Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Physiologische Studien.

Von **Dr. Johann Czermak** in Prag.

(Mit III Tafeln.)

ERSTE ABTHEILUNG.

Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.

---

§. 1. Von den Accommodationslinien [1]).

Mit der Zunahme der Entfernung eines leuchtenden Punktes von einer Collectiv-Linse oder einer solchen Linsen-Combination, nimmt die Grösse der Vereinigungsweite der von ihm ausgehenden Strahlen ab, und umgekehrt.

Jene Zunahme und diese Abnahme geschehen aber nicht in gleichem Verhältnisse, sondern es nehmen, lässt man den leuchtenden Punkt sich stätig bis ins Unendliche von der Linse entfernen, die Vereinigungsweiten der Strahlen anfangs schneller ab als später, wenn der leuchtende Punkt schon weiter entfernt ist, so, dass die Differenz der Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen zweier in constanter Entfernung hinter einander gelegenen Punkte, eine verschiedene ist, je nachdem die beiden Punkte nahe oder entfernt sind.

Die Differenz der Vereinigungsweiten ist um so grösser, je weniger, um so kleiner, je mehr die leuchtenden Punkte von dem dioptrischen Apparat entfernt sind. Es versteht sich ferner von selbst, dass die Differenz der Vereinigungsweiten auch mit der Entfernung der leuchtenden Punkte von einander wächst, und abnimmt, wenn die Punkte näher an einander rücken.

Diese Gesetze kann man leicht mit Hülfe der Gleichung für die Linse durch Rechnung finden, und auch experimentell nachweisen. Ich lasse die Berechnung folgen.

---

[1]) Über diesen Gegenstand habe ich schon im Jahre 1850 in den „Verhandlungen der Würzburger med.-physikalischen Gesellschaft“ Bd. I, pag. 184, eine kurze Mittheilung veröffentlicht. Wenn ich hier noch einmal und ausführlicher darauf zurückkomme, so geschieht dies, weil meine erste Notiz fast ganz unberücksichtigt geblieben, und weil ich bei der vorliegenden Umarbeitung manche Verbesserung und Vermehrung anbringen konnte.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die bekannte elementare Gleichung für die Linse ist: $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$. Hiernach haben wir die Differenz der Vereinigungsweiten $(\alpha - \alpha^1)$, der Lichtstrahlen zweier leuchtenden Punkte — deren constante Entfernung von einander $= n$ sei, für zwei Fälle zu berechnen.

Erstens für den Fall, wenn der nähere der beiden Punkte um a von der Linse entfernt ist, und

zweitens, wenn der Abstand a auf ma gewachsen ist.

Im ersten Falle ist die Vereinigungsweite der Strahlen des näheren Punktes $\alpha = \frac{ap}{a-p}$, des entfernteren Punktes aber $\alpha^1 = \frac{p(a+n)}{a+n-p}$ also die Differenz der Vereinigungsweiten $\alpha - \alpha^1 = \frac{ap}{a-p} - \frac{p(a+n)}{a+n-p}$ $= \frac{np^2}{(a-p)(a+n-p)}$. Wenn man nun, während die relative Distanz n der Objecte unverändert bleibt, die Entfernung a zunehmen lässt, so nehmen die beiden Factoren des Nenners zu, der Bruch wird somit kleiner. Für den zweiten Fall wird also die Differenz kleiner, was zu beweisen war.

Wenn a schon so gross ist, dass n und p dagegen vernachlässigt werden können, dann nimmt die Differenz der Vereinigungsweiten $a - \alpha^1$ nahe zu im quadratischen Verhältnisse der Entfernung a ab.

Das zweite oben angeführte Gesetz, ist hiermit eigentlich schon bestätiget, da durch das Wachsen von n, der Zähler des Bruches im Verhältnisse zum Nenner mehr zunimmt, und der Bruch grösser wird, welcher die Differenz der Vereinigungsweiten bedeutet. Auch hier ergeben sich zwei Fälle.

Ein Mal sind die leuchtenden Punkte um n von einander entfernt, das zweite Mal um sn, während der der Linse näher gelegene Punkt seine Entfernung a von derselben unverrückt beibehält. Setzen wir die Differenz der Vereinigungsweiten im ersten Falle $= D$, im zweiten $= d$ so ist offenbar $d > D$; in dem von derselben Grösse $\frac{ap}{a-p}$, erst eine grössere, dann eine kleinern Grösse subtrahirt wurde. —

Die erörterten Gesetze haben auch für den lichtbrechenden Apparat unseres Auges Geltung, und es ergeben sich hieraus wichtige Folgerungen für die Lehre von dem Accommodationsvermögen.

Die Differenz der Vereinigungsweiten von Lichtstrahlen, welche von verschieden weit entfernten Punkten herkommen, bedingt das Entstehen und *caeteris paribus* die Grösse der Zerstreuungskreise und

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

somit auch den Grad der dioptrischen Undeutlichkeit der Bilder, indem nur jene Strahlen in einem Punkte auf der Fläche der Retina sich vereinigen, die von einem Punkte des Objectes, das sich in der deutlichen Sehweite befindet, ausgehen, während die Vereinigungspunkte aller übrigen Strahlen, die von näheren oder ferneren Gegenständen kommen, entweder vor oder hinter der Retina liegen, und daher diese um so zerstreuter auf die Retina fallen müssen, je weiter die Vereinigungspunkte in dieser oder in jener Richtung von der Netzhaut entfernt sind.

Bestünden nun die inneren Veränderungen des Auges, welche die verschiedenen Accommodationszustände bedingen, in einer blossen Vergrösserung und Verkleinerung des Abstandes zwischen der hinteren Fläche der Linse und der Retina, so würden offenbar die Unterschiede der Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen, welche von verschieden weit entfernten Gegenständen kommen, beim Sehen in der Nähe viel bedeutender, als beim Sehen in der Ferne ausfallen müssen.

Da wir aber jetzt durch die schönen Untersuchungen von Cramer [1]) in Groningen und Helmholtz [2]), in Königsberg mit Sicherheit wissen, dass die Veränderung des Accommodationszustandes durch die Veränderung des Krümmungshalbmessers der vorderen Fläche der Linse hervorgebracht wird, so können wir obige Folgerung für das Sehen in der Nähe und in der Ferne nicht sofort acceptiren.

Für jedweden Accommodationszustand haben die erörterten Gesetze der Vereinigungsweiten freilich dieselbe Geltung, vergleichen wir jedoch die Verhältnisse der Vereinigungsweiten bei zwei verschiedenen Accommodationszuständen des Auges, so werden wir *caeteris paribus* verschiedene absolute und relative Zahlenwerthe finden. Denn da durch das Convexerwerden der vorderen Fläche der Linse beim Accommodiren für die Nähe der lichtbrechende Apparat des Auges eine kürzere Brennweite bekommt, so werden sämmtliche Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen, welche von näheren und ferneren Objecten kommen, und die Unterschiede derselben, in einem gewissen Verhältnisse, geringer ausfallen müssen.

---

[1]) Het Accommodatievermogen der Oogen, physiologisch toegelicht door A. Cramer. Te Haarlem 1853.

[2]) Monatsbericht der Berliner Akademie. 1853, Februar, S. 137.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Es wäre unter solchen Umständen sogar der Fall denkbar, dass durch das Accommodiren für die Nähe, in Folge der Verkleinerung der Brennweite, die Vereinigungsweiten derart verkürzt würden, dass die von näheren Gegenständen kommenden Lichtstrahlen in Entfernungen vereinigt würden, deren Differenzen absolut geringer ausfielen, als die Unterschiede der Vereinigungsweiten von Lichtstrahlen, welche von entfernteren Objecten kommen, wenn das Auge durch Abplattung der vorderen Linsenfläche und Vergrösserung der Brennweite für die Ferne accommodirt ist. Fände dieser extreme Fall für das Auge Statt, so würde das deutliche Sehen in der Nähe geringere Veränderungen nothwendig machen, als das Sehen in der Ferne. Da aber nach Listing's [1]) Berechnung das ganze Accommodations-Intervall, bei Augen von grösstem Anpassungsumfang, auf $3^{mm}4$ anzunehmen ist, so kann der Unterschied der Brennweiten, welche den Accommodationszuständen für die Nähe und für die Ferne entsprechen, nicht in dem Grade bedeutend sein, um jenen extremen Fall für das Auge möglich zu machen.

Demnach ist es uns, trotz des neu entdeckten Adaptionselementes, doch erlaubt, die oben erörterten Gesetze der Vereinigungsweiten und die Folgerungen aus denselben im Allgemeinen auf das Auge anzuwenden, was im Folgenden geschehen soll. Bevor ich weiter fortfahre, muss ich jedoch der Feinheit des Raumsinnes des lichtempfindenden Theiles des Auges gedenken, denn dieses subjective Moment spielt in der Lehre vom deutlichen Sehen in verschiedenen Entfernungen und vom Accommodationsvermögen eine wichtige Rolle, auf welche ich a. a. O. bereits ausdrücklich aufmerksam gemacht habe.

Ich habe darauf hingewiesen, dass sich die Nothwendigkeit eines Adaptionsvermögens gar nicht einsehen und beweisen lässt, wenn man nicht neben den rein optischen Betrachtungen, auch der Schärfe der räumlichen Wahrnehmung auf der Retina Rechnung trägt.

Die optischen Argumente für die Nothwendigkeit des Accommodationsvermögens haben nämlich so lange kein Gewicht, so lange man nicht gezeigt hat, dass die Retina die, die Undeutlichkeit der Bilder bedingenden Zerstreuungskreise auch wirklich wahrzunehmen im Stande ist.

---

[1]) Listing in Wagner's Handw. IV. Bd. Art. Dioptrik des Auges.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die Retina ist in der That im Stande, die Undeutlichkeit der Bilder, wie dieselbe mit optischer Nothwendigkeit entsteht, wahrzunehmen, doch da die Schärfe der Retina endlich ist, so werden Zerstreuungskreise, deren Durchmesser die Bildgrösse der kleinsten noch wahrnehmbaren Objecte, welche nach Volkmann, Hueck und Listing auf die Sehwinkelgrenze von $1/4$ Bogenminute führen, und somit auch die durch dieselben bedingte Undeutlichkeit der Bilder nicht mehr wahrgenommen. Dies vorausgeschickt, ergibt sich zunächst:

1. dass Dringlichkeit und Grösse der inneren Veränderungen behufs der Accommodation in der Nähe viel bedeutender sind, als beim Sehen in weiteren und und weiteren Fernen.

Listing hat diesen Satz, a. a. O., pag. 500, bestätigt und zugleich berechnet, dass das Auge für Objectweiten von ∞ bis 65^m keiner Accommodation bedarf, da die innerhalb dieser Breite entstehenden Zerstreuungskreise unter die Grenze des Sichtbaren fallen.

Aus denselben Prämissen folgern wir ferner:

2. dass das Auge niemals für einen Punkt, sondern immer für eine Reihe von hinter einander liegenden Punkten, d. i. für eine Linie accommodirt ist. Diese Linie nannte ich Accommodationslinie, und füge jetzt noch die genauere Bestimmung „im engeren Sinne“ hinzu. Der Punkt dieser Accommodationslinie für dessen Entfernung das Auge eigentlich optisch eingerichtet ist, heisst der Accommodationspunkt. Früher hatte ich diesen Punkt als den Hauptpunkt bezeichnet, glaubte aber, um nicht mit Listing's dioptrischen Terminologie zu collidiren, diesen Ausdruck mit dem vorhin gebrauchten, vertauschen zu sollen.

Alle in der Accommodationslinie i. e. S. liegenden Objecte, werden zu gleicher Zeit mit derselben relativen Deutlichkeit gesehen. Die Objecte, welche diesseits oder jenseits der Accommodationslinie i. e. S. liegen, nehmen mit der Entfernung vom Accommodationspunkte an Undeutlichkeit zu.

Um dieses Verhältniss graphisch auszudrücken, könnte man die als eine einfache Linie dargestellte Accommodationslinie i. e. S. an beiden Endpunkten in dem Masse sich verbreitern oder in zwei divergirende Linien auflösen lassen, als die Undeutlichkeit der Bilder

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der diesseits und jenseits der Accommodationslinie i. e. S. gelegenen Objecte zunähmen.

Eine solche graphische Darstellung, des einem jeden Accommodationszustande entsprechenden, durch die endliche Schärfe der Retina einerseits, andererseits durch die optischen Gesetze bedingten Verhältnisses der Deutlichkeit einer unendlichen Reihe stätig hinter einander gelegener Objecte, nenne ich eine Accommodationslinie im weiteren Sinne.

Es entspricht natürlich jedem Accommodationszustand eine besondere Accommodationslinie im weiteren Sinne, deren es daher für ein und dasselbe Auge unendlich viele und verschiedene geben wird. Verschiedene Individuen unterscheiden sich je nach der Beschaffenheit des optischen Apparates und der Schärfe der Gesichtswahrnehmung, durch ihre Accommodationslinien.

Bei genauerer Überlegung kommen folgende Eigenschaften der Accommodationslinien zum Vorschein.

1. Die Accommodationslinien i. e. S. sind nicht gleich lang, sondern nehmen mit der Entfernung des Accommodationspunktes vom Auge, unter übrigens gleichen Umständen zu.

2. Die Accommodationslinien sind um so schärfer begrenzt, je näher der Accommodationspunkt dem Auge liegt.

3. Der Accommodationspunkt liegt nicht in der Mitte der Accommodationslinie, sondern näher dem, dem Auge zugewendeten Ende derselben.

4. Endlich nimmt die Verbreiterung der Linie oder die Divergenz, welche, wie oben erwähnt, das allmähliche Undeutlichwerden der diesseits oder jenseits der Accommodationslinie gelegenen Objecte graphisch andeuten soll, an dem, dem Auge zugekehrten Ende weit rascher zu, als an dem abgekehrten Ende. Dies Verhältniss wird mit der grösseren Entfernung des Accommodationspunktes vom Auge weniger auffallend.

Schlüsslich erlaube ich mir eine Anzahl von Versuchen mitzutheilen, welche durch die vorangeschickten theoretischen Betrachtungen ihre Erklärung finden, und die Richtigkeit meiner Lehre von den Accommodationslinien bestätigen.

a) Spannt man einen langen dünnen Faden in der Verlängerung der optischen Axe des geöffneten Auges auf, so nimmt der Faden voll-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

ständig das Bild einer Accommodationslinie i. w. S. an. Es erscheint in der Umgebung des fixirten (Accommodations-) Punktes eine grössere oder kleinere Strecke des Fadens vollkommen deutlich, während die beiden Enden des Fadens verschwommen und wie aufgerollt aussehen. Jene deutliche Strecke des Fadens entspricht der Accommodationslinie i. e. S., und der oben aufgestellte Satz, dass das Auge nie für einen Punkt, sondern für eine Linie eingerichtet ist, wird hiermit bestätigt. Lässt man das Auge, durch Änderung der Accommodationszustände, an dem Faden hin- und zurückgehen, so wird man bemerken, wie jene deutliche Strecke (die Accommodationslinie) dem vorwärts und rückwärts geschobenen Accommodationspunkte folgt, und zugleich an Länge zunimmt und abnimmt, je nachdem der Accommodationspunkt von dem Auge entfernt, oder dem Auge genähert wird. Ferner wird man leicht beobachten können, dass je näher der Accommodationspunkt dem Auge liegt, die Accommodationslinie i. e. S. auch um so schärfer begrenzt, d. h. der Übergang zu der Undeutlichkeit der Endstücke des Fadens viel rascher und schroffer ist.

