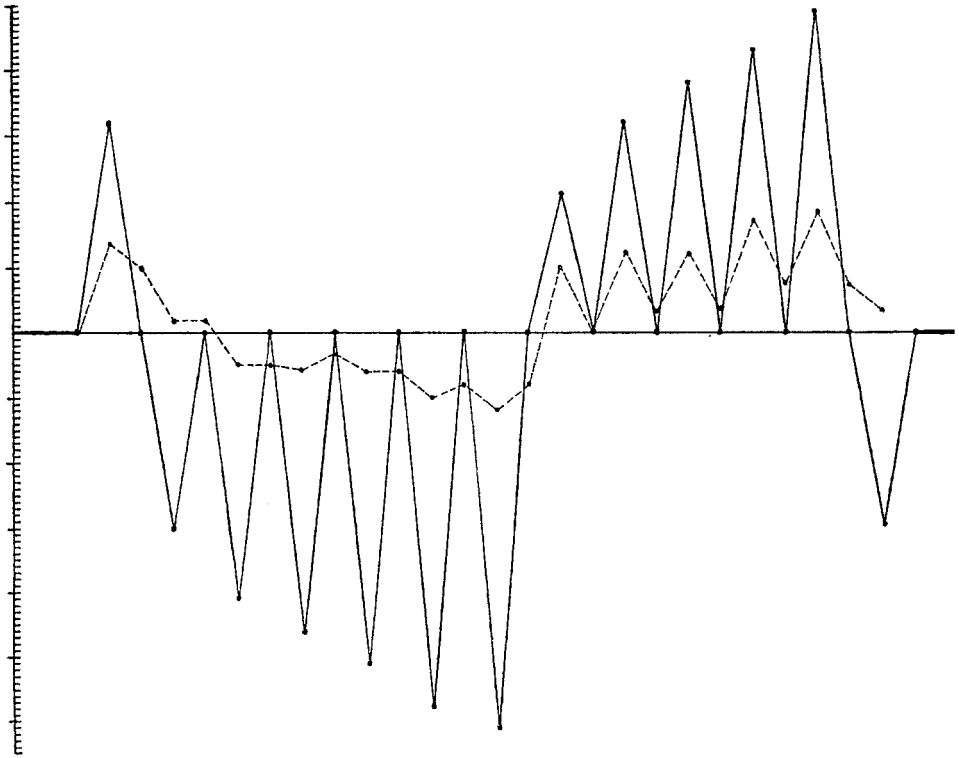


Fig. 3.

Die Theilstriche des seitlich angebrachten Maassstabes entsprechen in Wirklichkeit Millimetern.

divergenz bei jedem Einzelversuch durch eine der wirklichen Höhenverschiebung der Objecte entsprechende Entfernung der ausgezogenen Linien von der Nulllinie ausgedrückt ist. Die gestrichelte Linie verbindet jene Punkte mit einander, deren Abstand von der Abscisse in derselben Weise der Rest der Verticaldivergenz vor und nach dem Versuch angibt.

Ob ausser dieser auf eine Versuchsreihe beschränkten Erleichterung der ungleichen Höheneinstellung nach einer bestimmten Richtung auch eine dauernde Einübung durch öftere Wiederholung solcher Versuche in der Weise erzielt werden kann, dass das überhaupt erreichbare Maximum der Verticaldivergenz in den späteren Versuchsreihen grösser wird als in den früheren, vermögen wir nicht mit voller Sicherheit zu sagen, da zwischen unseren Versuchsreihen oft Monate lange Pausen lagen und wir ausserdem jedesmal mit verschiedenen, unter einander nicht gut vergleichbaren Versuchsmethoden arbeiteten. Uebrigens sind auch die Maxima der Verticaldivergenzen von Versuchsreihen, die an unmittelbar auf einander folgenden Tagen mit derselben Versuchsanordnung angestellt wurden, ganz verschieden je nach der jeweiligen Aufmerksamkeit und geistigen Frische des Beobachters.

Dagegen scheinen allerdings die Verticaldivergenzen, nachdem die Versuche lange Zeit hindurch öfters wiederholt waren, später von vornherein leichter und rascher zu Stande zu kommen. Anfangs machte es nämlich grosse Schwierigkeiten und erforderte lange Zeit (bei *H.*, dessen Augen langsamer auf die Höhendisparation der Netzhautbilder reagirten, bis zu einer halben Stunde), ehe ein Prisma von  $8^\circ$  überwunden wurde. Bei späteren Versuchen gelang dies mit Leichtigkeit innerhalb weniger Minuten, ja bei schwächeren Prismen erfolgte dann die Einstellung (ebenso wie die Zurücknahme der Verticaldivergenz nach Entfernung des Prisma) fast augenblicklich, nicht merklich langsamer als bei willkürlichen Augenbewegungen.

2. Ungefähr in demselben Maasse, als im Verlaufe einer Versuchsreihe die Verticaldivergenz der Gesichtslinien in einem Sinne durch öftere Wiederholung derselben erleichtert wurde, zeigte sich die entgegengesetzte Verticaldivergenz erschwert. So waren nach längerer Uebung in Versuchen, bei denen das rechte Auge das höherstehende war, diejenigen Versuche erschwert, bei denen es das tieferstehende war, was sich dadurch kundgab, dass (bei gleich langer Dauer des Einzelversuchs) eine geringere Verticaldivergenz

erzielt wurde, als wenn der Versuch von vornherein am ausgeruhten Auge angestellt wurde. Auch hatte man das Gefühl grösserer Anstrengung. In den Versuchsreihen der Tabelle I ist diese Erschwerung am Maximum der Verticaldivergenz und am Ausgleichsmaximum schon sehr deutlich zu merken, und zwar bei *H.*, wenn man den ersten mit dem sechsten, bei *B.*, wenn man den ersten mit dem achten Versuche vergleicht. In anderen Versuchsreihen, in welchen die Versuche nach der einen Richtung noch öfter wiederholt worden waren, haben wir eine noch bei Weitem grössere Erschwerung der Verticaldivergenz im entgegengesetzten Sinne gefunden, wovon Tabelle II ein gutes Beispiel gibt.

Tabelle II.

Maxima der Verticaldivergenz. Dauer jedes Versuchs 5 Minuten. Zwischen den einzelnen Versuchen 3 Minuten Pause.

Versuchs- person	Reihenfolge der Versuche	Hebung rechts	Hebung links
<i>H.</i> 10. April 1898	1	—	3° 10'
	2	2° 12'	—
	3	2° 52'	—
	4	3° 10'	—
	5	3° 27'	—
	6	3° 56'	—
	7	4°	—
	8	4° 30'	—
	9	4° 36'	—
	10	4° 36'	—
	11	—	1° 10'
	12	4° 7'	—
<i>B.</i> 10. April 1898	1	2° 40'	—
	2	—	2° 18'
	3	—	2° 52'
	4	—	3° 10'
	5	—	3° 33'
	6	—	4°
	7	—	4° 13'
	8	—	4° 24'
	9	—	4° 43'
	10	—	5°
	11	—	5° 5'
	12	—	5° 22'
	13	—	5° 22'
	14	—	5° 22'
	15	0° 6'	—
	16	0° 52'	—
	17	—	5° 10'



Diese Erschwerung hätte sich nach dem früher Erörterten voraussetzen lassen, weil der nach mehreren in der einen Richtung angestellten Versuchen zurückbleibende Rest der Verticaldivergenz bei dem nun folgenden, in entgegengesetzter Richtung angestellten Versuche erst überwunden werden muss, ehe die Gesichtslinien in die entgegengesetzte Verticaldivergenz übergehen können. Indessen ist die Erschwerung doch so beträchtlich, dass es fraglich ist, ob sie sich allein hieraus erklären lässt.

3. Ob die Höhendifferenz der beiden Sehobjecte durch Hebung des einen oder durch die Senkung des anderen herbeigeführt wurde, erwies sich in Betreff des erreichbaren Maximums als gleichgültig. War nach mehrmaliger Wiederholung der Hebung des Objectes vor dem einen Auge ein gewisses Maximum der Verticaldivergenz erzielt worden, so konnte man durch eine unmittelbar anschliessende Senkung des Objectes vor dem anderen Auge eine weitere Steigerung der Verticaldivergenz nicht mehr erreichen. Wurde ferner in einer längeren Versuchsreihe stets dasselbe Object gehoben und war in Folge dessen ein Maximum der Verticaldivergenz erzielt, so gelangte man nunmehr durch Senkung des anderen Objectes sofort genau zu demselben Maximum und umgekehrt: Einübung der Versuche mit Senkung des einen Objectes hatte denselben Erfolg wie Einübung mit Hebung des anderen Objectes. Auch wenn zur Erzielung des Maximums zuerst das eine Object gesenkt und nachträglich das andere gehoben wurde, erhielt man das gleiche Resultat wie bei den vorausgegangenen Versuchen mit rein einseitiger Senkung bezw. Hebung.

#### Ueber die der Verticaldivergenz zu Grunde liegende Innervation.

So lange man beim Vorsetzen eines vertical ablenkenden Prismas die Doppelbilder zu unterscheiden vermag, hat man es in der Gewalt, die zur Fusion nöthige Verticaldivergenz der Gesichtslinien entweder dadurch herbeizuführen, dass das eine Auge sich hebt, oder dadurch, dass das andere sich senkt. Fixirt man während der ganzen Dauer der Fusionsbewegung einen Punkt des höher erscheinenden Bildes, so erfolgt die Ausgleichung durch einseitige Senkung desjenigen Auges, dem das untere Bild zugehört, fixirt man aber einen Punkt des unteren Bildes, durch einseitige Hebung des Auges, welchem das obere Bild zugehört. Man vermag auf diese

Weise, wie Hering (1868, S. 8) sagte, „ein Auge ein wenig zu heben und zu senken, während das andere unverrückt feststeht.“ Fixirt man abwechselnd das obere und das untere Bild, so kommt die Verticaldivergenz theils durch Senkung des einen, theils durch Hebung des anderen Auges zu Stande.

Die Möglichkeit einseitiger Hebung oder Senkung beweist aber noch nicht, dass dieselben durch eine nur einseitige Innervationsänderung zu Stande kommen, und es ist nicht zutreffend, wenn Simon (1896, S. 113) sagt, Hering habe zugegeben, dass „stärkere Hebung resp. Senkung des einen Auges nur durch eine rein einseitige Innervation zu erklären ist“. Er sagt nur (1868, S. 8), dass diese Thatsachen „sich mit der Annahme einer immer gleichmässigen Innervation beider Augen nicht in derselben Weise vereinbaren lassen wie die Ungleichheit der Bewegungen beider Augen nach rechts oder links, weil wir dort nicht wie hier eine Concurrenz zweier verschiedener Innervationen des Doppelauges annehmen können.“

Fasst man, wie Hering, die Verticaldivergenz der Gesichtslinien als eine vorübergehende Lösung oder Ueberwindung einer motorischen Association oder Synergie auf, so handelt es sich lediglich um das Aufbringen eines Innervationsunterschiedes bezüglich der beiderseitigen „Verticalmotoren“ des Doppelauges an Stelle der gewöhnlichen Innervationsgleichheit. Der Grösse dieses Unterschiedes in der einen oder anderen Richtung entspricht das Maass der jeweiligen Verticaldivergenz. Inwieweit der Innervationsunterschied durch Steigerung oder Minderung (Hemmung) bestehender Innervationen des einen oder anderen Auges oder beider herbeigeführt wird, bleibt dabei zunächst ganz dahingestellt. Alle im Obigen betreffs der Verticaldivergenz angeführten Thatsachen sind aus dieser Auffassung ohne Weiteres erklärlich. Dagegen schliesst dieselbe von vornherein die von Simon discutierte Möglichkeit aus, dass, wenn z. B. bei einseitiger Hebung des einen Auges und gleichzeitigem Stillstand des anderen das eben mögliche Maximum der Hebung erreicht ist, nun auch noch, während das gehobene Auge festgehalten wird, das andere gesenkt werden könnte. Ebenso schliesst Hering's Auffassung die Annahme aus, dass ausser den von ihm für das Doppelauge angenommenen noch zwei weitere angeborene Synergien anzunehmen seien: eine zwischen den Hebern des rechten und den Senkern des linken Auges, und eine zwischen den Hebern des linken und Senkern des rechten Auges, eine An-

nahme, welche ebenfalls die angeführten Thatsachen in einfacher Weise erklärt, wie dies auch Simon abweisend und neuerdings Reddingius (1898, S. 65) zustimmend erörtert haben. Würde z. B. die gemeinschaftliche Innervation der Heber des rechten und der Senker des linken Auges mit einer gleichstarken gemeinschaftlichen Innervation der Heber beider Augen concurriren, so würden die Wirkungen dieser beiden gleichzeitigen Innervationen des Doppel-  
 auges sich am einen Auge summiren, am anderen aber gegenseitig aufheben, ganz ebenso, wie dies Hering bezüglich der Concurrentz der gemeinschaftlichen Innervation des m. rect. externus des einen und des m. rectus int. des anderen Auges mit einer gemeinschaftlichen Innervation beider mm. interni erörtert hat.

Nach dieser Annahme würde es sich also bei Herstellung einer Verticaldivergenz der Gesichtslinien um die Benützung einer angeborenen Synergie handeln, während nach Hering vielmehr die vorübergehende Lösung oder Ueberwindung einer solchen Synergie anzunehmen wäre.

Wir kennen keine Thatsache, durch welche die eine oder andere Annahme zwingend ausgeschlossen würde.

Wir finden aber in den beschriebenen Thatsachen auch keinerlei Beweis für die neuerdings wieder von Simon (1896) vertretene Annahme, dass es sich bei den beschriebenen Versuchen um eine rein einseitige Innervation handle. Schon oben wurde erörtert, dass die Möglichkeit, das eine Auge unbewegt zu halten, während das andere sich hebt oder senkt, gar nichts dafür beweist, dass dabei nicht auch die Innervation des feststehenden Auges geändert wird. Denn angenommen, das feststehende Auge empfinde, während das andere Auge eine Hebungsinervation erhält, gleichzeitig eine Senkungsinervation, so würde die Wirkung der letzteren in der oben beschriebenen Weise durch eine gleichzeitige, beiden Augen gemeinschaftliche Hebungsinervation aufgehoben werden können, während am anderen Auge beide Hebungsinervationen sich summiren würden. Mit einer solchen gemeinschaftlichen Hebungsinervation beider Augen wäre die merkbare Bewegung des Sammelbildes während der Hebung des einen Objectes ebenfalls in Einklang. Jene gleichzeitige, aber gegensinnige Innervation der Verticalmotoren des Doppel-  
 auges würde aber ganz in derselben Weise stattfinden, gleichviel, ob z. B. das rechtsseitige Object gehoben oder das linksseitige gesenkt, ob dasselbe Prisma aufwärts wirkend vor das rechte oder

abwärts wirkend vor das linke Auge gehalten wird. Daher wäre es auch selbstverständlich, dass, wenn bei Bewaffung des einen Auges mit einem aufwärts wirkenden Prisma das erreichbare Maximum der bezüglichen gegensinnigen Innervation der Verticalmotoren bereits aufgebracht wäre, dieselbe nicht dadurch noch verstärkt werden könnte, dass man nun auch noch vor das andere Auge ein abwärts wirkendes Prisma hält. Denn dieses könnte ja doch die Verticaldisparation der Bilder nur ebenso verstärken, als wenn man zu dem aufwärtswirkenden Prisma des ersten Auges noch ein zweites hinzufügen würde. Das Ausmaass der zur Fusion der beiden Bilder nöthigen gegensinnigen Verticalinnervation ist ja lediglich durch die Grösse ihrer anfänglichen Höhendisparation, nicht aber durch ihre absolute Höhenlage bedingt.

## II. Gegensinnige Rollung der Augen um die Gesichtslinie.

### Vorbemerkungen.

Im Hinblick auf die zusammenfassende Darstellung von Hering (1879, S. 504 ff.) halten wir eine neuerliche Aufzählung der Literatur über unsern Gegenstand für überflüssig. Hier mögen zunächst nur die wesentlichen, über die symmetrische (Nagel) oder gegensinnige (Hering) Rollung der Augen bereits feststehenden Thatsachen Erwähnung finden, während strittige Punkte erst gelegentlich der Erörterung unserer zugehörigen Versuche genauer dargelegt werden sollen.

Der allgemeine Charakter der Rollbewegungen gleicht nach Hering (1869, S. 8 ff.) dem der ungleichen Höheneinstellung, sodass das oben über letztere Gesagte auch hier Anwendung findet. Sie werden herbeigeführt, wenn man das Gesichtsfeld des einen Auges gegen das des anderen oder beide Gesichtsfelder gegen einander um die Gesichtslinie als Achse sehr allmählig verdreht. In beiden Fällen vertheilt sich die ausgleichende Rollung wenigstens annähernd gleichmässig auf beide Augen (Helmholtz 1866, S. 478, Nagel 1868).