Endlich kann dem Beobachter auch nicht entgehen, wie viel bedeutender die Undeutlichkeit des dem Auge zugekehrten Fadenendes für gleiche Längen zunimmt, als die des abgekehrten Fadenendes. Hierbei ergeben sich nach dem Grade der Schärfe der Retina und nach den Verhältnissen des optischen Apparates zahlreiche individuelle Verschiedenheiten.

b) Man mache auf eine Glasplatte einen Punkt mit Dinte oder Farbe, und halte dieselbe vor eine Druckschrift. Mit dem Auge nähere man sich der Platte so viel als möglich, doch so, dass man den aufgetragenen Punkt noch vollkommen deutlich sehen kann. Bei der geringsten Aufmerksamkeit stellt sich nun heraus, dass, wenn der Punkt auf der Glasplatte deutlich gesehen wird, die dahintergelegene Druckschrift ganz undeutlich erscheint, und umgekehrt.

Es hängt von der Willkür ab, bald dieses, bald jenes Object klar und deutlich zu sehen. Dies ist, beiläufig gesagt, der einfachste und schlagendste Beweis für die Existenz eines willkürlichen Accommodationsvermögens. Beobachtet man während dieses Versuches noch etwas genauer, so wird man eine auffallende Verschiedenheit in dem Grade der Undeutlichkeit jenes Objectes finden, für welches das Auge gerade nicht accommodirt ist, wenn man sich mit dem Auge von

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Glasplatte entfernt, ohne jedoch an der Stellung derselben zu der Druckschrift das Mindeste zu ändern. Je weiter sich nun das Auge von den Objecten, oder die Objecte vom Auge entfernen, desto geringer wird die Undeutlichkeit des Gegenstandes, für welchen das Auge nicht accommodirt ist, bis endlich in einer bestimmten Entfernung, welche *caeteris paribus* mit der Grösse des Abstandes zwischen den beiden Objecten (hier der Glasplatte und der Druckschrift) wächst, beide Gegenstände zu gleicher Zeit mit derselben relativen Deutlichkeit gesehen werden. Dies ist der experimentelle Nachweis, dass die beiden oben entwickelten Gesetze der Differenzen der Vereinigungsweiten, trotz der Veränderung des Krümmungshalbmessers der vorderen Linsenfläche beim Accommodiren für die Nähe und Ferne, doch für unser Auge volle Geltung haben.

Beim Sehen in der Nähe genügt schon ein Abstand von wenigen Linien, zwischen zwei hinter einander liegenden Objecten, um eine auffallende Differenz der Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen dieser Objecte zu setzen, und einen hohen Grad von Undeutlichkeit desjenigen Objectes zu bedingen, für welches das Auge nicht accommodirt ist; während beim Sehen in der Ferne klafterweit aus einander gelegene Thürme noch mit derselben relativen Deutlichkeit erscheinen, mag man den näheren oder den ferneren derselben fixiren.

Betragen die Entfernungen zwischen 65^m und ∞, so hört mit dem Bedürfnisse auch die Möglichkeit einer weitern Accommodation auf.

Hiermit ist auch der Satz experimentell erwiesen, dass die Dringlichkeit und Grösse der Accommodationsbewegungen beim Sehen in der Nähe viel bedeutender sind, als beim Sehen in weiteren und weiteren Fernen.

Diesen Satz, welchen ich schon a. a. O. aufgestellt habe, hat neulich Cramer in seiner angeführten trefflichen Preisschrift „über das Accommodationsvermögen der Augen", ohne auf meine frühere Veröffentlichung Rücksicht zu nehmen, bestätiget.

c) Da in den in den eben mitgetheilten Versuchen alle Hauptsätze meiner Lehre von den Accommodationslinien experimentell nachgewiesen sind, so will ich es nur noch versuchen, zwei bestimmte Accommodationslinien meines rechten Auges graphisch darzustellen.

Ich bediente mich zu diesem Zwecke des oft gebrauchten Scheiner'schen Versuches und des Optometers, welches Hasner in der Prager Vierteljahrschrift, Bd. 32, beschrieben hat.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ich befestigte in der rechten Augenöffnung, der an dem einen Ende des horizontalen Brettes des Optometers angebrachten Larve ein Kartenblatt, in welches zwei feine Löchelchen gestochen waren, und stellte auf das horizontale Brett in verschiedenen Entfernungen vom Kartenblatte Nähnadeln auf, welche die Spitzen frei nach oben kehrend, in kleinen Wachsklötzchen stacken.

Sah ich durch die Löchelchen des Kartenblattes auf die in gerader Linie hinter einander stehenden Nadeln, so sah ich dieselben je nach ihrer Entfernung und je nach dem festgehaltenen Accommodationszustande, in bekannter Weise einfach oder doppelt.

In dem einen Versuche war mein Auge für eine Entfernung von 7 W. Z. accommodirt. Die in dieser Entfernung stehende Nadel erschien daher einfach. Die Nadel, welche 4″ entfernt war, erschien schon im Doppelbilde, ebenso die Nadel, welche 27″ entfernt war, mit dem bemerkenswerthen Unterschiede jedoch, dass der Abstand der Doppelbilder von einander im ersten Falle $^3/_4$ W. L., im zweiten aber nur $^3/_8$‴, betrug. Die Nadel von 10″ Entfernung, war hingegen mit fast derselben Deutlichkeit und einfach zu sehen, wie die 7″ weit entfernte Nadel, welche im Accommodationspunkte stand. Die Accommodationslinie i. e. S. beträgt also bei 3″.

Im zweiten Versuche war das Auge für eine Entfernung von 13″ accommodirt. Eine daselbst aufgestellte Nadel erschien einfach und klar, aber auch noch bei 19″ Entfernung war dies der Fall. Die Accommodationslinie i. e. S. betrug hier schon 6″. Bei 27″ Entfernung erschien die Nadel zwar schon unzweifelhaft in Doppelbildern, allein der Abstand derselben war kaum mit Sicherheit zu messen. Erst in einer Entfernung von 844″ betrug die Distanz der Doppelbilder einer Dachrinne des gegenüber liegenden Hauses $^1/_2$‴. Hingegen standen die Doppelbilder einer 7″ entfernten Nadel $^2/_3$‴ von einander ab.

Tragen wir nun die Entfernungen in verkleinertem Massstabe als Abscissen auf eine gerade Linie, und verzeichnen die Abstände der Doppelbilder (ohne dieselben auf einen kleineren Massstab zu reduciren), als Ordinaten, so erhalten wir folgende zwei Curven Fig. 1 und 2, deren Vergleichung eine abermalige Bekräftigung der Lehre von den Accommodationslinien ist.

Es wäre wünschenswerth, zahlreiche und genaue Messungen von Accommodationslinien zu besitzen, da dieselben über die optischen

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Eigenschaften des lichtbrechenden Apparates der Augen, und über die Schärfe der Retina zugleich Aufschluss geben. Es würden sich individuelle Verschiedenheiten des Verhältnisses zwischen diesen beiden Momenten des Sehens ergeben, aus welchen sich ein normaler Mittelwerth dieses Verhältnisses gewinnen liesse.

Freilich müsste man eine bessere Messungsmethode anwenden, als die oben mitgetheilte, da dieselbe manche Schwierigkeit und Fehlerquelle bietet.

Ich hebe namentlich die Schwierigkeit heraus, eine Reihe von Nadeln so in einer geraden Linie hinter einander aufzustellen, dass sich die entstehenden Doppelbilder nicht decken, und den Beschauer nicht verwirren. Da man nicht sicher ist, dass der Accommodationszustand, dessen Accommodationslinie man zu bestimmen sucht, genau derselbe bleibt, so kann man nicht eine Nadel nach der andern untersuchen, was sehr bequem wäre, sondern man muss immer wenigstens zwei Nadeln zu gleicher Zeit im Gesichtsfelde behalten; nämlich: die Nadel, welche im Accommodationspunkte steht, und während des Versuches stets einfach und deutlich bleiben muss, und eine andere beliebig wo stehende Nadel, deren Doppelbild gemessen wird. Hiermit ist wohl diese Schwierigkeit gehoben. Könnte die Fehlerquelle des Verfahrens so leicht vermieden werden, als diese Schwierigkeit gehoben wurde, dann könnte man sich bei dem oben angewendeten Verfahren beruhigen, allein dies ist nicht der Fall, denn als Fehlerquelle bezeichne ich vornehmlich die Wirkung der feinen Löchelchen des Kartenblattes, durch welche man schaut, auf den Accommodationszustand und auf die Grösse der Netzhautbildchen.

§. 2. Über die Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen.

Bringt man ganz nahe vor das Auge ein Kartenblatt oder ein Stück dünnen Bleches, in welchem eine sehr feine, punktförmige Öffnung angebracht ist, so wird 1. ein nur sehr kleiner Theil der Lichtstrahlen, welche von den, vor dem Auge gelegenen Objecten herkommen, durch die feine Öffnung in das Auge gelangen, während der übrige Theil der Strahlen durch den undurchsichtigen Schirm abgehalten wird, und 2. erleiden die durchgelassenen Strahlen eine Dispersion, durch die Ablenkung, welche der Rand der Öffnung auf die an ihm vorbeistreichenden Strahlen ausübt.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die am Ende des §. 1 erwähnten Wirkungen der feinen Löchelchen im Kartenblatte auf den Accommodationszustand und das Netzhautbild erklären sich aus der Verkleinerung der in das Auge gelangenden Strahlenkegel und aus der Dispersion der Strahlen am Rande der Öffnung. Im Folgenden soll diese Erklärung ausgeführt werden, doch will ich vorher die zu betrachtenden Erscheinungen genauer angeben, welche man beim Sehen durch feine Öffnungen wahrnimmt.

A. Beim Sehen durch eine feine Öffnung, wächst die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen, das Löchelchen wirkt wie eine concave Brille oder Zerstreuungsglas.

B. Die Undeutlichkeit der Bilder von Gegenständen, welche nicht in der Accommodationslinie i. e. S. liegen, wird sehr vermindert, wenn man durch ein feines Löchelchen sieht.

C. Accommodirt man für die Ferne, und richtet seine Aufmerksamkeit auf ein sehr nahes Object, oder nähert ein Object dem Auge bis über den Nahepunkt, so dass das Auge nothwendig für einen entfernteren Punkt accommodirt ist, so erscheint dieses Object undeutlich, schiebt man nun ohne sonst etwas zu ändern, ein durchstochenes Kartenblatt zwischen das Object und das Auge, und sieht dann durch das Löchelchen nach dem Object, so erscheint dasselbe relativ deutlich, zwar lichtschwach, aber vergrössert.

D. Kehrt man die Bedingungen um, accommodirt man also für die Nähe, und richtet die Aufmerksamkeit auf ein fernes Object, so wird dieses undeutlich erscheinen. Schiebt man nun wieder das Kartenblatt mit dem Löchelchen vor das Auge, so sieht man jenes Object mit relativer Deutlichkeit, aber verkleinert.

Je näher der Accommodationspunkt dem Auge liegt, desto auffallender tritt *Caeteris paribus*, die Verkleinerung des Bildes, hervor. Wenn man, während das Auge durch das Löchelchen nach fernen Objecten sieht, abwechselnd für die Nähe und dann für die Ferne accommodirt und sämmtliche Accommodationszustände stätig durchlauft, so bemerkt man, dass die gesehenen Objecte in Bewegung gerathen, sich dem Auge nähern und von demselben sich entfernen.

Und zwar in dem Masse, als sich der Accommodationspunct dem Auge nähert, verkleinern sich die fernen Objecte und weichen zugleich zurück. Rückt man hingegen den Accommodationspunkt wieder nach seiner alten Stelle, oder gar noch weiter vom Auge ab,

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

so scheinen die Objecte sich wieder dem Auge zu nähern und grösser zu werden.

Es gibt wohl noch mancherlei andere Erscheinungen, welche beim Sehen durch punktförmige Diaphragmen zu beobachten sind, allein ich beschränke mich auf die Besprechung der hervorgehobenen Thatsachen, da dieselben für uns von Wichtigkeit sind.

Ad *A*. Wenn die Zerstreuung des durch das Löchelchen tretenden Strahlenkegels auch nur unbedeutend ist, so ist dieselbe doch vorhanden, und muss eine, wenn auch unbedeutende Vergrösserung der Vereinigungsweite der Lichtstrahlen bedingen, da die stärker divergirenden Strahlen des zerstreuten Lichtkegels von einem näher gelegenen Punkte zu kommen scheinen, welchem, nach bekannten Gesetzen, eine grössere Vereinigungsweite entspricht.

Dieser Umstand kann nicht ganz ohne Einfluss auf den Accommodationszustand bleiben, und es ergibt sich hieraus, dass die Bestimmung der Accommodationsverhältnisse eines Auges, welches dabei durch ein feines Löchelchen sieht, nicht vollkommen richtig ausfallen kann.

Ad *B*. Das auffallende Deutlicherwerden stark zerstreuter Bilder durch die Anwendung punktförmiger Diaphragmen, erklärt sich durch die bedeutende Verkleinerung der Zerstreuungskreise, von deren Grösse ja die Undeutlichkeit der Bilder hauptsächlich abhängt. Da das kleine Löchelchen nur den kleinsten Theil des einfallenden Strahlenkegels in das Auge gelangen lässt, so kann unter übrigens gleichen Umständen auch nur der kleinste Theil des Zerstreuungskreises übrig bleiben. Wird nun auch durch die Dispersion der Strahlen, am Rande des Löchelchens, der Durchmesser der Zerstreuungskreise wieder etwas vergrössert, immer bleibt der gegenwärtige Durchmesser der Zerstreuungskreise gegen den früheren welchen dieselben ohne das punktförmige Diaphragma hatten und haben würden, noch bedeutend klein und das Bild daher relativ deutlich.

Ein mit einem durchlöcherten Kartenblatt armirtes Auge, verlängert aus diesem Grunde alle seine Accommodationslinien i. e. S., und ändert daher seine ursprünglichen Accommodationsverhältnisse wesentlich.

Ad *C*. Die Grösse, in welcher wir einen Gegenstand sehen, hängt von mehreren Momenten ab, und ist keine unmittelbare Wahrnehmung. Unter übrigens gleichen Umständen steht die gesehene

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Grösse des Objectes in geradem Verhältnisse zu der Grösse des Netzhautbildchens. Desshalb wollen wir zunächst untersuchen, welche Dimensionen das Netzhautbildchen unter den oben vorausgesetzten Umständen haben wird.