### Untersuchungsmethoden und allgemeiner Verlauf eines Versuches.

Wir benützten zu den Rollungsversuchen ein Haploskop, welches so eingerichtet war, dass es eine messbare Drehung der auf eine

Metallscheibe geklebten Druckschriften oder identischer Zeichnungen gestattetete.

Die Grösse der Rollung der Augen hatte Nagel (1868) ohne Weiteres an dem Grade der Drehung gemessen, welche man einer der beiden identischen Druckschriften im Stereoskope ertheilen kann, ohne dass Doppelbilder bemerklich werden. Diese Bestimmung ist sehr ungenau. Nach Verdrehung der Druckschriften bildet sich, solange diese Drehung noch nicht durch eine entsprechende Rollung der Augen wieder ausgeglichen ist, nur noch der dem Drehpunkt der Scheibe entsprechende Doppelbuchstabe auf correspondirenden Stellen ab, die nach rechts und links abliegenden Doppelbuchstaben aber auf längsdisparaten, die nach oben und unten abliegenden auf quer- und die schräg abliegenden auf schrägdisparaten Stellen; alles um so mehr, je weiter der bezügliche Buchstabe vom Drehpunkt abliegt. Wendet man den Blick nicht dem centralen, sondern einem etwas excentrisch liegenden Doppelbuchstaben zu, so wird eine Längsdisparation seiner Bilder sofort durch entsprechende Verticaldivergenz der Gesichtslinien, eine Querdisparation durch Aenderung der Horizontalconvergenz derselben ausgeglichen, sodass beide Bilder des Buchstabens auf correspondirende Stellen zu liegen kommen, während nunmehr der zuvor fixirte wie auch alle übrigen Buchstaben disparat abgebildet werden.

Könnten nun nicht auch mässig disparate Bilder zu einem einfachen Sammelbilde vereinigt werden, so müsste jede Zeile der Doppeldruckschrift in spitzwinklig gekreuzten Doppelbildern erscheinen und nur der jeweils fixierte Buchstabe könnte einfach gesehen werden. In Wirklichkeit aber erscheint die Doppeldruckschrift auch dann noch einfach, wenn beide Netzhautbilder derselben eine ziemlich erhebliche Rollungsdisparation haben, weil letztere den fixirten Buchstaben garnicht, seine ringsum gelegenen Nachbarn äusserst wenig und nur die weiter excentrisch gelegenen in erheblichem Maasse betrifft, sodass Doppelbilder überhaupt nur indirect sichtbar werden und sehr leicht unbemerkt bleiben können. Die Bedingungen für das Einfachsehen trotz bestehender Disparation sind also hier viel günstiger, als bei der früher besprochenen Verticalverschiebung des einen Gesichtsfeldes relativ zum andern, wobei die centralen Theile der Netzhautbilder dieselbe Disparation haben wie die excentrischen.

Da also bei den Rollungsversuchen die Doppeldruckschrift auch

dann einfach gesehen werden kann, wenn die Verdrehung derselben noch lange nicht vollständig durch Rollung der Augen ausgeglichen ist, so ist der Grad der dabei bestehenden Verdrehung der Objecte nicht auch zugleich ein Maass für den Grad der erfolgten Rollung der Augen, vielmehr ist letztere im Allgemeinen erheblich kleiner als erstere.

Man bedarf also auch hier zweier Controllinien, deren jede nur einem Auge sichtbar ist, um aus deren gegenseitiger scheinbarer Lage im binocularen Sehfelde die gegenwärtige Lage der beiden Netzhäute erschliessen und beurtheilen zu können, inwieweit die Verdrehung der Objecte durch Rollung der Augen ausgeglichen ist, bezw. wie viel noch zum vollen Ausgleiche fehlt.

Zu diesem Zwecke wird auf der rechten und linken Druckschrift in ungleicher Höhe je eine horizontale Linie gezogen, die den Zeilen der Druckschrift genau parallel verlaufen<sup>1)</sup>. Im binocularen Verschmelzungsbilde der Druckschriften sieht man dann zwei übereinander liegende Linien, die nur dann genau parallel erscheinen, wenn die beiden Druckschriften sich genau correspondirend auf der Doppelnetzhaute abbilden. Besteht jedoch trotz Einfachsehens noch eine Disparation der Bilder, so verräth sich dies sofort dadurch, dass die beiden Linien nach der einen oder andern Seite hin convergiren. Um den Grad der jeweiligen Disparation jederzeit messen zu können, ersetzen wir die eine Controllinie durch einen Draht, welcher der Druckschrift möglichst dicht — aber ohne sie zu berühren — anlag und um den Mittelpunkt der Druckschrift drehbar war, sodass man ihm eine beliebige Neigung zur Richtung der Zeilen geben konnte. Erscheinen die eine Controllinie und dieser Draht auf einem beliebigen Stadium des Versuchs im Verschmelzungsbilde der Druckschriften nicht parallel, so entspricht der Winkel, um welchen der Draht bis zur Herstellung des Parallelismus gedreht werden muss, demjenigen Winkel, um welchen die Rollung der Augen hinter der Drehung der Druckschrift zurückgeblieben ist.

Ausser durch die scheinbare Lage der Controllinien verräth sich eine Disparation der Netzhautbilder auch dadurch, dass das Sammelbild der beiden vertical stehenden Druckschriften nicht auch vertical, sondern mit dem oberen Ende dem Gesicht zu oder von ihm weg

---

1) Warum solche Controllinien nicht vertical oder schräg gelegt werden sollen, findet man erörtert bei Hering (1879, S. 358 Anmerk.).

geneigt erscheint. Diese bekannte stereoskopische Erscheinung ist die Folge der queren Disparation, mit welcher alle ober- und unterhalb der fixirten Zeile gelegenen Doppelbuchstaben sich abbilden.

Der Gang eines Versuches gestaltet sich bei Verwendung dieser Methode folgendermaassen: Verdreht man die eine Druckschrift zunächst um einen so kleinen Winkel gegen die andere, dass sich die Höhendisparation der Bilder beider Augen noch nicht durch Doppelbilder bemerklich macht, so merkt man zuerst nur eine deutliche Convergenz der Controllinien nach einer Seite und die eben erwähnte Neigung der Druckschrift gegen den Beschauer. Sowie man aber die Druckschrift längere Zeit betrachtet, so rollen die Augen sehr bald nach, die Neigung der Fläche schwindet immer mehr und die Controllinien werden sehr angenähert parallel. Dreht man die Scheiben noch weiter, so wiederholt sich alles, nur mit dem Unterschiede, dass die Rollung der Augen immer langsamer und schwieriger erfolgt und die Verdrehung der Objecte bald nicht mehr ganz ausgeglichen wird, also eine geringe Convergenz der Controllinien dauernd bestehen bleibt. Je grösser die Drehung der Objecte, um so mehr bleibt im Allgemeinen die Rollung der Augen hinter ihr zurück, obwohl sie zunächst noch stetig weiter steigt. Schliesslich treten nicht mehr überwindbare verticaldistant Doppelbilder auf, und die Rollung der Augen erreicht jetzt ihr Maximum. Dasselbe ist jedoch nicht leicht zu messen, weil bei der geringsten Unaufmerksamkeit die Augen gegen die Ausgangsstellung zurückrollen; dann überkreuzen sich die Doppelbilder der verschiedenen Zeilen, sodass ein wirres Durcheinander entsteht, in welchem eine Orientirung nicht mehr möglich ist. Insbesondere ist man nicht im Stande, durch Willensanstrengung auch nur angenähert die frühere Lage der Augen wiederherzustellen.

Wegen der Unsicherheit der Messung des erwähnten Maximums der Rollung haben wir nicht dieses selbst gemessen, sondern jenen Grad der Rollung, bei welchem nicht mehr zu beseitigende Doppelbilder eben aufzutreten begannen. Dieser Betrag der Rollung ist von dem im betreffenden Versuche erreichbaren Maximum nur sehr wenig verschieden und kann daher mit grosser Annäherung an Stelle des letzteren gesetzt werden.

Dreht man die Objecte aus der extremen Lage, bei welcher es schon Mühe macht, das Vereinigungsbild festzuhalten, stufenweise gegen die Ausgangsstellung zurück, so wird die anfangs sehr be-

trächtlich gewesene Convergenz der Controllinien immer kleiner und kleiner. Dann folgt ein Stadium, in welchem bei sprungweisem Zurückdrehen die Controllinien im ersten Augenblick sogar eine kleine Convergenz nach der entgegengesetzten Seite zeigen, d. h. in diesem Augenblick ist der Rollungswinkel der Augen sogar etwas grösser als der Winkel, um den die Objecte gegen einander verdreht sind. Lässt man die Druckschrift eine Zeit lang in dieser Stellung, so folgt sehr rasch auf die, eine Uebercorrectur andeutende Convergenz ein vollkommener Parallelismus, und nach ebenso kurzer Zeit tritt abermals eine Convergenz der Controllinien in der ursprünglichen Richtung auf. Dreht man jetzt wieder rasch um einen kleinen Winkel zurück, so wiederholt sich derselbe Vorgang, nur dass der wieder erreichte Parallelismus allmählig stabiler wird. Schliesslich erreicht man eine Stellung, bei welcher die Controllinien andauernd parallel bleiben, bei welcher also die gesammte jetzt noch vorhandene Drehung der Objecte durch die Augenrollung dauernd und vollständig ausgeglichen ist. Wir wollen diesen Betrag der Rollung als das Ausgleichsmaximum bezeichnen. Dreht man die Objecte schliesslich ganz in die Ausgangsstellung zurück, so folgen die Augen der Drehung nur langsam nach, sodass trotz des im Sinne der Zurücknahme der Rollung wirkenden Fusionszwanges noch längere Zeit hindurch ein geringer Rest der Rollung mittels der Controllinien nachweisbar bleibt.

Es war daher vorauszusehen, dass die Nachdauer der Rollung noch bedeutender sein würde, wenn man die Augen nach dem Versuche ohne jeden Fusionszwang sich selbst überlässt. Um dabei den Rollungsrest messen zu können, verfahren wir so, dass wir nach der Bestimmung des Maximums der Rollung das ganze Object der einen Seite durch einen weissen, auf eine dünne Blechscheibe geklebten Carton verdeckten. Diese Blechscheibe umfasste mittels eines übergreifenden Randes halbkreisförmig den Rand der drehbaren Metallscheibe, auf der sich die Druckschrift befand, und durch Stiftanschläge war dafür gesorgt, dass die Blechscheibe sich bei jedem neuen Versuche in gleicher Lage befand. Auf dem Carton war vom Mittelpunkt der Scheibe aus in der einen Richtung ein radiärer Strich gezogen, auf der andern Seite ein ebensolcher Strich in entgegengesetzter Richtung. Bei einer Drehung der Scheiben gegen einander, wie sie der Rollung der Augen entsprach, ergänzten sich beide Radien zu einem Durchmesser. Zur Festhaltung des



Convergenzgrades waren ausserdem auf beiden Seiten gleich grosse concentrische Kreise um den Mittelpunkt der Scheibe gezeichnet.

Es zeigte sich, dass die Augen bei Ausschluss jedes Fusionszwanges nach der Rollung sogleich ein grosses Stück gegen ihre Ruhelage zurückgehen, und dass nur ein relativ kleiner Rest von Rollung längere Zeit bestehen bleibt. Dieser Rest verschwindet auch nach dem Herumblicken im Zimmer, also nach Einwirkung eines entgegengesetzt gerichteten Fusionszwanges, nicht sofort, sondern ist noch längere Zeit hindurch nachweisbar. Die Augen verhalten sich also nach der Rollung ähnlich wie nach der ungleichen Höheneinstellung, nur ist der bleibende Rest im ersteren Falle kleiner, als im letzteren.

#### Ueber das Verhalten der Rollung bei häufiger Wiederholung der Versuche.

1. Wie die ungleiche Höheneinstellung, so wird auch die Rollung der Augen um so grösser, je länger die gegen einander gedrehten Objecte betrachtet werden. Da man mit Hülfe des isolirt für sich drehbaren Drahtes die Rollung der Augen ohne irgendwelche sonstige Aenderung der Versuchsbedingungen in jedem Augenblicke messen kann, so lässt sich das Anwachsen der Rollung im Verlaufe eines Versuches unmittelbar ziffermässig feststellen. Weniger gleichmässige Resultate liefern die Messungen des Maximums bei einer grösseren Zahl in gleichen Zeiträumen aufeinander folgender Einzelversuche von stets gleicher Dauer. Doch sieht man ebenfalls meist ein ganz deutliches, wenn auch nicht immer sehr bedeutendes Ansteigen des Maximums im Verlaufe einer solchen Versuchsreihe, am ehesten noch bei kurzdauernden Versuchen. Bei etwas längerer Dauer derselben wird das Maximum der Versuchsreihe oft schon am Schluss des ersten Versuchs erreicht, und die späteren Versuche unterscheiden sich vom ersteren nur dadurch, dass das Maximum viel rascher erreicht wird. Nur ausnahmsweise unter ganz besonders günstigen Versuchsbedingungen, deren Herbeiführung man aber nicht in der Gewalt hat (vgl. Verticaldivergenz, S. 15), kann manchmal im Laufe der Versuche noch eine beträchtliche Zunahme der Rollung erfolgen. So stieg bei dem einen von uns einmal während einer längeren Versuchsreihe das Maximum der Rollung von  $10^{\circ}$  auf  $20^{\circ}$ , was — nebenbei bemerkt — der höchste Betrag der Rollung war, den wir überhaupt erreichten. Viel entschiedener, obwohl auch nie

so gross als bei der ungleichen Höheneinstellung, ist der Einfluss der Dauer der Betrachtung auf das Ausgleichsmaximum der Rollung.

Tabelle III gibt ein Beispiel für das Gesagte.

Tabelle III.

H. 20. Juli 1899. Dauer des Einzelversuches: 3 Minuten.  
Pause zwischen den Versuchen: 3 Minuten.

Reihenfolge der Versuche	Rollungen der Augen mit dem oberen Pole			
	nach aussen		nach innen	
	Rollungs- maximum	Ausgleichs- maximum	Rollungs- maximum	Ausgleichs- maximum
1	—	—	$7\frac{1}{2}^{\circ}$	$4\frac{1}{2}^{\circ}$
2	$5^{\circ}$	$2\frac{1}{3}^{\circ}$	—	—
3	$6\frac{3}{4}^{\circ}$	$3\frac{3}{4}^{\circ}$	—	—
4	$6\frac{3}{4}^{\circ}$	$4\frac{1}{2}^{\circ}$	—	—
5	$7^{\circ}$	$5^{\circ}$	—	—
6	$8^{\circ}$	$5\frac{1}{2}^{\circ}$	—	—
7	—	—	$6\frac{3}{4}^{\circ}$	$2\frac{3}{4}^{\circ}$
8	—	—	$7\frac{1}{2}^{\circ}$	$3\frac{3}{4}^{\circ}$
9	—	—	$7^{\circ}$	$4^{\circ}$
10	—	—	$9^{\circ}$	$4^{\circ}$
11	—	—	$9\frac{1}{2}^{\circ}$	$3\frac{3}{4}^{\circ}$
12	$5^{\circ}$	$3\frac{1}{4}^{\circ}$	—	—

Der nach einem Versuche zurückbleibende Rollungsrest zeigt sich während einer Versuchsreihe nach jedem Einzelversuche ebenfalls bis zu einem geringen Grade vergrössert (vgl. Tabelle IV auf S. 27). Aber auch hier fällt auf, dass die Grenze des Anwachsens viel früher erreicht wird als bei der Verticaldivergenz.

Bezüglich eines etwaigen dauernden Einflusses der Uebung ist dasselbe zu sagen wie bei der Verticaldivergenz. Wir bezweifeln einen Einfluss auf das überhaupt erreichbare Maximum der Rollung hier sogar noch mehr als dort, angesichts der Thatsache, dass wir in unseren allerersten Versuchen, bei welchen nur das Ausgleichsmaximum bestimmt wurde, im Ganzen und Grossen dieselben Werthe erhielten wie zuletzt nach sehr häufiger Wiederholung der Versuche. Auch hat Herr Dr. Garten, der die Freundlichkeit hatte, einige Versuche für uns auszuführen, gleich bei den ersten Versuchen dasselbe durchschnittliche Maximum der Rollung erreicht wie wir nach Jahre langer Uebung ( $10-12^{\circ}$ ). Nur gelang es uns, diese Rollungsmaxima in viel kürzerer Zeit (drei Minuten) zu erreichen, als ihm (zehn Minuten).