Das Auge ist für die Ferne accommodirt, die Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen, welche von nahen Objecten kommen, fallen somit hinter die Netzhaut. Steht der Gegenstand in der vorderen Focalebene, so sind die Vereinigungsweiten ∞ weit hinter der Retina gelegen, d. h. dann laufen die Strahlen der einzelnen Lichtkegel im Glaskörper parallel. Befindet sich der Gegenstand zwischen dem vorderen Brennpunkt und der Oberfläche der Cornea, so werden die Vereinigungsweiten negativ, d. h. es divergiren die im Glaskörper verlaufenden Strahlen der einzelnen Lichtkegel, und schneiden sich virtuell in einem vor der Linse gelegenen Punkte. Das Bild des Objectes wird aus sehr grossen Zerstreuungskreisen zusammengesetzt, und muss daher sehr undeutlich erscheinen.

Die Umrisse dieses zerstreuten Bildes haben aber viel grössere Dimensionen als die Umrisse des entsprechenden Objectes. Denkt man sich nun das durchlöcherte Kartenblatt zwischen Object und Auge geschoben, so werden die Zerstreuungskreise auf ein Minimum reducirt, indem das Kartenblatt die grössere Menge der Strahlen der einzelnen Lichtkegel auffängt. Die Strahlen, welche durchgelassen werden, sind aber jene, welche sich in den äussersten Lichtkegeln an dem Theile der Peripherie befinden, welcher zunächst an der optischen Axe liegt.

Das Object erscheint daher in einem relativ deutlichen und vergrösserten Bilde, welches jedoch lichtschwach ist.

In Fig. 3 und 4 soll diese schon von Henle gegebene Erklärung der Vergrösserung versinnlicht werden; für die Fälle, wo der Gegenstand in oder vor der vorderen Focalebene steht. Henle hat in Müller's Physiologie, S. 340, die Construction für den Fall gegeben, wo das Object hinter der vorderen Focalebene liegt, und die Strahlen im Glaskörper divergirend verlaufen.

Nach dieser Construction, welche immer ein ähnliches Resultat gibt, wenn nur die Differenz zwischen den Entfernungen des Objectes und des Accommodationspunktes eine bedeutende Grösse erreicht, begreift man vollständig die bedeutende Vergrösserung des Bildes. Um aber eine möglichst vollständige Erklärung des Phänomens zu

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

geben, müssen wir noch auf ein subjectives Moment, welches hierbei thätig ist, Rücksicht nehmen. Ich meine die Schätzung der Grösse eines und desselben Stückes der Netzhaut, beim Sehen in der Ferne und der Nähe. Bekanntlich erscheint uns dieselbe Stelle der Netzhaut beim Blick in die Ferne ungleich grösser, als sie uns erscheint, wenn wir das Auge für die Nähe accommodiren. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man sich ein kräftiges Blendungsbild erzeugt, und dann bei geschlossenem oder offenem Auge abwechselnd für die Ferne und für die Nähe accommodirt.

Das Moment kommt nun bei der Vergrösserung des Bildes in Betracht. Das Auge ist in unserem Versuche nach der Voraussetzung für die Ferne eingerichtet. Der dem Auge nahe gerückte, durch das Löchelchen betrachtete Gegenstand, müsste uns also selbst in dem Falle, dass sein Retinabildchen dieselbe Grösse hätte, oder gar um ein Bestimmtes kleiner geworden wäre, als es ist, wenn uns der Gegenstand in seiner natürlichen Grösse erscheint, noch vergrössert vorkommen. Da nun aber unter den angegebenen Umständen das Retinabild überdies aus optischen Gründen objectiv grösser ist, so muss uns die Vergrösserung des Objectes um so bedeutender scheinen.

Vergrössert man künstlich die Brennerweite der Auges, so tritt die Vergrösserung, welche begreiflicher Weise unter gewöhnlichen Umständen nur für relativ nahe Objecte stattfinden kann, selbst für entferntere Gegenstände ein, wie folgender Versuch lehrt.

Ich brachte das Auge unter Wasser, indem ich das von mir beschriebene Orthoskop (Prager Vierteljahrschrift, Bd. 32), anwendete, und blickte durch die mehr als Zoll dicke, das Auge umspühlende Wasserschicht nach dem mehr als 4 Klaftern entfernten Fenster. Da das Auge, welches durch die Wasserschicht der optischen Wirkung der Cornea beraubt war, ungeheuer weitsichtig wurde, so konnte ich in dieser Entfernung Nichts deutlich wahrnehmen.

Brachte ich nun aber ein durchbohrtes Kartenblatt vor das Auge, so erschien mir das Fenster zwar schattenhaft und sehr lichtschwach, aber ungemein vergrössert, und mit ziemlich scharfen Umrissen.

Ad *D.* In diesem Falle lässt sich durch die Betrachtung der optischen Verhältnisse eine objective Verkleinerung des Retinabildchens, und zugleich der in demselben Sinne wirkende Einfluss, des schon im vorigen Falle erörterten subjectiven Momentes

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

nachweisen, so dass die Erklärung des Phänomens keinem Zweifel unterliegt.

Da das Auge für die Nähe accommodirt ist, so muss das Bild eines entfernten Objectes vor die Netzhaut fallen. (Vergl. Fig. 5.) Das Löchelchen des Kartenblattes, welches vor das Auge geschoben wird, bedingt auch hier durch Verkleinerung der Zerstreuungskreise eine grössere Klarheit des Bildes, welches in dem Masse sich verkleinert, als die Vereinigungsweiten der Lichtstrahlen, durch das Accommodiren für die Nähe weiter vor die Retina fallen, indem dann die durchgelassenen Lichtstrahlen, welche von den äussersten Punkten *a* und *b* des Objectes ausgehen, stärker convergiren. Das Bild wird also in der That objectiv kleiner, und hiezu kommt noch die schon oben erörterte Schätzung der Grösse des Retinabildchens, welche, da das Auge für die Nähe accommodirt wird, das Bildchen noch kleiner erscheinen lässt. Warum mit dem Kleinerwerden des Bildes der Gegenstand zugleich in der Dimension der Tiefe sich zu entfernen scheint, bin ich genügend zu erklären nicht im Stande, glaube aber, dass, da eine stätige Verkleinerung des Schwinkels, sowohl durch stätiges Verkleinern des Objectes, als durch stätiges Entfernen desselben hervorgebracht werden kann, der Verstand durch ein noch nicht näher zu bezeichnendes Moment, bestimmt wird, das Phänomen in der letzteren Weise auszudeuten und anzuschauen. Wir haben hier den merkwürdigen Fall, dass eine stereoskopische Anschauung durch ein einziges Auge vermittelt wird.

Je kleiner das Löchelchen ist, welches man bei den beschriebenen und erklärten Versuchen anwendet, desto lichtärmer und desto schärfer begrenzt wird das Retinabildchen erscheinen.

Will man die objective Vergrösserung des Retinabildchens im ersten, die Verkleinerung des Retinabildchens im zweiten Falle auf einen möglichst hohen Grad bringen, so muss man, abgesehen von dem schon oben erwähnten Verhältnisse, zwischen der Entfernung des Accommodationspunktes und des Objectes noch die Stellung des durchbohrten Kartenblattes reguliren. Eine genauere Betrachtung der gegebenen Constructionen (Fig. 3, 4 und 5), wird zu der Einsicht führen, dass die Öffnung des Kartenblattes an dem Punkte stehen muss, wo sich die Strahlen *ac* und *bd* kreuzen, wenn in beiden Fällen der grösste Werth erreicht werden soll, denn diese Strahlen sind es, welche den gewünschten grössten und kleinsten

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Umriss des Retinabildchens verzeichnen. Das Experiment bestätiget meine Angabe. Nähert man das durchbohrte Kartenblatt so weit als möglich der Cornea, so kann man sicher sein, dass das Löchelchen nicht an dem von mir bezeichneten Platze, dem Durchkreuzungspunkte der Strahlen *ac* und *bd* steht, und es zeigt der Versuch, dass die Vergrösserung im ersten, die Verkleinerung im zweiten Falle bei weitem nicht so bedeutend ausfällt, als wenn das Kartenblatt etwas von der Cornea abgerückt wird. Dies gilt besonders für den zweiten Fall, da der angegebene Durchkreuzungspunkt für Strahlen die von entfernten Objecten kommen viel weiter vom Auge abliegt als für Strahlen, die nahe Objecte aussenden.

Die Ungenauigkeit des Verfahrens, welches wir oben zur Bestimmung der beiden Accommodationslinien (§. 1) brauchten, leuchtet aus dem über die Verkleinerung der Netzhautbildchen Gesagten von selbst ein.

Wie die geringe Grösse der Öffnung der Pupille diese Versuche stören kann, ergibt sich leicht aus der Betrachtung der mitgetheilten Constructionen.

Die Beschattung des Auges durch das Kartenblatt, ist der Erweiterung der Pupille und dem Gelingen der Versuche förderlich.

§. 3. Über den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und dem Accommodationszustand der Augen.

Die Erfahrung lehrt, dass der Accommodationszustand der Augen, immer der Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Seh-Axen entspricht, so, dass eine Veränderung des Convergenzwinkels der Seh-Axen auch eine Veränderung des Accommodationszustandes der Augen und umgekehrt zur Folge hat.

Selbst wenn ein Auge geschlossen ist, gilt dieses Gesetz.

Die gegenseitige Abhängigkeit der fraglichen Vorgänge von einander, lässt sich mathematisch ausdrücken, und in eine Formel bringen. In der beigedruckten Fig. 6. sei A das linke, B das rechte Auge, c der Drehpunkt des linken, b der des rechten Auges, bc die Entfernung der beiden Drehpunkte von einander; $a\ a'\ a''\ a'''\ a^*\ a^{**}$ Punkte in welchen sich die Seh-Axen ab und ac unter demselben Convergenzwinkel α schneiden. Diese Punkte liegen daher mit den Punkten b und c in einer Kreislinie, deren Centrum sich in C befindet.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Der Winkel α ist offenbar durch die drei Seiten der Dreiecke abc, $a'bc'$ $a''bc$ . . . . etc., bestimmt.

Aus den gegebenen drei Seiten eines dieser Dreiecke, muss nun α berechnet werden. Die erhaltene Formel hat aber für alle Fälle Geltung, und ist der exacte Ausdruck des oben aufgestellten physiologischen Gesetzes. In dem Dreieck $a'bc$ ist:

$$a'b = a'c \cos\alpha + bc \cos\beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$
$$a'c = a'b \cos\alpha + bc \cos\gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$
$$bc = a'b \cos\beta + a'c \cos\gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Man multiplicire (1) mit $a'b$, (2) mit $a'c$ und (3) mit $-bc$, so erhält man:

$$a'b^2 = a'b\,a'c \cos\alpha + a'b.bc \cos\beta$$
$$a'c^2 = a'b\,a'c \cos\alpha + bc\,a'c \cos\gamma$$
$$-bc^2 = -a'b\,bc \cos\beta - a'c\,bc \cos\gamma.$$

— Man addire diese 3 Gleich. $a'b^2 + a'c^2 - bc^2 = 2a'b\,.\,a'c \cos\alpha$ und setze da

$$\cos\alpha = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

$$\frac{a'b^2 + a'c^2 - bc^2}{2a'b\,a'c} = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

daher

$$2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{a'b^2 + a'c^2 - bc^2}{2a'b\,a'c} = \frac{2a'b\,a'c - (a'c^2 + a'b^2 - bc^2)}{2a'b\,.\,a'c} =$$

$$= \frac{bc^2 - (a'c - a'b)^2}{2a'b\,.\,a'c} = \frac{(bc + a'c - a'b)\,(bc - a'c + a'b)}{2a'b\,.\,a'c}$$

also

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(bc + a'c - a'b)\,(bc - a'c + a'b)}{4a'b\,.\,a'c}}$$

Nennen wir $bc = d$, $a'b = r$, $a'c = l$, so erhalten wir

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(d + l - r)\,(d - l + r)}{4r\,.\,l}}.$$

Für den speciellen Fall, wenn der Kreuzungspunkt den Seh-Axen in der Medianlinie liegt, so dass $l = r$ ist, lässt sich die Formel sehr vereinfachen, nämlich: $\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{l}$.

d bedeutet die Distanz der Drehpunkte der Augen, l und r die Entfernung des Accommodationspunktes für das linke und für das

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

rechte Auge. Dies ist jedoch nicht ganz genau, indem der Abstand des Accommodationspunktes nicht vom Drehpunkt des Auges, sondern von der von der Fläche der Cornea gerechnet werden muss. Daher ist l eigentlich $= \lambda + 12^{mm}$, wo λ den Abstand des Accommodationspunktes und die 12^{mm} die Entfernung des Drehpunktes von der Cornea nach Listing's Messung bedeuten.

r ist aber $= \rho + 12^{mm}$. Diese Werthe von r und l sind in der Formel zu substituiren.

Der Verband zwischen einer bestimmten Stellung der Augenaxen und den nach unserer Formel dazu gehörigen Accommodationszuständen der Augen, ist sehr innig, doch keineswegs absolut. Schon Müller fand, dass wenn man mit einem Auge nach dem Monde sieht, und das zweite anfangs geschlossene Auge öffnet, trotz der Accommodation für die Entfernung des Mondes, ein Doppelbild wahrgenommen wird, welches allerdings sehr rasch durch schnelle Correction der Augenstellung in ein Bild zusammenfliesst. Überdies haben Müller und Plateau auch einen geringen Einfluss der Willkür auf die Accommodation, ohne dass die Axen der Augen sich nothwendig dabei verstellen, beobachtet. Müller kommt daher zu dem Schlusse, dass „jene Verbindung (der Accommodation mit der Augenstellung) secundär, aber nicht eines die constante Ursache des anderen sei.“ (Vergl. Müller's Handbuch der Physiologie. Coblenz 1840, Bd. II, S. 337.)

Durch die späteren Versuche von Volkmann, Ruete und Donders wurde Müller's Ansicht über das gegenseitige Verhältniss von Accommodation und Augenstellung nicht nur bestätigt, sondern es zeigte sich, dass das geheime Band, welches die beiden Vorgänge verknüpft, noch weit lockerer geschlungen sei, als es ursprünglich den Anschein hatte.