2. Sind nach einander eine Anzahl von Rollungen in stets gleichem Sinne ausgeführt worden, so ist danach die Rollung im entgegengesetzten Sinne erschwert (vgl. zum Folgenden Tabelle III und IV). Diese Erschwerung äussert sich vor Allem darin, dass die Rollung etwas langsamer vor sich geht als am ausgeruhten Auge. Macht man die Einzelversuche kurz, so kann man in Folge dessen ein Kleinerwerden des Maximums constatiren. Bei länger dauernden Versuchen braucht dasselbe gar nicht verändert zu sein, da sich die Augen indessen gewissermaassen von der Nachwirkung der vorausgegangenen entgegengesetzten Rollung frei gemacht haben. Viel deutlicher ist die Verminderung des Ausgleichsmaximums, doch ist auch diese nicht so bedeutend wie bei der ungleichen Höhenginstellung. Endlich schlägt natürlich auch der bleibende Rest der Rollung beim Wechsel der Rollungsrichtung allmählig nach der entgegengesetzten Seite um. Bemerkenswerth ist dabei, dass nach dem ersten Versuche in der entgegengesetzten Richtung trotz eines relativ hohen Rollungsmaximums der Rollungsrest der vorausgegangenen Versuchsreihe wieder zum Vorschein kommen kann. (Vgl. Versuch 7, 8 und 12 in Tabelle IV, wo Rollungen in dem der Ueberschrift der betreffenden Hauptcolonne entgegengesetzten Sinne mit negativem Vorzeichen versehen wurden.)

Tabelle IV.

B. 20. November 1899. Dauer des Einzelversuches: 5 Minuten. Dauer der Pausen zwischen den Versuchen: 5 Minuten.

Reihenfolge der Versuche	Rollung der Augen mit dem oberen Pole					
	nach aussen			nach innen		
	Rollungs- rest vor d. Versuche	Rollungs- maximum	Rollungs- rest 1' nach d. Versuche	Rollungs- rest vor d. Versuche	Rollungs- maximum	Rollungs- rest 1' nach d. Versuche
1	—	—	—	0°	10½°	2½°
2	— 2°	10°	1½°	—	—	—
3	0°	9¾°	1°	—	—	—
4	0°	12½°	1¾°	—	—	—
5	1°	15½°	2¾°	—	—	—
6	1¼°	16°	3°	—	—	—
7	—	—	—	— 1¾°	9½°	0°
8	—	—	—	— ½°	10½°	1½°
9	—	—	—	0°	12°	1°
10	—	—	—	½°	12¼°	1½°
11	—	—	—	1°	12¼°	2½°
12	— 1¼°	12½°	— ¼°	—	—	—

3. Waren am Ende einer Versuchsreihe die Rollungsmaxima der Einzelversuche bei alleiniger Drehung des einen Objectes annähernd constant geworden, so wurde die Rollung auch dann nicht grösser, wenn nachträglich noch das vor dem anderen Auge befindliche Object im Sinne der auszuführenden Rollung weiter gedreht wurde.

4. Für die nach öfter im gleichen Sinne wiederholten Rollungen eintretende Erleichterung der gleichgerichteten bzw. Erschwerung der entgegengesetzten Rollung ist es ganz gleichgültig, ob die Rollung durch ausschliessliche Drehung des Objectes einer Seite oder durch abwechselnde Drehung des rechten und linken Objectes herbeigeführt wurde.

#### Ueber den Antheil beider Augen an der Rollung bei Drehung nur eines Objectes.

Schon Helmholtz (1866, S. 478) und Nagel (1868, S. 233) haben mit Sicherheit nachgewiesen, dass auch dann, wenn nur das Object auf der einen Seite gedreht wird, beide Augen sich an der ausgleichenden Rollung betheiligen; sie schätzten den Antheil eines jeden Auges an der Rollung wenigstens annähernd auf die Hälfte der Gesamtrollung. Helmholtz erzeugte durch eine Prismencombination eine Drehung des einen Gesichtsfeldes gegen das andere und entwickelte, wenn die Bilder beider Augen sich vereinigt hatten, in diesen das Nachbild eines horizontalen Streifens. Nach Hinwegnahme der Prismen zeigen sich dann beim Blick auf eine weisse Fläche die Nachbilder beider Augen anfangs geneigt gegen eine horizontale Linie, „wahrscheinlich in beiden Augen um gleichviel“, in jedem aber nach anderer Richtung.

Nagel stellte seine Versuche mit einem Prismenstereoskope an, welches er auf zwei identische, in geeignetem Abstände neben einander liegende Druckschriften aufsetzte; jede derselben konnte um einen Stift, welcher durch ihre Mitte hindurchgesteckt war, rotirt werden. Auf der einen Druckschrift befestigte er dann zwischen zwei Zeilen einen schmalen rothen Streifen und fixirte denselben nach erfolgter Rollung so lange, bis ein deutliches Nachbild entstand. Dann wurde (das Stereoskop entfernt und) eine horizontale Linie auf einer gegenüberliegenden Wand fixirt. Dabei zeigte sich, dass das Nachbild einen Winkel mit der Horizontalen bildete, den Nagel auf die Hälfte des Drehungswinkels des Objectes („event. geringer“) schätzte.

Also ist, so folgerte er daraus, der Gesamtbetrag der Rollung gleich dem Betrage der Blattdrehung und vertheilt sich anscheinend gleichmässig oder unter Bevorzugung des der einseitigen Drehung entsprechenden Auges auf beide Seiten. Gerade diese Alternative ist aber für die Beurtheilung der hier behandelten Augenbewegungen von Wichtigkeit.

Zur Entscheidung dieser Frage erwies sich von den Methoden zur Bestimmung der absoluten Netzhautlage nur die Nachbild-Methode als geeignet. Die Bestimmung der Grenze des blinden Fleckes ist hierzu wegen ihrer Ungenauigkeit nicht verwendbar. Die Nachbildmethode kann in der Form benützt werden, dass man sich nach erfolgter Rollung Nachbilder von einem binocular betrachteten, in Wirklichkeit einfachen, in Folge der Rollung aber doppelt erscheinenden Objecte erzeugt und nach dem Zurückgehen der Rollung die Abweichung der Nachbildlage in beiden Augen vom gemeinschaftlichen Vorbilde feststellt. Solche Bestimmungen führten wir an einem von Herrn Professor Hering zu diesem Zwecke abgeänderten Haploskop aus, dessen Spiegel durch zwei planparallele Glasplättchen von gleicher Dicke ersetzt waren. Auf diese Weise konnte man der Versuchsperson je nach der Vertheilung der Beleuchtung entweder das Spiegelbild der in gewöhnlicher Weise in dem Haploskoprahmen seitlich angebrachten Sehobjecte (identische Druckschriften auf drehbaren Metallscheiben) oder aber ein geradeaus vor den Augen des Beobachters gelegenes Object durch die Gläser hindurch sichtbar machen. Letzteres bestand aus einer mit weissem Carton überzogenen kreisrunden Metallscheibe, in deren Mitte sich eine Fixationsmarke befand. 3 mm seitlich von derselben war über die ganze Scheibe ein querer Strich gezogen. Die Metallscheibe konnte vermittelst Schnurläufen vom Beobachter beliebig gedreht und ihre Stellung an einer auf der Rückseite derselben angebrachten Gradtheilung abgelesen werden. Vor die Scheibe liess sich auf einfache Weise in einer stets gleichen, durch den Querstrich auf der Scheibe genau bestimmbaren Lage eine elektrische Lampe mit geradlinigem Kohlenfaden anbringen, der im selben Augenblick durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht wurde. Die Mitte des Kohlenfadens war durch ein vorn auf die Glasröhre geklebtcs Papierstreifen verdeckt.

Der Gang eines Versuches, während dessen der Kopf durch ein Beissbrettchen fixirt war, war nunmehr der, dass man zunächst

die eine oder andere von den durch passend verstärkte Beleuchtung allein sichtbar gemachten Druckschriften so lange drehte, bis eine ansehnliche Rollung erzielt war. Brachte man sodann den Kohlenfaden zum Glühen, so sah man zwei sich kreuzende Doppelbilder von demselben, deren mittlere Partien durch den erwähnten Papierstreifen verdeckt waren. An dieser Stelle blieb ein Wort der Druckschrift sichtbar, durch dessen Fixation das Fortbestehen der Rollung gesichert wurde. Nach der Erzeugung der Nachbilder wurde die Glühlampe aus dem Gesichtsfelde entfernt, die Rollung durch Zurückdrehen der Druckschrift zurückgenommen und die Beleuchtung der letzteren so stark abgeschwächt, dass der Beobachter nur den Carton mit der Querlinie sah. Diese wurde dann durch Drehen der Metallscheibe unter steter Fixation des Centrums der letzteren bald dem einen bald dem anderen Nachbilde parallel gestellt, wobei ein Anderer die jedesmalige Einstellung der Scheibe an der auf der Hinterfläche derselben befindlichen Gradtheilung ablas. So konnte man die Abweichung der Richtung der Doppelbilder von der Richtung des Kohlenfadens und damit den Antheil jedes Auges an der Rollung bestimmen.

Eine zweite Form des Versuches, zu der sich dieselbe Anordnung verwenden lässt, ist die, dass man das Nachbild des Glühfadens vor der Rollung, also auf identischen Querschnitten beider Augen erzeugt. Die auf der Metallscheibe befindliche Querlinie ist dabei so eingestellt, dass sie durch den Kohlenfaden genau verdeckt wird. Regulirt man nun beim Versuch die Beleuchtung des Hintergrundes so, dass die Querlinie stets im Gesichtsfelde sichtbar bleibt, so erscheint sie während der Rollung in sich kreuzenden Doppelbildern. Ist der Antheil beider Augen an der Rollung gleich gross, so muss die Abweichung beider Doppelbilder von der Lage des Nachbildes des Glühfadens gleich gross sein, d. h. das Nachbild muss den Winkel, welchen die Doppelbilder der Linie miteinander einschliessen, halbiren.

Es ergab sich nun nach beiden Methoden das gleiche Resultat: bei Drehung auch nur eines Objectes vertheilt sich die Rollung ganz gleichmässig auf beide Augen. Die Abweichungen, die Nagel angibt, erklären sich wohl aus der Ungenauigkeit seiner Methode, auf welche wir hier nicht weiter einzugehen brauchen.

### Ueber die Localisation der Netzhautbilder während der gegensinnigen Rollung.

Verdreht man im Haploskop die eine Scheibe rasch gegen die andere, so dass die Augen nicht gleich schnell folgen können, und lässt man dann die Objecte (identische Druckschriften) ruhig stehen, so nähern sich die anfangs sichtbaren Doppelbilder der Zeilen in Folge der inzwischen auftretenden Rollung ganz allmähig, aber die Bewegung erfolgt in der Regel so langsam, dass man sie nur selten direct wahrnehmen kann. Meist kann man sie bloss aus der jeweilig geänderten Lage der Doppelbilder erschliessen. Ist die Rollung so weit vorgeschritten, dass die Drehung der Objecte bis auf einen kleinen nur mit den Controllinien nachweisbaren Rest ausgeglichen ist, so sieht man als einzigen Unterschied gegenüber dem früheren Bilde, dass die Druckzeilen, wenn sie vor dem Versuche horizontal standen, jetzt im Sinne der ausgeführten Drehung geneigt erscheinen. Diese scheinbare Neigung der Objecte ist die Folge der Betheiligung beider Augen an der Rollung. Denn in Folge der letzteren weichen die Querschnitte beider Netzhäute im gleichen Sinne von der Richtung der Druckzeilen ab: ist z. B. das rechte Object gedreht worden, so wird, wie wir gesehen haben, die eine Hälfte der Drehung durch eine gleichgerichtete Rollung des rechten Auges, die andere Hälfte durch gegensinnige (symmetrische) Rollung des linken Auges ausgeglichen. Da nun das linke Object unverrückt geblieben ist, so bilden sich die Druckzeilen, vorausgesetzt, dass die Augen die ganze Drehung nachgemacht haben, auf identischen Schrägschnitten beider Netzhäute ab.

Unter der Annahme, dass bei diesen Versuchen stets Linien, welche sich auf den queren Mittelschnitten abbilden, horizontal gesehen werden, sollte man erwarten, dass die scheinbare Neigung der Druckschrift gleich sei dem halben Rollungswinkel. Ferner müsste ein in beiden Sehfeldern an identischen Stellen angebrachter Strich, wenn er die Drehung nicht mitgemacht hat, während des Bestehens der Rollung in Doppelbildern erscheinen, welche unter der obigen Voraussetzung beide den gleichen Winkel mit der subjectiven Horizontalen einschliessen. Dies Verhalten wird denn auch thatsächlich von Nagel angegeben. Wir fanden dagegen bei diesen Versuchen, wenn zu Beginn derselben die Druckzeilen horizontal standen und nur eine der beiden Druckschriften gedreht wurde, regelmässig in

bestimmter Weise abweichende Resultate: 1. erscheint während der Rollung das Bild des in Wirklichkeit horizontalen Striches in demjenigen Auge, vor welchem das Object gedreht wurde, stärker geneigt als das der andern Seite; 2. erscheint die Druckschrift stets um viel weniger geneigt, als der Hälfte der ausgeführten Rollung entspricht; 3. wird bei Zurücknahme der Rollung die Druckschrift schon horizontal gesehen, lange bevor die Ausgangsstellung erreicht ist, und nach rascher Zurücknahme der ganzen Rollung erscheint die Druckschrift zunächst nach der entgegengesetzten Seite geneigt; 4. bildet, wenn bei bestehender Rollung beide Druckschriften so lange parallel mit einander gedreht werden, bis die Zeilen horizontal erscheinen, stets jenes Object, durch dessen Drehung die Rollung herbeigeführt wurde, einen bedeutend grösseren Winkel mit der Horizontalen, als das andere Object.

Da wir nun durch die Nachbildmethode eine gleichmässige Betheiligung beider Augen an der Rollung sicher erwiesen hatten, so liessen diese Versuchsergebnisse keine andere Deutung zu, als dass unter den gegebenen Verhältnissen nicht mehr die auf Querschnitten sich abbildenden Linien horizontal gesehen werden.

Es liess sich leicht nachweisen, dass diese Erscheinung auf einer Täuschung beruht, welche ganz ebenso beim gewöhnlichen Sehen ohne Rollung der Augen zu beobachten ist. Wenn man ein das ganze Gesichtsfeld ausfüllendes Object, dessen Contouren im wesentlichen aus verticalen und horizontalen Linien bestehen, zur Seite neigt und die Aufgabe hat, einen frei beweglichen Draht horizontal zu stellen, so stellt man ihn immer etwas schräg nach der Seite der Objectneigung hin. Versucht man ein so geneigtes Object nach längerer Betrachtung wieder horizontal zu stellen, so belässt man ihm zunächst einen Rest von Neigung. Stellt ein anderer das Object wirklich horizontal, so erscheint es dem Beobachter nach der entgegengesetzten Seite geneigt.

In gleicher Weise beeinflusst die während der Rollung allmählig auftretende Neigung der Druckzeilen gegen die queren Mittelschnitte die Localisation der Netzhautbilder. Es werden nunmehr solche Linien horizontal gesehen, welche sich auf Schrägschnitten abbilden, die im Sinne der Objectneigung  $\frac{1}{2}$  von der horizontalen Trennungslinie abweichen.

In jenem Auge, dessen Object gedreht ist, findet diese Ab-



weichung in gleichem Sinne statt wie die Rollung, im andern Auge jedoch im entgegengesetzten Sinne. Betrachtet man also einen horizontalen Strich, der die Drehung der Objecte nicht mitmacht, so muss dessen Bild im ersteren Auge stärker, im letzteren schwächer geneigt erscheinen, als der Rollung des bezüglichen Auges entspricht. Aus dieser Aenderung des subjectiven Horizontes erklären sich auch die übrigen (oben unter 2. und 4. angeführten) Thatsachen.

Wenn man vor Beginn des Versuches die beiden Objecte um den halben Winkel der späteren Drehung des einen Objectes nach der entgegengesetzten Richtung neigt, so erscheint nach erfolgter Rollung der Augen das Vereinigungsbild der Objecte horizontal, und die Doppelbilder des erwähnten horizontalen Striches oder Drahtes erscheinen nunmehr unter gleichem Winkel zum subjectiven Horizonte geneigt. Die Beeinflussung des Endresultates durch die anfängliche Objectneigung ist hierbei so gering, dass man sie vernachlässigen kann.

#### Ueber das Vorkommen von gegensinnigen Rollungen beim gewöhnlichen Sehen.

Während Höhendivergenzen beim gewöhnlichen Sehen mit ganz normalen Augen nie gefordert werden, ist das Auftreten schwacher gegensinniger Rollungen beim normalen binocularen Sehen direct nachweisbar. Alle Beobachter, welche die Lage der horizontalen und verticalen Trennungslinien in beiden Augen wiederholt und unter verschiedenen Umständen bestimmt haben, haben gefunden, dass dieselben zu verschiedenen Zeiten in etwas verschiedenem Grade gegen einander gedreht sind (Helmholtz 1896, S. 848 ff., Hering 1880, S. 358 ff.). Schon Hering (1880, S. 506) hat diese Schwankungen der Lage der horizontalen Trennungslinien zurückgeführt auf kleine Rollungen der Augen, welche zum Zweck der Verschmelzung nicht ganz identisch abgebildeter Linien erfolgen. Das gilt für alle jene Fälle, in welchen gemäss den bekannten Gesetzen der Augenbewegungen die mittleren Querschnitte nicht in der Blickebene liegen. Bei dauernder Einhaltung solcher Augenstellungen wird eine kleine corrigirende Rollung erfolgen, welche nach dem Aufgeben der Augenstellung erst ganz allmählig abklingt. Dies geht z. B. ganz klar hervor aus der Angabe von Helmholtz (1867, S. 702), dass seine horizontalen Trennungslinien in der Blickebene liegen, wenn er vorher nur ferne Gegenstände angeblickt hat, oder wenn er

längere Zeit hindurch behufs Bestimmung der Netzhautlage unter Ausschluss von Fusionszwang seine Gesichtslinien parallel erhalten hat. Kommt er aber vom Lesen oder Schreiben, stellt er also die Versuche nach länger dauernder Convergenz an, so findet er eine geringe Neigung der äusseren Enden beider horizontaler Trennungslinien nach unten von wechselnder Grösse, die aber bei längerer Fortsetzung der Versuche wieder schwindet.