Volkmann hat nachgewiesen, dass das Resultat des oben citirten Müller'schen Versuches beim Fixiren des Mondes, nicht nur für grosse Entfernungen der Gegenstände, wie Müller meinte, sondern auch innerhalb der deutlichen Sehweite erzielt werden kann. Wird ein Auge mit der hohlen Hand bedeckt, und fixirt das andere Auge irgend einen Gegenstand, der sich in der deutlichen Sehweite befindet, so tritt derselbe allemal im Doppelbilde auf, wenn man das bedeckte Auge frei macht. Das deutlichste Bild und der Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen fallen somit nicht immer zusammen.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Hieraus folgert Volkmann nicht nur, dass es „zwei verschiedene Bewegungs-Apparate zur Regulirung der Augenstellung und „der Accommodation geben müsse," sondern auch, dass „beide Appa„rate einer gesonderten Thätigkeit fähig sind." Das Zusammenwirken „beider, behufs des deutlichen Sehens, wird, nach Volkmann, „Sache der Gewöhnung, von der wir nicht füglich ablassen können, „so lange die Verhältnisse fortbestehen, unter welchen sie entstanden „ist." „Sehen wir aber nur mit einem Auge, oder wohl gar durch „Kartenlöcher, so ändern sich die Bedingungen, und jede der beiden „Thätigkeiten geht ihren eigenen Weg, ohne die andere ins Schlepp„tau zu nehmen."

(Wagner's Handw., Bd. III, Art. „Sehen", S. 308.)

Ruete machte darauf aufmerksam, dass Menschen, deren Augen eine ungleiche Sehweite haben, doch nicht schielen, wenn nicht der sogenannte Consensus der Muskeln durch andere Ursachen gestört ist, was doch, wie Ruete meint, eintreten müsste, wenn die Stellung der Augen gegen einander mit dem Accommodationszustand in causalem Zusammenhange stünde.

Freilich sind alle Fälle, auf welche Ruete sich bezieht, von sehr geringer Bedeutung zur Feststellung des Verhältnisses zwischen Accommodation und Augenstellung, da sie blos eine abnorme oder künstliche, und nicht eine willkürliche Veränderung des Refractionszustandes des einen Auges betreffen.

Übrigens bestätigt Ruete auch Volkmann's oben angeführte Versuche, und stellt ferner die Behauptung auf, dass Jemand, der willkürlich mit beiden Augen stark nach innen schielen kann, und dabei ein gutes Accommodationsvermögen besitzt, abwechselnd mit dem einen und mit dem andern Auge bei gleich bleibender Convergenz der Seh-Axen ein Buch zu lesen im Stande sei, welches in verschiedener Entfernung vom Kreuzungspunkte der Seh-Axen gehalten wird. (Lehrb. der Ophthalmologie 1845, S. 103.)

Donders endlich hat folgende zwei hierher gehörige Versuche angegeben.

Sieht man mit einem Auge frei, mit dem anderen aber durch die grössere Öffnung einer konisch sich verjüngenden Papierrolle, nach einem in der deutlichen Sehweite gehaltenen Buche, so findet man, dass die beiden Gesichts-Axen nicht auf dieselben Zeilen gerichtet sind, und selbst mit der grössten Mühe nicht auf denselben Buch-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

staben gerichtet werden können, während doch jedes Auge beharrlich für den Abstand des Buches accommodirt ist und bleibt.

Der zweite Donders'sche Versuch gibt zugleich ein Mittel an die Hand, die Grenze der Unabhängigkeit zwischen Augenstellung und Accommodation zu bestimmen und besteht darin, dass man einen Gegenstand bei unveränderter Convergenz der Seh-Axen durch verschieden starke concave und convexe Brillen fixirt. Da es unter diesen Umständen doch gelingt das Object deutlich und einfach zu sehen, so muss sich je nach der Beschaffenheit der Brille, der Refractionszustand der Augen unabhängig von der (gleich bleibenden) Convergenz der Augenaxen geändert haben. Die Brennweiten jener convexen und concaven Linsen bei deren Gebrauch das Vermögen den fixirten Gegenstand deutlich und einfach zu sehen, verloren geht, geben einen Anhaltspunkt zur Bestimmung der Grösse der gegenseitigen Unabhängigkeit der fraglichen Functionen. (Donders: *Over het verband tusschen het convergeren der gezigtsassen en den accommodatie-toestand der oogen. Ned. Lancet 2. Serie, 2. Jaarg. S. 156*). —

Im Folgenden erlaube ich mir meine eigenen Untersuchungen über den vorliegenden Gegenstand, und die Resultate, welche ich mit meinen Augen erhalten habe, mitzutheilen.

Was zunächst die von Müller, Volkmann, Ruete und Donders gemachten Angaben betrifft, so kann ich deren Ergebnisse nach meinen Erfahrungen fast durchgehends bestätigen. Nur in zwei Punkten bin ich zu abweichenden Resultaten gekommen.

Wenn ich Donders recht verstehe, so ist es ihm unter keiner Bedingung gelungen, die beiden Seh-Axen durch eine willkürliche Anstrengung der Augenmuskeln auf denselben Buchstaben zu richten, wenn das eine Auge durch eine Papierdüte mit sehr kleiner Öffnung, das andere Auge frei nach einer Druckschrift sieht.

Hat die Öffnung der Papierdüte einen mehr als liniengrossen Durchmesser, so dass das Gesichtsfeld nicht gar zu beschränkt ist, so kostet es mich eine nur geringe Anstrengung, die Augenstellung zu corrigiren. Aber selbst dann, wenn die Öffnung der Düte sehr klein ist, bin ich oft nach mehrmaliger vergeblicher und sehr bedeutender Anstrengung, noch immer im Stande gewesen, die Augenaxen in demselben Punkte zum Durchschneiden zu bringen.

Der Angabe Ruete's, dass man bei starkem Schielen nach innen ein Buch, welches in einer grösseren Entfernung gehalten wird, als

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen sich befindet, abwechselnd mit einem und dann mit dem andern Auge, ohne Veränderung der Augenstellung, lesen könne, muss ich für meine Person entschieden widersprechen, obschon ich die von Ruete zu diesem Versuche geforderten Eigenschaften — ein gutes Accommodationsvermögen und die Fertigkeit stark nach innen zu schielen — in hohem Grade besitze. Ja ich glaube sogar behaupten zu dürfen, dass Ruete's Angabe kein besonderes Vertrauen verdient, da Ruete nicht sagt, dass er selbst den Versuch angestellt habe, und da ferner gar keine Erscheinungen angeführt sind, durch welche man sich überzeugen könnte, dass die Personen, welchen Ruete diese Mittheilung verdankt, richtig beobachtet haben, wozu besonders in dieser Sphäre Übung und Geschick gehören, die eben nicht Jedermanns Sache sind.

Wenn ich ein Buch vor mir aufgeschlagen habe, und nach Ruete's Vorschrift stark nach innen schiele, so dass der Kreuzungspunkt der Seh-Axen vor die Buchfläche fällt, und „die Reihen der Lettern doppelt" erscheinen, dann bin ich unter keiner Bedingung im Stande, mit völliger Klarheit die Buchstaben zu sehen; denn erzwinge ich die passende Accommodation, so tritt unabänderlich auch die Correction der Augenstellung für die Entfernung des Objectes ein. Freilich, wenn es sich bei diesem Versuche nur um das Lesen, und nicht um deutliches Sehen handelte, dann könnte man Ruete's Angabe schon gelten lassen, indem das Lesen auch bei unvollkommener Accommodation möglich ist. —

Die Doppelreihe von Versuchen, welche ich hier folgen lasse, umfasst alle möglichen Fälle der Trennung, des Zusammenhanges der beiden Functionen, und erschöpft von dieser Seite somit den Gegenstand. Die erste Reihe *(A)* bezieht sich auf die Fälle, ob und in wie weit bei festgehaltener Accommodation die Seh-Axen vor oder hinter den Accommodationspunkt zur Durchkreuzung zu bringen sind, während die zweite Reihe *(B)* die Fälle behandelt, wo bei unverrückter Augenstellung der Accommodationspunkt vor oder hinter den Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen fallen soll.

Ich habe die Augen unter keine künstlichen Bedingungen gebracht, wie z. B. Donders, sondern alle Resultate durch blosse willkürliche Anstrengung erzielt.

A. 1. Halte ich ein aufgeschlagenes Buch in der deutlichen Sehweite vor mich hin, so gelingt es mir, durch eine willkürliche

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Anstrengung der Augenmuskeln, den Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen in verschiedene Entfernung hinter die Buchfläche fallen zu lassen, während doch beide Augen für den Abstand des Buches accommodirt bleiben. Bei myopischen Individuen findet dieses Verhältniss der Accommodation zur Augenstellung immer Statt, wenn sie entfernte Objecte fixiren. Dabei erscheint die Druckschrift natürlich im Doppelbilde. Je weiter hinter das Buch der Kreuzungspunkt der Seh-Axen fällt, desto weiter treten auch die Doppelbilder auseinander.

Der Abstand der Doppelbilder ist gleich dem Abstande der beiden Punkte, wo die Seh-Axen die Buchfläche schneiden, und zeigt also an, um wie viel das eine Auge nach aussen gedreht worden sei, wenn das andere unverrückt geblieben ist.

Die beistehende Fig. 7 erläutert den ganzen Vorgang. Es sei AC die Buchfläche, L das linke, R das rechte Auge; m ein Buchstabe, welcher zuerst von beiden Augen fixirt wird, und daher einfach und deutlich erscheint.

Wird nun das Auge R nach aussen gedreht, so dass die Verlängerung seiner Axe den Punkt n trifft, während das Auge L seine Stellung beibehält, so ist dann o der Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen, und α' der Convergenzwinkel, welcher kleiner ist, als der frühere Winkel α.

Der Buchstabe m muss nun im Doppelbilde erscheinen, und zwar steht m', das zweite Bild von m, eben so weit von m auf der linken Seite ab, als der Punkt n von m auf der rechten Seite entfernt ist, indem m und n an demselben Punkte im Raume gesehen werden, weil ihre Bilder auf identische Stellen der Netzhaut, die gelben Flecke, fallen. Die Bilder, welche das rechte und das linke Auge von der Druckschrift vermitteln, erscheinen über einander verschoben. Das rechte Auge vermittelt das linke, das linke Auge das rechte der Doppelbilder. Die punktirte Linie $A'C'$ zeigt die Stellung des dem rechten Auge entsprechenden Doppelbildes in Beziehung auf das dem linken Auge entsprechende Bild AC. Da die Augen trotz der Verstellung der Augenaxen beharrlich für die Entfernung der Buchfläche accommodirt bleiben, so haben diese Doppelbilder das Eigenthümliche, dass immer eines derselben scharf und deutlich gesehen werden kann. Wo sonst beim Binocularsehen, Doppelbilder zu entstehen pflegen, dort fallen sie meist beide in das indirecte Sehfeld, und entstehen immer unter ungünstigen Accommo-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

dationsverhältnissen, können daher auch nie scharf und deutlich erscheinen.

Je nachdem man die Aufmerksamkeit in dem einen oder in dem anderen Auge concentrirt, kann man den Wettstreit der Sehfelder der unter den Bedingungen des Versuches nothwendig eintreten muss, zu Gunsten dieses oder jenes Auges entscheiden, und bald mit dem rechten, bald mit dem linken Auge mit aller Deutlichkeit die Buchstaben sehen und lesen. Beiläufig will ich bemerken, dass sich die Pupille merklich verkleinert, wenn man die Augenaxen wieder unter dem alten und legitimen Convergenzwinkel α sich kreuzen lässt.

Ich bin, während des Anstellens des aus einander gesetzten Versuches, im Stande, die Doppelbilder nach Belieben mehr auseinander treten zu lassen, und dann wieder zu einem Bilde zu verschmelzen. Es gibt jedoch für meine Willkür einen grössten Abstand der Doppelbilder, den ich trotz aller Anstrengung nicht überschreiten kann — dann ist die Grenze der Unabhängigkeit der Augenstellung von dem betreffenden Accommodationszustande erreicht. Für verschiedene Accommodationszustände sind die Grenzen der Unabhängigkeit nicht dieselben.

Stelle ich den mitgetheilten Versuch mit einem mehrere Fuss weit entfernten Objecte, oder mit noch entfernteren Gegenständen an, z. B. mit dem Fenster eines auf der entgegengesetzten Seite der Strasse liegenden Hauses, mit einem Kirchthurm und dergl., so kann ich die Doppelbilder weit mehr aus einander treten lassen, als wenn ich den Versuch mit einem nur wenige Zolle entfernten Gegenstande vornehme.

Unter solchen Umständen bringe ich die Augenaxen zum Parallelismus, ja selbst zur Divergenz.

Die Augenaxen schneiden sich dann hinter meinem Kopfe. Ich liefere hiermit den Beweis, dass man die Augenaxen willkürlich divergiren lassen kann.

Um keinen Zweifel über die Richtigkeit dieser Behauptung zu lassen, habe ich Fig. 8 entworfen, wo AC den fixirten, mehrere Fuss breiten und an 100 Schritte entfernten Gegenstand bedeutet. L ist das linke, R das rechte Auge. Beide Augen fixiren zuerst den Punkt C. Ich bin nun im Stande die Augen so zu stellen, dass AC im Doppelbilde erscheint und zwar so, dass das Bild, welches vom linken Auge

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

stammt, rechts neben das Bild des rechten Auges zu stehen kommt und die Punkte A' und C sich decken. Die Stellung dieses Bildes entspricht also der Linie $A'C'$. Dieses Verhalten erklärt sich einfach aus dem Umstande, dass das linke Auge um den Winkel β nach aussen gedreht, mit seiner optischen Axe den Punkt A des Objectes traf. Nun verlängere man die Linien Ac und Cb bis sie sich schneiden, so findet man o als den hinter den Augen gelegenen Durchkreuzungspunkt der Augenaxen. α' ist der Divergenz- oder der negative Convergenzwinkel der Seh-Axen.

Bei genauerer Betrachtung der Fig. 7 und Fig. 8 erkennt man leicht, wie man durch eine sehr einfache Construction oder durch eine eben so einfache Rechnung das jeweilige Verhältniss zwischen dem Refractionszustande der Augen und dem Convergenzwinkel der Seh-Axen ganz genau bestimmen kann.

Kennt man die Entfernung bc der Drehpunkte der Augen von einander [1]), ferner den Abstand der Augen von dem Gegenstande und endlich die Entfernung der Doppelbilder von einander, so kann man nach dem in Fig. 7 und Fig. 8 gegebenen Schema für jeden speciellen Fall eine genaue Zeichnung entwerfen und die Grösse der Trennung des legitimen Zusammenhanges zwischen Accommodation und Augenstellung angeben.

Statt der umständlichen Construction lässt sich folgende einfache Berechnung anstellen. Für den in Fig. 7 dargestellten Fall verhält sich

$$mo : mo + mc = mn : bc \quad \text{und} \quad no : no + nb : mn : bc.$$

Es ist also:

$$mo = \frac{mc \,.\, mn}{bc - mn}, \qquad no = \frac{nb \,.\, mn}{bc - mn}.$$

---

[1]) Die Bestimmung des Abstandes der Drehpunkte der Augen von einander geschieht nach Listing folgendermassen: Man fixirt einen sehr entfernten Gegenstand, z. B. eine entfernte Kirchthurmspitze, einen Blitzableiter u. dgl. und bringt knapp vor jedem Auge ein durchlöchertes Kartenblatt an. Hat man die Löchelchen für jedes Auge genau centrirt, so braucht man nur die Entfernung der Löchelchen von einander zu messen, und hat dann mit hinreichender Genauigkeit die gesuchte Distanz. Listing hat sich zu diesen Messungen einen eigenen Apparat construiren lassen, an welchem die Verschiebung zweier fein durchlöcherter Metallplatten, vermittelst einer Mikrometerschraube geschieht und durch einen Nonius sehr genau abgelesen wird.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Da man somit alle drei Seiten der Dreiecke *mon* und *cob* kennt, so lässt sich nach der Eingangs gegebenen Formel der Winkel α' leicht finden.

Für den zweiten Fall (Fig. 8), lässt sich dasselbe Verfahren anwenden, nur verhält sich dann

$$ob : ob + bC = cb : AC \text{ und } oc : oc + cA = cb : AC.$$

Ist der grösste Abstand der Doppelbilder, welchen ein Beobachter für einen bestimmten Accommodationszustand zu erzwingen im Stande ist, der Construction oder Berechnung zu Grunde gelegt, so gibt das gefundene Verhältniss von α' zu der Entfernung des Accommodationspunktes die individuelle Grenze der Unabhängigkeit der Augenstellung von dem Accommodationszustande der Augen.

Ich erreiche hiermit auf einem viel einfacheren Wege eben so viel, als Donders durch seine oben mitgetheilte Methode. Ich vermuthe, dass man nach Donders' Methode grössere Grenzwerthe erhalten wird, als nach der meinigen, weil die künstlichen Bedingungen, unter welche Donders die Augen bringt, die gesonderte Thätigkeit der beiden Functionen unterstützen, während bei meinem Versuche die blosse willkürliche Anstrengung der Augenmuskeln die Tendenz zur Correction der Augenstellung überwinden muss.

Übrigens bezieht sich die Donders'sche Messungsmethode eigentlich auf die weiter unten unter *B* 1 und 2 beschriebenen Fälle der Trennung des behandelten functionellen Zusammenhanges. —

Es wird nicht Jedermann sogleich gelingen, den Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen hinter den Gegenstand fallen zu lassen, für dessen Entfernung der Refractionszustand der Augen eingerichtet ist. Nur durch anhaltende und anstrengende Übungen erlangt man die Fertigkeit durch den Gegenstand gleichsam hindurchzusehen — ohne zugleich den Accommodationszustand zu ändern. Am leichtesten erreicht man den Zweck, wenn man ein Auge abwechselnd schliesst und öffnet, denn beim Öffnen des geschlossenen Auges erscheint, wie schon vor Volkmann's Angaben bekannt war, der fixirte Gegenstand im Doppelbilde; und zwar sieht das eben geöffnete Auge den Gegenstand auf der entgegengesetzten Seite des Bildes, welches das andere offene Auge erzeugt, und zugleich etwas tiefer. Während des Schliessens und Öffnens hat also das Auge seine Stellung in verticaler und horizontaler Richtung verändert. Die Verschiebung in verticaler Richtung corrigirt sich beim Öffnen des Auges fast augen-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

blicklich. Das Auseinandertreten der Bilder in horizontaler Richtung hingegen, kann man nach manchen vergeblichen Versuchen nicht nur beliebig lange festhalten, sondern auch bis zu dem Maximum steigern lernen, welches unmittelbar nach dem Öffnen des geschlossenen Auges auftritt. Je weiter der Gegenstand entfernt ist, desto mühsamer und anstrengender wird der Versuch und gelingt mir nicht mehr ohne die Beihülfe des Schliessens und Öffnens eines Auges. Ich habe auch bemerkt, dass die Augenmuskeln nach lange fortgesetztem Experimentiren leicht so ermüden, dass die schon oft gelungenen Versuche durchaus nicht gelingen wollen.

Das Wachsen der Schwierigkeit des Versuches mit der Zunahme der Entfernung des Gegenstandes kann nicht befremden; denn man muss bedenken, dass die Augenaxen schon den Parallelismus erreicht haben, wenn der Abstand der Doppelbilder gleich ist dem Abstande der Drehpunkte der Augen, und bereits zu divergiren beginnen, wenn der Abstand der Doppelbilder noch um ein Minimum grösser wird.

Für entferntere Gegenstände ist der Abstand der Doppelbilder aber sehr bald gleich, ja grösser als der Abstand der Drehpunkte. Dass man unter diesen Umständen beim Versuch mit entfernteren Gegenständen die Augenmuskeln mehr anstrengen muss, als wenn die Objecte näher liegen, ist wohl begreiflich, wenn man im ersteren Falle Objecte von ungleich grösserer Breite als im zweiten Falle, in dem gleichen relativen Masse zu Doppelbildern auseinandertreten lassen will.

Ich rathe aus diesem Grunde Jenen, welche sich von der Richtigkeit meiner Angabe über das willkürliche Divergirenlassen der Augenaxen durch Autopsie überzeugen wollen, Gegenstände zum Versuch zu wählen, welche nur einige Fuss weit entfernt sind. Es wird Ihnen hier leichter gelingen, den Durchkreuzungspunkt hinter den Accommodationspunkt aus freien Stücken fallen zu machen, als bei entfernteren Objecten. Hat man nur erst ein Doppelbild zu Stande gebracht, dann erfolgt das weitere Auseinandertreten desselben mit Leichtigkeit, wenn man der nun eintretenden auf eigenthümliche Art sich fühlbar machenden Bewegungs-Tendenz der Augen nicht hemmend entgegenwirkt, sondern dieselbe durch willkürliche Anstrengung befördert.

A 2. Bei unveränderter Accommodation für die Entfernung des Gegenstandes wollte es mir durchaus nicht gelingen, den Durch-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

kreuzungspunkt der Seh-Axen vor den Gegenstand fallen zu lassen. Presbyopische Individuen befinden sich hingegen durch die Mangelhaftigkeit ihres Accommodationsvermögens stets in diesem Falle, wenn sie nahe Gegenstände fixiren. Sobald ich den Convergenzwinkel der Seh-Axen durch willkürliche Drehung der Augen nach innen vergrösserte, trat auch stets die entsprechende Veränderung des Accommodationszustandes ein. (Vgl. das zu Ruete's Behauptung Bemerkte, so wie das weiter unten unter *B* 2 Gesagte.)

B 1. Ich komme nun zu dem zweiten Paar von Versuchen, welche sich von den unter *A* mitgetheilten Experimenten, wie bereits erwähnt, dadurch unterscheiden, dass es sich hier darum handelt zu zeigen ob und in wie weit, bei beharrlich festgehaltener Augenstellung der Accommodationszustand willkürlich geändert werden könne, während dort gezeigt wurde, in wie weit bei festgehaltenem Accommodationszustande der Convergenzwinkel der Seh-Axen willkürlich vergrössert oder verkleinert werden kann.

Spannt man einen dünnen Faden senkrecht zur Gesichtsfläche und in der Medianlinie auf, so wird er, wenn man einen beliebigen Punkt desselben mit beiden Augen fixirt, bis auf eben diesen Punkt doppelt gesehen werden. Fixirt man die Mitte des Fadens, so erscheinen zwei Fäden, die sich in der Mitte durchkreuzen, und von denen der eine, dessen dem Auge zugekehrtes Ende vor dem Durchkreuzungspunkte links liegt, dem rechten; der andere, dessen dem Auge zugekehrtes Ende vor dem Durchkreuzungspunkte rechts liegt, dem linken Auge gehört. Zugleich wird man bemerken, dass jeder dieser Fäden nur eine kurze Strecke in der Mitte klar und deutlich gesehen wird, während die Deutlichkeit gegen das dem Auge zu- und abgewendete Ende immer mehr abnimmt, und einer nebelhaften Verbreitung des Fadens Platz macht. Jeder Faden erscheint in Form einer Accommodationslinie i. w. S. (vgl. §. 1.) Die Accommodationspunkte derselben fallen mit dem Durchkreuzungspunkte der Fäden und daher auch der Seh-Axen zusammen, wie in Fig. 9 dargestellt ist.

Wenn man den Blick auf dem Faden hin und her schweifen lässt, so rücken in demselben Masse der Durchkreuzungspunkt der Doppelbilder und die dünnen deutlich gesehenen Stellen des Fadens hin und her — in Folge des gesetzmässigen Zusammenhanges zwischen der Augenstellung und dem Accommodationszustande.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Es gelingt jedoch bei beharrlich festgehaltener Augenstellung für einen nähern Punkt als den Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen zu accommodiren.

Der Durchkreuzungspunkt der Doppelbilder bleibt dann unverrückt, während die beiden deutlichen, den Accommodationslinien im engeren Sinne entsprechenden Stellen der Fäden den Augen sich nähern. (Siehe Fig. 10.)

Der Durchkreuzungspunkt der Doppelbilder liegt dann jenseits der deutlichen Stelle des Fadens.

Das Resultat dieses Versuches stimmt ganz mit dem des unter *A* 1 beschriebenen Versuches überein — nur mit dem Unterschiede, dass das gesetzwidrige Verhältniss des Accommodationszustandes zur Augenstellung dort durch willkürliche Änderung der Augenstellung, hier durch Änderung des Accommodationszustandes erzwungen wurde.

Schon Plateau und Müller theilten nach Beobachtungen an sich mit, dass sie durch eine Abänderung des Refractionszustandes das Undeutlichwerden der Gegenstände ohne Veränderung der Stellung der Augen, also ohne Erzeugung von Doppelbildern hervorbringen könnten. Müller glaubte zwar anfangs, dass dennoch Doppelbilder, welche sich zum Theile decken und desshalb der Wahrnehmung entgehen, vorhanden sein dürften, kam aber später von dieser Ansicht mit Recht zurück. Mein oben angeführter Versuch mit dem Faden gibt hierüber die vollste Gewissheit, indem bei der unbedeutendsten Verstellung der Augen der Durchkreuzungspunkt der beiden Bilder des Fadens verschoben wird, entweder dem Auge näher rückt, oder von dem Auge sich entfernt. Nun liess sich aber bei gelungenen Versuchen keine Spur einer solchen Verrückung des Durchkreuzungspunktes beobachten, also muss in diesen Fällen die Convergenz der Seh-Axen unverändert geblieben sein, und konnte nicht an eine Entstehung von Doppelbildern gedacht werden, welche etwa zur Erklärung des Undeutlichwerdens der Gegenstände zu benützen gewesen wären.

Auch diesen Versuch kann man, wie den unter *A* 1 beschriebenen zur Bestimmung der Grösse der Trennung des Zusammenhanges zwischen Augenstellung und Accommodation benützen.

Man braucht nur den Abstand zwischen dem Durchkreuzungspunkt der beiden Bilder des Fadens und den Accommodationspunkten

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

mit dem Zirkel direct zu messen. Diese Messung auszuführen, ist jedoch aus doppeltem Grunde schwierig, indem erstlich der Accommodationspunkt in der Accommodationslinie i. e. S. nicht markirt ist, und weil zweitens überdies jene Punkte des Fadens, für welche das Auge accommodirt ist, indirect gesehen werden. Die gesuchte Distanz kann also nur geschätzt, nicht eigentlich gemessen werden.

Jene Stelle des Fadens, für welche die Augen accommodirt sind, erscheint im Doppelbilde, während für den einfach gesehenen Durchkreuzungspunkt nicht accommodirt ist, und derselbe daher in einem zerstreuten Bilde erscheint. Dies ist ein bemerkenswerther Beitrag zur Lehre von den Doppelbildern, welche beim Sehen mit zwei Augen entstehen.

B 2. Bei unverrückter Convergenz der Seh-Axen, für einen jenseits des Durchkreuzungspunktes gelegenen Punkt des Fadens zu accommodiren, bin ich durchaus nicht im Stande.

Dies Resultat entspricht ganz der unter *A* 2 gemachten Mittheilung, dass ich aus freien Stücken, den Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen nicht vor den Accommodationspunkt fallen lassen kann.

Sobald ich für ferner gelegene Punkte accommodire, stellt sich auch unabänderlich der entsprechende gesetzmässige Convergenzwinkel der Augenachsen her.

Obschon für mich unter gewissen künstlichen Bedingungen der Punkt, für welchen die Augen accommodirt sind, jenseits des Durchkreuzungspunktes der Seh-Axen liegen kann, so ist doch die Trennung des Zusammenhanges der Accommodation mit der Augenstellung, in dieser Richtung meiner Willkür ganz entzogen.

Solche künstliche Bedingungen liefert der oben citirte Donders'sche Versuch mit convexen Brillen. Die Seh-Axen behalten beim Versuche dieselbe Neigung gegen einander, aber der Refractionszustand der Augen ändert sich in der Weise, dass er für einen entfernteren Punkt als den Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen passt, indem die die Brennweite des Auges verkürzende Wirkung der convexen Brillen durch die Accommodation für die Ferne compensirt werden muss.

Dies Verhalten scheint mir von Wichtigkeit, da sich hieraus zweierlei folgern lässt: Erstens, dass beim Donders'schen Ver-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

suche gewisse Bedingungen obwalten, welche diese Trennung des Zusammenhanges derart begünstigen, dass ohne dieselben der Zusammenhang in der angegebenen Richtung durch blosse Willkür, wie es scheint, gar nicht gelöst werden kann; und zweitens, dass der Verband zwischen Accommodation und Augenstellung in verschiedenen Richtungen, in verschiedenen Graden fest und innig ist.

Ich weiss nicht ob die mitgetheilten Beobachtungen aus einer individuellen Beschaffenheit meiner Seh-Organe zu erklären sind, oder ob sie sich auf ein allgemein gültiges physiologisches Gesetz beziehen, und ob ich nicht selbst, durch anhaltend fortgesetzte Übungen, die Trennung des Zusammenhanges der beiden Functionen auch in dieser Richtung am Ende doch noch in meine Willkür bekommen könnte; allein so viel steht für mich unter allen Umständen fest, dass der Verband zwischen beiden Functionen in der unter *A* 2 und *B* 2 behandelten Beziehung inniger und fester ist, als in jeder anderen.

Am Eingange dieses Paragraphes habe ich als ein empirisch gefundenes physiologisches Gesetz, den Satz aufgestellt, dass der „Accommodationszustand der Augen immer der Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Seh-Axen entspricht, so dass eine Veränderung des Convergenzwinkels der Augenaxen auch eine Veränderung des Accommodationszustandes der Augen und umgekehrt zur Folge hat“.

Über die Richtigkeit dieses Satzes kann kein Zweifel sein, denn nur unter den in ihm enthaltenen Bedingungen ist ein deutliches Sehen mit beiden Augen möglich, allein die Vollständigkeit der Entwickelung des aufgestellten Gesetzes fordert noch die Erläuterung einer Consequenz, welche in der Formulirung des Gesetzes nicht ausdrücklich aufgenommen ist.