Diese allmählig abnehmende Rollung kann nicht etwa eine Nachwirkung jener Auswärtsrollung der Augen sein, welche mit der Accommodation und Convergenz associirt ist und die Abweichung vom Listing'schen Gesetze beim Nahesehen bedingt. Denn diese Auswärtsrollung bei der Convergenz erfolgt auch, wenn gar kein Zwang zur Rollung vorhanden ist. Ferner tritt sie nicht allmählig auf, sondern ist bei der Convergenzeinstellung sofort voll vorhanden und verschwindet sofort, wenn man zur Parallelstellung der Gesichtslinien übergeht. Sie verhält sich also ganz anders, als die im Interesse des binocularen Einfachsehens erfolgenden Rollungen.

### III. Divergenzstellung der Gesichtslinien.

Zu den ungewöhnlichen Fusionsbewegungen gehören schliesslich auch diejenigen, bei welchen die Gesichtslinien behufs Verschmelzung der beiden Netzhautbilder noch über den Parallelismus hinaus in Divergenzstellung übergeführt werden. Bezüglich der Literatur über diese Augenbewegung verweisen wir wiederum auf die Darstellung von Hering (1879, S. 507).

Zur Herbeiführung divergenter Augenstellungen verwendeten wir in bekannter Weise das Hering'sche Haploskop, an dessen Gradbogen man, insoweit trotz der Objectverschiebung noch einfach gesehen wird, die jeweilige Divergenz der Gesichtslinien ablesen könnte, wenn nicht auch hier schon Einfachsehen möglich würde, ehe noch die Gesichtslinien die zu genau correspondirender Lage der Netzhautbilder nöthige Divergenz erreicht haben. Um nun auch den trotz des Einfachsehens noch bestehenden Rest der Disparation messen und denselben von dem am Gradbogen abgelesenen Winkel in Abzug bringen zu können, benützten wir eine Methode, die schon bei der ungleichen Höheneinstellung erwähnt wurde. In dem Gesichtsfelde des einen Auges befindet sich ein verticaler Strich (Controllinie), in dem des andern Auges eine horizontale Millimeterscala. Jene Stelle

der letzteren, durch welche der Strich hindurchgeht, sobald die beiden Zeichnungen genau auf identische Stellen fallen, wird als Nullpunkt bezeichnet. Schneidet der verticale Strich eine andere Stelle der Millimeterscala, so kann man aus der Entfernung dieser Stelle vom Nullpunkt ohne Weiteres die Grösse der Disparation messen, mit welcher sich die identischen Objecte in beiden Augen abbilden.

Es stellte sich nun heraus, dass eine geringe derartige Disparation schon bestehen bleibt bei kleinen Verschiebungen der Objecte, welche im Uebrigen von den Augen ganz rasch ausgeglichen werden (in unseren Versuchen schon bei  $1^{\circ}$  Divergenz). Bei höheren Divergenzgraden wird der Disparationsrest immer grösser und schliesslich so bedeutend, dass Doppelbilder sichtbar werden. Diese lassen sich Anfangs noch für kurze Zeit vereinigen, bleiben aber nicht mehr dauernd beisammen, und bei weiterem Verschieben zerfällt das Bild endgiltig in Doppelbilder von beständig schwankender Distanz. Aber selbst dann wächst bei andauernder Betrachtung der Objecte die Divergenz der Augen noch etwas an, so lange nämlich, als die Doppelbilder nicht allzuweit von einander entfernt sind. Bei dieser Stellung der Objecte erreicht man also das Maximum der Divergenz in betreffenden Versuche. Schiebt man darauf die Objecte wieder ruckweise gegen die Ausgangsstellung zurück, so sieht man jedes Mal im ersten Augenblick einen vollen Ausgleich der Objectverschiebung durch die Divergenz, aber schon nach ganz kurzer Zeit stellt sich wieder eine Differenz zwischen beiden im oben angegebenen Sinne ein. Erst wenn man ganz nahe an die Ausgangstellung herankommt, verschwindet diese Differenz vollständig. Eine Art Ausgleichsmaximum ist also auch bei den Divergenzversuchen vorhanden, aber der Betrag desselben ist unbedeutend.

Im Verlaufe einer längeren Versuchsreihe steigt das Maximum der Divergenz bei jedem Einzelversuch ganz allmähig bis zu einem schliesslich ungefähr gleich bleibenden Werthe an. Dieser Anstieg des Maximums ist wohl sehr deutlich ausgesprochen (in einer Versuchsreihe von *H.* z. B. von  $6^{\circ} 20'$  beim I. Versuch bis zu  $8^{\circ} 11'$  beim X. Versuch, bei *B.* von  $5^{\circ} 13'$  beim I. Versuch bis zu  $6^{\circ} 27'$  beim XI. Versuch), bleibt aber weit zurück hinter dem Anstieg bei der ungleichen Höheneinstellung. Noch weit unbedeutender ist der Anstieg des Ausgleichsmaximums. Ob bei diesen Versuchen immer nur das Object auf der einen Seite oder abwechselnd die Objecte beider Seiten verschoben wurden, ist für den Erfolg gleichgiltig.

Lässt man während der Pause zwischen zwei Versuchen den Blick nicht wie gewöhnlich im Zimmer schweifen, sondern betrachtet man mit beträchtlicher Convergenz ( $20-30^\circ$ ) eingestellte Objecte im Haploskop, so ist darnach die Divergenzbewegung subjectiv und objectiv sehr merklich erschwert. Diese Versuche wurden in zweifacher Weise ausgeführt. Das eine Mal wurde die relative Accommodationsbreite in Anspruch genommen, d. h. die Convergenz bei unveränderter Entfernung der Objecte aufgebracht; das andere Mal sorgten wir durch Vorsetzen der entsprechenden Concavgläser für eine dem Convergenzgrade entsprechende Accommodation. Bezüglich des Ergebnisses konnten wir in beiden Fällen keinen Unterschied constatiren.

Die durch länger dauernde starke Convergenz verursachte Erschwerung der Divergenz erstreckt sich nicht bloss auf den ersten, sondern andeutungsweise selbst noch auf den zweiten darauf folgenden Versuch, wenn sie auch nie so stark ausgesprochen ist, wie unter analogen Verhältnissen bei der ungleichen Höheneinstellung. In dem oben herangezogenen Versuche von *B.* sank z. B. das Maximum der Divergenz, welches bei einer Anzahl voraufgegangener Versuche constant  $6^\circ 20'$  betragen hatte, nach einer fünf Minuten lang anhaltenden starken Convergenz ( $20^\circ$ ) beim ersten folgenden Versuche auf  $5^\circ 20'$ , stieg dann beim zweiten auf  $6^\circ 6'$  und erreichte den früheren Betrag ( $6^\circ 20'$ ) erst beim dritten Versuche. Anscheinend wird auch das Ausgleichsmaximum der Divergenz nach vorheriger Convergenz geringer, aber die Differenzen sind hier sehr klein, sodass sie durch die unvermeidlichen Fehler der Bestimmung nahezu verdeckt werden. Es wäre indessen möglich, dass man durch sehr lange anhaltende Convergenz grössere Differenzen erzielt<sup>1)</sup>.

Bei allmählig steigender Divergenz nahm die scheinbare Grösse der Sehdinge sehr bedeutend zu, ohne deutlich bemerkbare Aenderung der scheinbaren Entfernung des Objectes. Am ehesten schien es uns, als wenn sich das Object näherte. Dieses Grössererscheinen der Dinge ist analog der von Koster (1896) ausführlich erörterten Makropsie bei Inanspruchnahme des negativen Theils der relativen Accommodationsbreite.

---

1) Dafür scheint eine Beobachtung von Koster (1896) zu sprechen, bei welchem nach zweistündigem Tragen starker adducirender Prismen ein manifester Strabismus convergens entstand, der einige Stunden anhielt.