Unterwirft man Fig. 6 einer aufmerksamen Betrachtung, so wird man finden, dass, da der Accommodationszustand der Augen immer der Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Seh-Axen entspricht, der Accommodationszustand der Augen sich ändern kann, ohne dass der Convergenzwinkel der Augenaxen verändert wird.

Dies scheint mit obigem Gesetze im Widerspruche zu stehen, genauer genommen ist es jedoch eine nothwendige Consequenz aus

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

demselben. Die in einem Müller'schen Horopter gelegenen Punkte liegen in verschiedener Entfernung von den Augen, verlangen aber den gleichen Convergenzwinkel der Seh-Axen, um einfach gesehen zu werden, weil sie in der Peripherie eines Kreises liegen, welche die Drehpunkte der beiden Augen gleichfalls enthält und weil die derselben Sehne entsprechenden Peripheriewinkel unter sich gleich sind.

Da die im Horopterkreise liegenden Punkte die Durchkreuzungspunkte der Seh-Axen sind, jedes Auge aber für die Entfernung dieses Durchkreuzungspunktes accommodirt ist, und da ferner bis auf einen Punkt (*a* in Fig. 6) alle übrigen dem einen Auge näher stehen als dem anderen, so folgt daraus, dass der Accommodationszustand des rechten Auges nur dann mit dem des linken Auges übereinstimmt, wenn die Augen den in der Medianlinie gelegenen Punkt (*a* in Fig. 6) fixiren, während in allen übrigen Fällen die beiden Accommodationszustände nach einem bestimmten Verhältnisse differiren.

Lässt man beide Augen sämmtliche rechts von der Medianlinie gelegenen Punkte des Horopters in ihrer stätigen Folge fixiren, so rückt der Accommodationspunkt des linken Auges immer weiter ab, während der des rechten Auges sich immer mehr nähert, indem sich für das linke Auge die Entfernung der Punkte immer mehr vergrössert und dann ihr Maximum erreicht, wenn die Seh-Axe durch den Mittelpunkt *C* des Horopters geht. Nachdem die Entfernung des Accommodationspunktes ihr Maximum erreicht hat, wird sie wieder kleiner, allein der Accommodationspunkt steht dem rechten Auge, dem die Punkte des Horopter von Anfang an näher gerückt sind, stets näher, als dem linken Auge. Für die linke Hälfte des Horopters gilt dasselbe wie von der rechten, natürlich *mutatis mutandis*.

Je kleiner der Durchmesser des Horopters ist, desto bemerklicher erscheinen die Differenzen zwischen den Accommodationszuständen der Augen, da sich aus §. 1 ergeben hat, dass die Accommodationslinien i. e. S. für kleinere Entfernungen immer kürzer ausfallen und daher Differenzen hervortreten lassen, welche für grössere Entfernungen spurlos verschwinden würden.

Die erforderliche Differenz der Accommodationszustände beider Augen kann so bedeutend werden, dass es den Augen unmöglich wird, dieselben festzuhalten, z. B., wenn man dem einen Auge einen Gegenstand so sehr nähert, dass das andere denselben, knapp

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

am Nasenrücken vorbeisehend, eben noch wahrnehmen kann. Mit grosser Anstrengung wird man unter diesen Umständen die Entstehung eines Doppelbildes verhindern können. Erzwingt man ein einfaches Bild, dann kann man durch abwechselndes Schliessen und Öffnen der Augen sich überzeugen, dass nicht mehr beide Augen für den fixirten Gegenstand accommodirt sind.

Aus dem eben Mitgetheilten ergibt sich, dass es ganz normale Verhältnisse gibt, wo für einen bestimmten Convergenzwinkel das eine Auge für einen entfernteren, das andere für einen näher gelegenen Punkt accommodirt ist, als wenn die Augen unter demselben Winkel in einem in der Medianlinie gelegenen Punkt convergiren und einen gleichen Refractionszustand angenommen haben, und ferner, dass der Verband der beiden Functionen gewisse natürliche Grenzen hat, ähnlich wie die Beweglichkeit der Gelenke in gewissen Richtungen limitirt ist. Demnach müssen wir die Formulirung des behandelten physiologischen Gesetzes etwa folgendermassen ändern, um allen Verhältnissen Rechnung zu tragen.

Wo ein deutliches Sehen mit beiden Augen möglich ist, entsprechen die Refractionszustände der Augen immer der relativen Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Seh-Axen, so zwar, dass jede Veränderung der Augenstellung eine entsprechende Veränderung der Refractionszustände der Augen, und umgekehrt, zur Folge hat.

Schliesslich erlaube ich mir noch einige Gedanken über das Wesen dieses Zusammenhanges mitzutheilen.

Volkmann bezeichnet den Verband zwischen Accommodation und Augenstellung schlechthin als „Sache der Gewöhnung". Mir scheint jedoch diese Erklärungsweise nicht auszureichen, obschon sie ohne Zweifel ein berechtigtes Moment enthält. Ich glaube, dass die Bewegungscentra für die verknüpften Thätigkeiten in einem solchen organischen Verhältnisse und Zusammenhange gedacht werden müssen, dass sich der Reiz, welchen der Wille auf das eine derselben ausübt, nothwendig auch auf das andere überträgt und daselbst ein bestimmtes Quantum Bewegung auslöst.

Der Beweis für diese Art der Verkettung liegt, wie mir scheint, darin, dass selbst das verdeckte Auge seine Stellung um ein Bestimmtes ändert, wenn das offene einen anderen Accommodations-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zustand annimmt (vgl. Müller a. a. O. S. 336). Zu bemerken ist jedoch dabei, dass, wenn das geschlossene oder verdeckte Auge auch in Folge der Veränderung des Refractionszustandes des offenen seine Stellung nothwendig ändert, diese Änderung doch niemals eine genaue Einstellung desselben auf jenen Gegenstand, welchen das offene Auge fixirt, nach sich zieht, indem, wie oben gezeigt wurde, beim Öffnen des geschlossenen Auges Doppelbilder wahrgenommen werden. Die genaue Correction der Augenstellung erfolgt erst dann, wenn beide Augen offen sind — und zwar rasch und unwillkürlich. Ermöglicht und geleitet wird die Correction durch die Doppelbilder, indem dieselben in dem Masse sich decken, als die Stellung der Augen verbessert wird; sie sind daher der Leitstern der corrigirenden Thätigkeit. Es ist hiermit etwa so wie mit den zweckmässigen Bewegungen, welche wir unbewusst zur Erhaltung des Gleichgewichtes ausführen, wobei uns gewisse durch den Verlust des Gleichgewichtes gesetzte Empfindungen leiten.

Wie mächtig diese instinctive Correction, welche in Folge des Bestrebens einfach und deutlich zu sehen, und in Folge der Gewöhnung eintritt, sei, ersieht man aus den Versuchen mit Brillengläsern, welche Donders angegeben hat. (Siehe oben.) Ich habe schon früher darauf hingewiesen, dass diese Versuche Bedingungen setzen müssen, unter welchen die Trennung des legitimen und gewohnten Zusammenhanges zwischen Accommodation und Augenstellung leichter möglich ist und selbst in jener Richtung, in welcher die Trennung aus freien Stücken, mir zum wenigsten, niemals gelingen wollte.

Hier, glaube ich, hat man den Schlüssel zu diesem Räthsel. Beim Donders'schen Versuche sieht man eben mit beiden Augen und würde doppelt und undeutlich sehen, wenn sich die Augen den, von der Norm etwas abweichenden Bedingungen des Versuches nicht fügen wollten. Es macht sich hier die Tendenz einfach und klar zu sehen geltend, und erzwingt, selbst gegen die bisherige Gewohnheit, die geforderte ungewöhnliche Combination von Augenstellung und Accommodation.

Stellt man den Donders'schen Versuch an, so befindet man sich ganz in der Lage eines Kindes, das eben erst sehen lernt; nur dass das Kind noch keinen alten Verbindungen zwischen den Thätigkeiten entgegenzuwirken hat, wie wir. Dass die gesetzmässige

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Verkettung der beiden Functionen auf die oben angedeutete Art zu Stande kommt, und durch Gewöhnung befestigt wird, unterliegt wohl kaum einem Zweifel, dennoch bin ich aber der Meinung, dass der fragliche Zusammenhang überdies eine organische Grundlage haben dürfte. Schon oben setzte ich einen materiellen Zusammenhang der Bewegungscentra der beiden Functionen voraus, um die Mitbewegungen des geschlossenen Auges begreiflich zu machen. Hier glaube ich diese Voraussetzung noch durch die Hinweisung auf die verschiedene Festigkeit des Verbandes in verschiedenen Richtungen und auf die bestimmten individuellen Grenzen, welchen man, beim Versuche den gesetzmässigen Zusammenhang zwischen Accommodation und Augenstellung willkürlich zu stören, — und selbst beim Donders'schen Versuche — begegnet, stützen zu können; man müsste denn diese individuellen Grenzen und den verschiedenen Grad des Zusammenhanges in verschiedenen Richtungen, schlechthin für das Resultat der Gewöhnung erklären wollen. Wogegen man aber einwenden könnte, dass sich die Gewöhnung offenbar nur auf ein bestimmtes Verhältniss von Accommodation und Augenstellung, und nicht auf Grenzen der Trennung dieses Zusammenhanges beziehen kann.

Abgesehen davon, könnte man weiter fragen, wie soll, vorausgesetzt der Zusammenhang beruhte auch noch auf einer materiellen Beziehung der Bewegungscentra, wie soll die durch die oben mitgetheilten Versuche bewiesene willkürliche Trennung des Zusammenhanges möglich sein? Ganz auf dieselbe Weise wie es möglich ist, dass ein Kind, das anfangs alle Finger zu gleicher Zeit beugt und streckt, nach und nach die einzelnen Finger isolirt bewegen lernt, und in seine Gewalt bekommt.

§. 3. Zur Lehre von den Doppelbildern, die beim Sehen mit beiden Augen entstehen.

Hält man eine Druckschrift parallel zur Gesichtsfläche nahe vor die Augen, und schiebt die flache Hand so zwischen Buch und Gesicht, dass sich der Radialrand der Hand an Stirne und Nasenrücken legt, der Ulnarrand aber das Papier berührt, und auf diese Art beide Augen durch eine Scheidewand gänzlich getrennt werden, so tritt sehr leicht das im vorigen Paragraph erörterte Verhältniss ein, dass die Augen für die Buchfläche accommodirt bleiben, während

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Durchkreuzungspunkt der Seh-Axen hinter dieselbe fällt. Damit ist aber nothwendig auch die Entstehung von Doppelbildern gesetzt. In der That scheint sich das Bild, welches dem rechten Auge gehört, über das, dem linken Auge gehörige, in horizontaler Richtung von rechts nach links herüber zu schieben, während das Bild des linken Auges die entgegengesetzte Bewegung auszuführen scheint.

Abgesehen von dieser Art der Doppelbilder, welche wir bereits im vorigen Paragraphen betrachtet haben, kommen unter den angegebenen Bedingungen leicht noch andere Doppelbilder zum Vorschein, da die Augen so zu sagen desorientirt sind.

Dort wo der Ulnarrand der Hand die Zeilen der Druckschrift berührt, erscheinen sie wie zerbrochen, und häufig an einander in verticaler Richtung verschoben, so dass die Fortsetzung der links gelegenen Zeilenhälfte auf der rechten Seite nicht in derselben Linie fortgeht, sondern um einen halben Zeilenabstand nach oben oder nach unten gerückt erscheint. Die Zeilenhälften der einen Seite entsprechen dann den Zeilenzwischenräumen der andern Seite, und umgekehrt. Diese verticale Verschiebung kann so bedeutend sein, dass die Zeilenhälfte der einen Seite der zweiten oder dritten unter oder über ihrer eigentlichen Fortsetzung gelegenen Zeilenhälfte der anderen Seite entspricht, d. h. mit ihr in derselben horizontalen Linie liegt. Diese Art der Doppelbilder erklärt sich einfach durch die Drehung eines Auges nach oben oder nach unten.

Betrachtet man die obersten Zeilen der Druckschrift, so dass man die Augen sehr stark nach innen und oben wenden muss, so erscheinen die Zeilen wie gebrochen und die Hälften bilden einen nach oben offenen stumpfen Winkel. (Vgl. Fig. 11.)

Wendet man die Augen sehr stark nach innen und unten, so convergiren die Hälften der gebrochenen Zeilen ebenfalls unter einem stumpfen Winkel, welcher jedoch nach unten geöffnet ist, wie Fig. 12 zeigt.

Diese Art der Doppelbilder, wo horizontale und verticale Linien, welche das eine Auge sieht, eine Neigung gegen die von dem anderen Auge gesehenen horizontalen und verticalen Linien bekommen, erklären sich aus einer Drehung um die optische Axe, welche die Netzhäute in entgegengesetzter Richtung beim Sehen nach innen und oben und nach innen und unten erfahren. Mit dem Ruete'schen Ophtalmotrop lässt sich diese Drehung um die optische Axe in Folge

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Wendung des Auges nach innen und oben und nach innen und unten leicht demonstriren.

Manchmal combinirt sich unter den angegebenen Bedingungen die horizontale Verschiebung der Bilder mit der verticalen und mit der zuletzt beschriebenen Drehung.

Man kann hier nicht eigentlich von Doppelbildern, d. h. von doppelten Bildern eines Gegenstandes reden, da das Gesichtsfeld des einen Auges von dem des anderen Auges vollkommen getrennt ist, und kein Gegenstand zu gleicher Zeit Object beider Augen sein kann; allein nichts desto weniger enthält dieser Paragraph einen Beitrag zur Lehre von den Doppelbildern, welche beim Sehen mit zwei Augen entstehen können, indem man sich den beschränkten Theil der Druckschrift, welchen ein Auge übersieht, zu einem Totalbilde des von beiden Augen übersehenen Theiles der Druckschrift ergänzt und auf diese Art zwei solcher Ergänzungen erhält, deren relative Lage man wie die von Doppelbildern beurtheilt.

Wenn die als Scheidewand zwischen den Augen dienende flache Hand entfernt wurde, dann sollte man meinen, müssten sich Doppelbilder im engeren Sinne zeigen, d. h. doppelte Bilder eines und desselben Gegenstandes. Dies ist auch für die ersten zwei Richtungen des Auseinandertretens der Bilder, nämlich die vertikale und horizontale der Fall.

Das Auseinandertreten der Doppelbilder in der zuletzt erörterten Richtung kann jedoch ohne eine solche die Augen trennende Scheidewand nicht leicht zu Stande gebracht werden. Es scheint, dass die hierzu nothwendige entgegengesetzte Drehung der Augen um die optische Axe durch eine Anstrengung der schiefen Augenmuskeln compensirt wird, wenn beide Augen frei denselben Gegenstand betrachten, indem dann die schon oben erörterte Tendenz einfach und deutlich zu sehen, als ein wirksames, die Bewegungen der Augen regulirendes Moment auftritt.

Die Doppelbilder lassen sich nach verschiedenen Eintheilungsgründen in verschiedene Gruppen bringen, z. B. nach den obwaltenden Accommodationsverhältnissen; nach den Retinastellen, auf welche sich die Bilder projiciren, endlich auch nach den verschiedenen Richtungen, in welchen die Doppelbilder auseinandertreten.

In vorliegenden Paragraphen haben wir alle nur irgend mögliche Hauptrichtungen, in welche die Doppelbilder sich über einander verschieben können, angegeben und erörtert.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Schliesslich erwähne ich noch, dass man Zeichnungen entwerfen kann, welche zerstreute Stücke eines Bildes darstellen, und durch die besondere Stellung der Augen zu einem Bilde vereinigt werden.

So gut man nämlich von einem Gegenstande zwei Bilder erhalten kann, eben so gut kann man bei passender Anordnung aus zwei Bildern Eines hervorbringen. Dies gilt für jede Richtung des Auseinandertretens der Doppelbilder. Zerschneidet man eine beliebige Zeichnung in zwei Hälften, und legt dieselben durch einen Zwischenraum von $1/2$ bis 1 W. Z. getrennt, neben einander, und betrachtet sie so, dass die Augen für ihre Entfernung accommodirt bleiben, während die Augenaxen hinter denselben zur Durchkreuzung kommen — also unter den Bedingungen des §. 3 unter *A* 1. mitgetheilten Versuches — so wird man leicht die Stellung der Augen finden, wo sich die Hälften der Zeichnung folgendermassen gruppiren. (Siehe Fig. 13.) Es entstehen im Ganzen vier Bilder der aufgelegten zwei Hälften der zerschnittenen Zeichnung.

Die Bilder *A'* und *B'* gehören dem rechten, die Bilder *A* und *B* dem linken Auge. Die Bilder *A* und *B'* setzen ein vollständiges Bild zusammen.

Dieses Beispiel mag für alle anderen Fälle genügen; nur mag noch bemerkt werden, dass, wenn man diese und ähnliche Zeichnungen betrachtet, während man eine trennende Scheidewand zwischen den Augen errichtet, die beiden Bilder *A* und *B'* ganz wegfallen, und die Verschmelzung der beiden Hälften zu einem Bilde noch besser in die Augen springt.

§. 5. Über die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.

Hueck (Müll. Arch. 1848, S. 91 u. ff.), war der Erste, welcher die Entdeckung gemacht hatte, dass am blinden Fleck „eine ergänzende Thätigkeit der Vorstellung“ rege ist. Er hatte bereits die Beobachtung gemacht, dass eine weisse Scheibe an der Stelle des Fleckens weiss, eine schwarze schwarz erscheint, und dass selbst Umrisse, wo sie durch die nicht sehende Stelle gehen, ergänzt werden. Hueck irrte nur darin, dass er meinte, „der nicht sehende Fleck entstehe durch das Eintreten der Gefässe“ *(vasa centralia)*.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die neueren Untersuchungen über diesen Gegenstand von Weber [1]), von Volkmann [2]) und von Fick und Du Bois [3]), haben die Hueck'sche Anschauung bestätigt und gezeigt, dass die der Eintrittsstelle des Sehnerven — (und nicht der *vasa centralia*) — entsprechende Fläche als eine räumliche Grösse im Sehfelde repräsentirt ist, und dass sie, da sie keine Lichteindrücke dem Sensorium liefert, durch welche der Raum erfüllt werden könnte, durch einen Act der Einbildungskraft, durch ein Phantasma ausgefüllt wird. Die in die blinde Stelle „hineingebildete" Empfindung hängt zum Theil von der Qualität der Erregung der unmittelbaren Nachbarschaft (welche Volkmann der Kürze wegen mit r bezeichnet), der Eintrittsstelle des Sehnerven ab. Überdies hat Volkmann, welcher den Gegenstand unter den genannten neueren Forschern am vollständigsten behandelt hat, noch darauf hingewiesen, dass das bei A (dem Punkte des Sehfeldes, in welchem die Eintrittsstelle a des Sehnerven und die ihr in dem anderen Auge entsprechende identische Stelle a' localisirt sind) Sichtbare ein Mischling sei, zu dessen Entstehung nicht nur der Erregungszustand von r, sondern auch von a' beiträgt. Der Factor r füllt die Lücke nur durch einen Act der Vorstellung — ein Phantasma, während sie der Factor a' durch eine Thätigkeit des unmittelbaren Empfindens erfüllt. Empfindung und Einbildungskraft concurriren also beim Ausfüllen jener Lücke.

Man kann hiernach die in den beiden Lücken des Sehfeldes auftretenden (Mischlings-) Empfindungen mit Volkmann in zwei Reihen ordnen.

„A. Dieselben haben vorherrschend die Qualität der durch r gesetzten Empfindung".

„B. Dieselben haben vorwiegend die Beschaffenheit der von a' ausgehenden Empfindung".

Es wäre nun zu ermitteln, unter welchen Bedingungen die Erscheinungen der Reihe A, unter welchen anderen die der Reihe B, eintreten.

---

[1]) E. H. Weber, Berichte über die Verhandlungen der kön. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Sitzung am 18. Dec. 1852.

[2]) Volkmann, Bericht über die Verhandlungen der kön. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Sitzung am 30. April 1852.

[3]) Fick und Du Bois (Müller's Archiv 1853).

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ad *A*. Nach Volkmann's Erfahrungen gibt die Vorstellung dann den Ton an, wenn der physiologische Process in *r* lebhafter ist als in *a'*.

Ad *B*. Die Empfindung bildet den vorherrschenden Factor in allen Fällen, wo *r* und *a'* den gleichen Vortheil des Lichteinflusses geniessen, d. h. wo beide Augen zum Sehen benützt werden.

Es sei zu erwarten, meint Volkmann, dass überall, wo Vorstellung und Empfindung als Folgen eines gleich intensiven physiologischen Processes auftreten, die Empfindung die stärkere sei.

Diese Erwartung bestätigt sich jedoch nicht durchgehends. Volkmann selbst führt einen Versuch an, der das ganz unerwartete Resultat gibt, dass die lebhafte Vorstellung nicht immer über die matte Empfindung siegt, und ich werde weiter unten einen Versuch angeben, wo hingegen die schwache Vorstellung sogar die starke Empfindung verdrängt.

Wenn man eine schwarze Scheibe auf weissem Grunde bei einer solchen Stellung der Augen betrachtet, dass ihr Bild auf *a* und auf *a'* fällt, so nimmt man die schwarze Scheibe mit aller Deutlichkeit wahr. In diesem Falle fällt das weisse Licht des Grundes auf *r* und das Schwarz der Scheibe auf *a'*. Warum, frägt Volkmann, siegt nun nicht der Eindruck von *r* über den von *a'*, welches sich im Minimum seiner Thätigkeit befindet? — Noch auffallender ist folgendes Ergebniss. Man stelle eine Scheidewand zwischen beiden Augen auf, so dass das Gesichtsfeld in zwei Theile getheilt wird, deren jeder nur von einem Auge übersehen wird.

Nun beleuchte man die linke Hälfte des Gesichtsfeldes sehr grell, während die rechte Hälfte in möglichst vollständiger Finsterniss erhalten wird. Man erhält dieselben Bedingungen, wenn man ein Auge schliesst und bedeckt, das andere aber auf eine hell erleuchtete Fläche richtet.

Man sollte unter solchen Verhältnissen erwarten, dass die blinde Lücke des rechten Auges, welches im Dunkel ist, daher im Minimum seiner Thätigkeit sich befindet, mit der Empfindung des lebhaft erregten Punktes *a'* gefüllt werden würde, so dass im dunklen Gesichtsfelde des rechten Auges an der Stelle *A* eine helle Scheibe erschiene.

Nichts desto weniger lehrt aber das Experiment, dass das rechte Auge eine gleichmässig dunkle Fläche sieht, dass trotz des in *r* weniger als in *a'* lebhaften physiologischen Processes dennoch das

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

durch r ausgelöste dunkle Phantasma die durch a' vermittelte Empfindung verdrängt.

Die Untersuchungen über den Mariotte'schen Fleck, sind, wie man hieraus ersieht, noch lange nicht geschlossen und jede Vervollständigung des Inventars der Thatsachen muss willkommen sein. Desshalb erlaube ich mir noch folgende Mittheilungen zu machen, welche einen, von den oben citirten Autoren gänzlich übersehenen Weg weisen, auf welchem die vorliegende Frage, die von allen Seiten untersucht werden muss, in Angriff genommen werden kann.

Dieser Weg, in anderer Beziehung bereits mit grossem Erfolg betreten, führt durch die Sphäre des sogenannten subjectiven Sehens.

1. Zunächst erinnere ich an die Erscheinung, welche man im Finstern beobachtet, wenn man die Augen sehr kräftig und plötzlich auf die Seite wendet. Man sieht dann bekanntlich zwei mehr oder weniger helle feurige Kreise oder Halbkreise, deren Ort der unmittelbaren Umgebung der Eintrittsstellen der beiden Sehnerven entspricht. Die Erklärung der Entstehung dieser feurigen Ringe kann, wie mir scheint, nur in einer durch die Drehung des Auges gesetzten Zerrung der die Eintrittsstelle der Sehnerven umgebenden empfindlichen Region der Retina gefunden werden. Schon die frappante Ähnlichkeit dieser feurigen Ringe mit den von Serre d'Uzès [1]) genau untersuchten Phosphenen deutet auf ihren mechanischen Ursprung. Bemerkenswerth ist der Umstand, dass hier keine feurige Fläche, sondern ein feuriger Kreis oder Halbkreis entsteht. Es scheint, dass die durch Zerrung bewirkte Reizung der Nachbarschaft r der Eintrittsstelle des Sehnerven in der Finsterniss nicht hinreicht, um ein die ganze Lücke füllendes Phantasma auszulösen.

2. Stellt man den ebenerwähnten Versuch bei geschlossenen Augenliedern und das Gesicht gegen das einströmende Tages- oder Sonnenlicht gekehrt, an, so bemerkt man in dem durch die durchscheinenden Augenlieder roth-orange gefärbten Gesichtsfelde statt der zwei feurigen Ringe, zwei kleine rundliche Scheiben von gesättigter blauer Farbe. Diese blauen Scheiben entsprechen den blinden Flecken dem Orte nach, sind aber von grösserem Flächeninhalt, als diese.

---

[1]) Essai sur les Phosphènes etc. Paris 1853. Vic. Masson.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Das eben gewonnene Resultat ist in doppelter Hinsicht bemerkenswerth. Erstlich: warum entsteht hier eine Scheibe und nicht wie im ersten Versuche nur ein Ring oder Halbring, da doch die Ausdehnung und Intensität der mechanischen Zerrung der Retina-Elemente dieselben sind? Zweitens: warum ist die Scheibe blau? Die Färbung der Scheibe steht offenbar in Beziehung zur Farbe des ganzen Gesichtsfeldes und hat nichts mehr oder weniger Auffallendes als die blaue Färbung eines jeden von aussen mechanisch gereizten Retinapunktes, wenn die Lichtstrahlen das Gesichtsfeld durch die geschlossenen Augenlieder hindurch röthlich-orange erhellen.

Erwähnen muss ich noch, dass man, wenn man die Wendung der Augen langsam vornimmt, um das Auftreten der Scheiben bequem beobachten zu können, zuerst einige weissliche Flecken wahrnimmt, welche erst später bei fortgesetzter oft beinahe schmerzhafter Drehung der Augen zusammenfliessen, und eine gesättigte blaue Färbung annehmen.

3. Versucht man die Eintrittsstellen der Sehnerven bei geöffneneten Augen durch eine ausgiebige seitliche oder nach aufwärts gerichtete Drehung derselben zur Anschauung zu bringen, und wählt man als Hintergrund den gleichmässig umwölkten Himmel oder eine weisse Wand, so wird man an der Stelle der blauen Scheiben zwei dunkle Flecken bemerken. Man kann es nun leicht so einrichten, dass sich auf der weissen Wand gerade dort, wo einer der dunklen Flecken erscheint, ein schwarzer Punkt befindet. Dieser schwarze Punkt wird dann verschwinden, wenn er mit dem dunkeln Fleck zusammentrifft, so dass man sich überzeugen kann, dass der blinde Fleck in jenem dunklen Fleck mit einbegriffen, aber kleiner, als dieser sein muss. Es versteht sich von selbst, dass hierbei das andere Auge geschlossen sein muss, sonst verschwindet der schwarze Punkt gar nicht, weil er von a' gesehen wird.

Diese Versuche gelingen nicht zu allen Tageszeiten gleich gut. Des Morgens gleich nach dem Aufstehen, ist die Retina bei Vielen am empfindlichsten gegen diese Art der Reizung. Es gibt auch Individuen, denen diese Versuche gar nicht gelingen wollen. Anderen gelingen sie wieder nur dann, wenn sie die Augen nach einer bestimmten Seite drehen. Bei Bewegung der Augen in anderen Richtungen treten die Erscheinungen sehr mangelhaft oder gar nicht ein.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Hier schliessen sich die Erscheinungen an, welche die galvanische Reizung der Retina hervorbringt, indem die Eintrittsstelle des Sehnerven durch den elektrischen Strom auf eigenthümliche Art sichtbar gemacht wird. Ich lasse hier die Worte Purkinje's folgen, welcher die „galvanische Lichtfigur" zuerst zum Gegenstand einer umfassenderen und gründlicheren Untersuchung gemacht hat.

(Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht von Johann Purkinje. Berlin 1825, bei G. Reimer, pag. 35):

„Brachte ich den Leiter des Kupferpols in den Mund, und berührte mit dem Leiter des Zinkpols den Augenapfel, so erschien in dem früher finstern Gesichtsfelde an der mir sonst wohlbekannten Eintrittsstelle des Sehnerven eine hellviolette lichte Scheibe; im Axenpunkte des Auges war ein rautenförmiger dunkler Fleck, mit einem rautenförmigen gelblichen Lichtbande umgeben, darauf folgte ein gleiches finsteres Intervall und noch ein etwas schwächer leuchtendes gelbliches Rautenband; die äusserste Peripherie des Gesichtsfeldes aber deckte ein schwacher, lichtvioletter Schein, der, wie man das Auge rollte, abwechselnd an einzelnen Stellen heller wurde. Somit zeigte sich hier der Gegensatz des Sauren und Alkalischen, des Zink- und Kupferpols als Peripherisches und Centrales, als Nerveneintritt und Axenpunkt. Hob ich die Berührung auf, so kehrten sich die Farben um. Wechselte ich die Pole, brachte ich den Kupferpol ins Auge, den Zinkpol in den Mund, so kehrten sich die Farben so wie auch die Licht- und Schattenpartien um. Am Eintrittsorte des Sehnerven war ein kreisrunder finsterer Fleck mit einem hellvioletten Scheine umgeben, der als ein hellviolettes Rautenband gegen die Mitte des Gesichtsfeldes auf- und niederstieg, und sich mit zwei convergirenden Schenkeln auf der entgegengesetzten Seite schloss; diesem nach innen war ein finsteres Intervall und im Axenpunkte des Sehfeldes eine glänzende hellviolette Rautenfläche".