### Zusammenfassung der Ergebnisse.

Von den im obigen besprochenen Fusionsbewegungen bieten die Verticaldivergenz und die gegensinnige Rollung im Wesentlichen analoge Erscheinungen. Sie lassen sich willkürlich weder einleiten, noch beschleunigen oder aufhalten und machen durchaus den Eindruck des durch die ungewöhnlichen äusseren Verhältnisse Erzwungenen. Ihr Eintreten erfolgt nur allmählig, und nur wenn die Zwangsverhältnisse fortbestehen, kann man immer grössere Abweichungen von der Norm erzielen. Durch längere Uebung lässt sich wohl ein rascherer Verlauf dieser Fusionsbewegungen, aber kaum ein grösserer Umfang derselben erreichen als unter günstigen Umständen bei der ersten Versuchsreihe.

Wird der äussere Anlass, durch welchen die bezügliche Innervation herbeigeführt wurde, wieder beseitigt, so verschwindet letztere nicht sofort, sondern klingt anfangs rasch, weiterhin nur ganz allmählig ab und bleibt mit einem kleinen Reste noch längere Zeit fortbestehen, der um so grösser ist, je länger und in je stärkerem Maasse die ungewöhnliche Innervation bestanden hat. Ein neuer dem ersten entgegengesetzter Fusionszwang beschleunigt zwar ihr völliges Verschwinden, vermag sie jedoch keineswegs sofort gänzlich aufzuheben; vielmehr kommt nach Beseitigung des zuletzt einwirkenden Fusionszwanges zunächst immer wieder ein Rest der ursprünglichen Innervation zum Vorschein, und zwar mitunter selbst dann noch, wenn bereits eine ganz beträchtliche Ablenkung der Augen in dem der anfänglichen Bewegungsrichtung entgegengesetzten Sinne erfolgt war.

Ferner ist bemerkenswerth, dass die Fusionsbewegung stets hinter der durch die Verschiebung oder Verdrehung der Objecte geforderten etwas zurückblieb, und zwar um so mehr, je näher die Augen dem Maximum der Verticaldivergenz oder Rollung kamen. Ebenso ging bei theilweiser Zurücknahme der Verschiebung oder Drehung der Objecte die Fusionsbewegung weiter zurück, als zur correspondirenden Lage der Netzhautbilder nöthig war. Erst wenn man die Objecte wieder nahe an die Ausgangsstellung zurückgebracht hatte, erfolgt eine ebenso vollkommen correspondirende Abbildung der Objecte in beiden Augen, wie sie beim gewöhnlichen Sehen möglich ist.

Ferner kann selbst dann, wenn die Disparation der Netzhautbilder schon einen Grad erreicht hat, bei welchem nicht mehr einfach gesehen wird, durch weitere Steigerung der Disparation noch ein Fortschreiten der Fusionsbewegung erzielt werden.

Sind die beschriebenen Fusionsbewegungen einmal erfolgt, so bleiben die zu Grunde liegenden Innervationen auch bestehen, so lange ihr Anlass anhält und werden als tonische Innervationen während aller willkürlichen Augenbewegungen beibehalten. Sie charakterisiren sich dadurch, wie schon Hering seinerzeit erörterte (1868, S. 16 und 131) und neuerdings wieder Reddingius ausführte (1898, S. 67 ff.), als eine Art von Anpassung (Adaptation) an geänderte, bezw. pathologische Verhältnisse. Ihre Bedeutung für das Individuum wird also vorzugsweise dann zu Tage treten, wenn irgend welche Störungen im motorischen Apparate der Augen vorhanden sind. Solche Störungen können schon bedingt sein durch kleine Incongruenzen (Ungleichmässigkeiten) in der Ausbildung des motorischen Apparates auf beiden Seiten. Schon in diesem Falle, den man noch nicht als pathologisch bezeichnen kann, würde die sogenannte Ruhestellung beider Augen verschieden sein. Noch deutlicher kann dies werden bei mässiger „Insufficienz“ eines bestimmten Muskels. In diesen Fällen, solange sie nicht über ein gewisses Maass hinausgehen, kann die Abweichung der beiderseitigen Augenstellung durch Einstellbewegungen von der beschriebenen Art ausgeglichen werden, welcher Ausgleich, einmal vollzogen, bestehen bleibt, solange das Binocularsehen fort dauert: die Augen haben unter dem Zwange des binocularen Sehens gewissermaassen eine neue Ausgangstellung für ihre Bewegungen angenommen.

Die dritte der ungewöhnlichen Fusionsbewegungen, die Divergenzbewegung, weist zwar auch einige von den soeben zusammengefassten Merkmalen der beiden erstbeschriebenen auf — (sie zeigt einen während des Versuchs wachsenden Disparationsrest, vermag noch zu steigen, während schon doppelt gesehen wird, sie wird durch vorangegangene gleiche Versuche erleichtert, durch vorhergegangene entgegengesetzte Innervation erschwert) —, indessen nimmt sie doch eine Sonderstellung ein. Dies beruht darauf, dass sie gewissermaassen nur die Fortsetzung einer willkürlichen Augenbewegung ist, nämlich des Uebergangs aus einer stärkeren

zu einer geringeren Convergenz, bezw. zum Parallelismus der Gesichtslinien. Während daher die beiden anderen hier besprochenen Fusionsbewegungen in ihrem Verlaufe durchaus nicht willkürlich zu beeinflussen sind, ist dies bei der Divergenzbewegung ohne weiteres möglich, da die zur entgegengesetzten Bewegung führende (Convergenz-)Innervation unserm Willen untersteht. Aus demselben Grunde erfolgt die Divergenzbewegung, solange noch keine Doppelbilder gesehen werden, viel rascher als die Verticaldivergenz und die gegensinnige Rollung.

---

### L i t e r a t u r.

---

1848. F. C. Donders, Ueber den Zusammenhang zwischen dem Convergiere der Sehachsen und dem Accommodationszustande der Augen. Holländ. Beiträge zu den anatom. u. physiol. Wissensch. Bd. 1, S. 379.
1858. A. Graefe, Ueber die Störungen des gemeinschaftlichen Sehens. Deutsche Klinik Bd. 10, S. 82.
- P. L. Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel. Schwers'sche Buchhandlung.
1861. A. Nagel, Das Sehen mit zwei Augen. Leipzig und Heidelberg.
1864. E. Hering, Beiträge zur Physiologie. 5. Heft. Leipzig. Engelmann.
1865. H. Helmholtz, Ueber die Augenbewegungen. Verhandl. d. naturhist. Vereins in Heidelberg. Heidelb. Jahrb. d. Literatur S. 255 und 257.
1867. H. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig.
1868. E. Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen. Leipzig. Engelmann.
- A. Nagel, Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 14, Abth. 1 S. 228.
1869. E. Hering, Ueber die Rollung des Auges um die Gesichtslinie. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 15, Abth. 1. S. 1.
1871. A. Nagel, Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie. Zweite Abhandlung. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 17, Abth. 2 S. 237.
1876. F. C. Donders, Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen. Pflüger's Arch. f. Physiol. Bd. 13, S. 373.
1879. E. Hering, Artikel „Raumsinn des Auges. Augenbewegungen“ in Hermann's Handb. d. Physiologie Bd. 3, Th. 1, S. 343 ff.
1880. A. Graefe, Artikel „Motilitätsstörungen“ in Graefe-Saemisch's Handb. der Augenheilkunde Bd. 6, Th. 4. Leipzig. Engelmann.
1891. A. Graefe, Ueber Fusionsbewegungen der Augen beim Prismaversuche. v. Graefe's Arch. f. Ophth. Bd. 37, Abth. 1 S. 243.

1892. Schneller, Zur Lehre von den dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. Bd. 38, Abth. 1, S. 71.
1896. H. Helmholtz, *Physiol. Optik.* 2. Auflage.
- W. Koster, Zur Kenntniss der Mikropie und Makropie. v. Graefe's Archiv f. Ophth. Bd. 42, Abth. 3, S. 134.
- R. Simon, Zur Lehre von der Entstehung der coordinirten Augenbewegungen. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorg.* Bd. 12, S. 102.
1897. L. Hermann, Kleine physiologische Bemerkungen und Anregungen. 2. Abnorme Augenstellung durch freiäugiges Stereoskopiren. *Pflüger's Arch. f. Physiol.* Bd. 65, S. 600.
1898. R. A. Reddingius, *Das sensumotorische Sehwerkzeug.* Leipzig. Engelmann.
1899. R. A. Reddingius, Die Fixation. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* Bd. 21, S. 417.
-