Man ersieht hieraus, dass die Eintrittsstelle des Sehnerven je nach der Richtung des elektrischen Stromes, als helle oder dunkle Scheibe erscheint.

Es entsteht nun die Frage ob diese Erfüllung des blinden Flecks mit Helligkeit oder Dunkel auf die oben mitgetheilte Weise zu erklären ist oder nicht; ob die Erfüllung der Lücke in Folge der gereizten, empfindlichen Umgebung r der Eintrittsstelle des Sehnerven durch ein Phantasma vermittelt wird, oder ob vielleicht der blinde Fleck

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

nur für das Licht unempfindlich, gegenüber dem elektrischen Reize aber gar nicht blind ist; a priori lässt sich diese Möglichkeit gar nicht bestreiten. Hier könnte folgendes Experiment entscheiden. Es müsste ein Individuum zunächst eine genaue Projection seines blinden Fleckes auf eine Tafel entwerfen, in der Art wie es Fick und Du Bois gethan, und dann vor dieser Tafel bei offenem Auge die galvanische Lichtfigur hervorrufen. Würde es sich herausstellen, dass sich die galvanische Figur der Eintrittsstelle und die Projection des blinden Fleckes genau decken, so dürfte man schliessen, dass die empfindliche Umgebung *r* der Eintrittsstelle aus dem Spiele geblieben ist, und der blinde Fleck zur Lichtempfindung durch den elektrischen Strom angeregt wurde. Würde die galvanische Figur grösser erscheinen, als die Projection des blinden Fleckes, dann kann man sicher sein, dass die empfindliche Umgebung *r* der Eintrittsstelle gewiss mit im Spiele ist, ob allein? ob zugleich mit einer vermutheten Lichtempfindung in der blinden Stelle? bliebe problematisch.

Ebenfalls ungewiss bliebe die Entscheidung, wenn die galvanische Figur kleiner als die Projection ausfiele, obschon es dann allerdings wahrscheinlicher wäre, dass die Lichtempfindung im Centrum der blinden Stelle durch den Strom direct erregt worden sei.

Ich war verhindert, durch eine vorübergehende krankhafte Reizbarkeit meiner Augen den angegebenen Versuch selbst anzustellen und muss daher für jetzt darauf verzichten, diesen Punkt zu erledigen. Vielleicht verfolgen Andere den von mir betretenen Weg.

§. 6. Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.

Schon im Jahre 1847 habe ich den Scheiner'schen Versuch, welcher in der physiologischen Optik so häufig zur Anwendung kommt, auch zur Beobachtung der Farbenmischung in einem Auge eingerichtet und benützt.

Ich befestigte nämlich vor jede Öffnung des Kartenblattes ein Glas von bestimmter Farbe. Blickt man durch ein Scheiner'sches Doppelloch nach einem hellen Hintergrunde, so bemerkt man bekanntlich zwei helle Scheiben, welche sich mehr oder weniger decken, so dass ein beiden gemeinschaftlicher Raum vorhanden ist; diesen gemeinsamen Raum nenne ich das „Interferenzfeld".

Es versteht sich von selbst, auf welche Art ich durch obige Vorrichtung meinen Zweck erreichte. Jede der beiden hellen Schei-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

ben erschien in der Farbe des vor die entsprechende Öffnung befestigten Glases, — das Interferenzfeld wurde von beiden Farben bestrahlt, und musste in einer Mittelfarbe erscheinen, um welche es sich eben handelte.

Zu meiner grossen Verwunderung fand ich, nachdem eine grosse Menge von farbigen Glasplatten durchprobirt worden war, dass nur Roth und Blau ihre Mischfarbe, Violet, gaben, während fast alle übrigen Grundfarben im Interferenzfeld ein helles Grau meist mit einem Stich ins Röthliche oder eine schmutzige Missfarbe erscheinen liessen.

Damals schob ich diese auffallende Erscheinung auf die Unreinheit der Farben im Glase und vermuthete, dass mit reinen Spectrumfarben Resultate zu erhalten wären, welche der gewöhnlichen Farbenlehre besser entsprechen sollten. Um Spectrum-Farben zum Versuche anwenden zu können, hatte ich mir vorgenommen, zwei kleine um eine horizontale Axe drehbare Glasprismen vor die Öffnungen des Kartenblattes anzubringen, und durch die verschiedene Stellung der Prismen verschiedene Farben durch die Öffnung des Kartenblattes fallen zu lassen.

Seither hat bekanntlich Helmholtz (Müll. Arch. 1852) seine neue Theorie der zusammengesetzten Farben entwickelt, und die auffallendste meiner Erfahrungen, dass nämlich Gelb und Blau weisslich Grau und durchaus nicht Grün gab, zu einer allgemein gültigen Thatsache erhoben.

Bedeckte ich bloss eine Öffnung des Scheiner'schen Doppelloches mit einem farbigen Glase, so erschien mir der dem unbedeckten Loche entsprechende Zerstreuungskreis mit einem zarten Hauche der complementären Farbe des Glases überflogen. Betrachte ich eine Nadel durch ein so vorbereitetes Doppelloch, so erscheint mir ein farbiges Doppelbild derselben und zwar ist das eine Bild von der Farbe des Glases, das andere complementär gefärbt.

Das Belegen der Öffnungen des Scheiner'schen Doppelloches mit farbigen Gläsern hat, abgesehen von diesen Beobachtungen der Farbenmischung in einem Auge, noch einen anderen Vortheil, und dieser betrifft die Demonstration des Scheiner'schen Versuches selbst. Betrachtet man nämlich eine Nadel, die man gegen das Licht hält, durch das farbige Doppelloch, so erscheint im Interferenzfeld auch ein farbiges Doppelbild der Nadel und zwar hat das

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

eine der Doppelbilder die Farbe des vor der rechten, das andere die Farbe des vor der linken Öffnung befestigten Glases. Das Doppelbild, welches der rechts gelegenen Öffnung seine Entstehung verdankt, erscheint in der Farbe des Glases, das vor der links gelegenen Öffnung angebracht ist, und umgekehrt, indem die gegen das Licht betrachtete Nadel zwei Schattenkegel durch die farbigen Öffnungen in das Auge wirft, welche, wenn sie im Interferenzfeld auf der Retina projicirt werden, und die Farbe ihrer Öffnung daselbst aufheben, in der Farbe der andern Öffnung erscheinen müssen. Man ersieht hieraus wie sich unter diesen Umständen aus der Farbe des Doppelbildes unmittelbar bestimmen lässt, welcher Öffnung es angehört.

In gewisser Entfernung erscheint die Nadel bekanntlich einfach und dann ist sie schwarz, weil beide Schattenkegel auf denselben Punkt der Netzhaut auftreffen und alles Licht daselbst aufheben.

Betrachtet man durch das farbige Doppelloch statt der Nadel einen feinen Lichtpunkt, so erscheint derselbe als farbiger Doppelpunkt, und zwar gehört der Punkt zur Öffnung gleicher Farbe. Es sei die rechte Öffnung des Doppelloches mit einer gelben, die linke Öffnung mit einer blauen Glasplatte bedeckt, so wird der Gang der Lichtstrahlen, welche von einem Lichtpunkte (A) ausgehen, folgender sein. (Fig. 14.)

Bringt man ein bei A durchlöchertes Kartenblatt vor die Doppelöffnung und lässt von A zwei feine Strahlenkegel durch die farbigen Gläser bei g und b einfallen, so bildet sich rechts ein gelbes (γ), links ein blaues (β) Bild des Punktes A.

Da die Retina alle Eindrücke umgekehrt nach aussen setzt, so sehen wir unter diesen Umständen das gelbe Bild links und das blaue rechts, wie die beiden Sehstrahlen anzeigen ($\beta\beta'$, $\gamma\gamma'$).

Entfernt man den Punkt A so weit, dass die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen vor die Netzhaut fallen, dann erscheint uns das rechte Bild gelb und das linke blau, weil dann die linke Öffnung ihr Bild objectiv rechts von dem Bilde der rechten Öffnung auf die Netzhaut wirft, wie Fig. 15 zeigt.

Befindet sich A in der passenden Sehweite, so erscheint ein einfacher Punkt von weisser Farbe, indem dann das gelbe und blaue Bild auf denselben Netzhautpunkt fallen.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

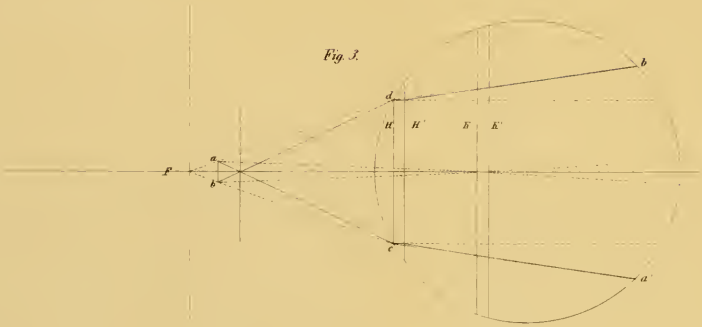
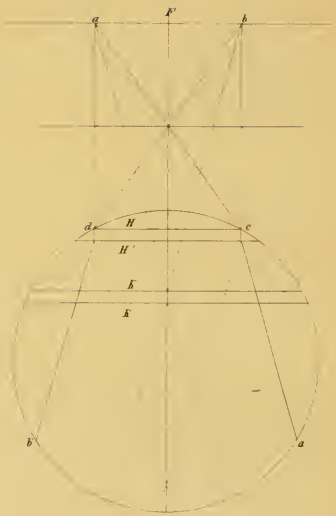


Fig. 4.

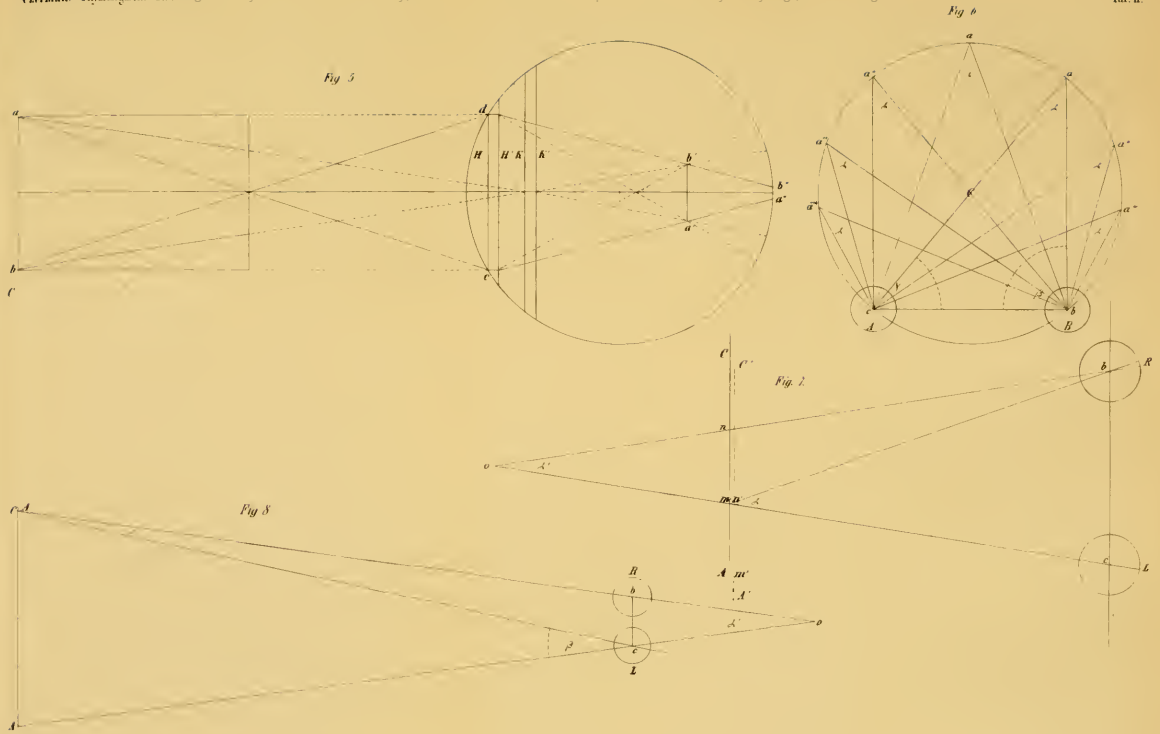


Sitzungsb. d. k. Akad. d. W. math.-naturw. Cl. XII. Bd. 3. Heft. 1854.

Aus d. k. k. Hof- u. Staatsdruckerei.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Aus d k k Hof u Staatsdruckerei.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 9.

Fig. 10

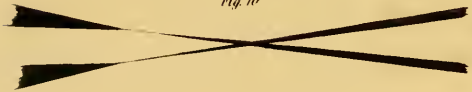


Fig. 11

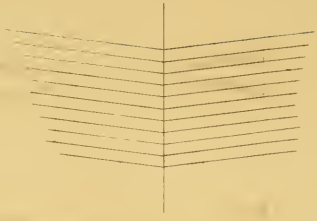


Fig. 12.

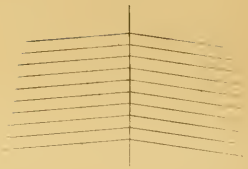


Fig. 14.

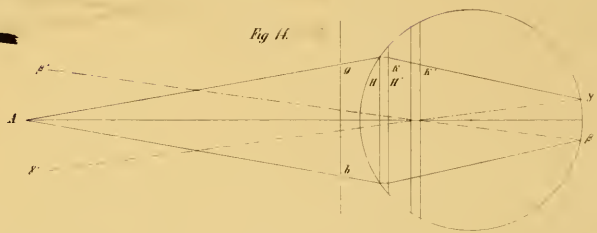
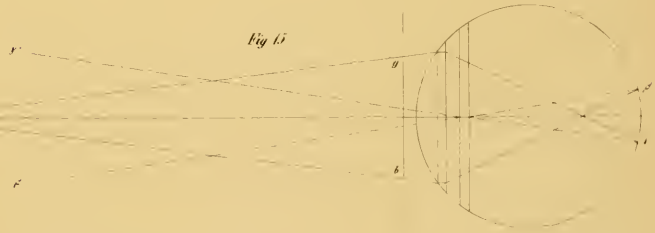


Fig. 13.

Fig. 15



Sitzungsb. d. k. Akad. d. W. math.-naturw. Cl. XII. Bd. I. Heft. 1854.

Aus d. k. k. Hof- u. Staatsdruckerei

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1854

Band/Volume: 12

Autor(en)/Author(s): Czermak [Czermák] Johann Nepomuk

Artikel/Article: Physiologische Studien (Mit III Tafeln.). 322-366