



Untersuchungen
über die
**Beziehungen zwischen Accommodation und
Convergenz der Blicklinien.**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
der
Doctorwürde in der Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe.

Unter dem Präsidium

von

Dr. Albrecht Nagel,

o. ö. Professor der Augenheilkunde, Vorstand der ophthalmiatriischen Klinik.

Vorgelegt

von

Heinrich Biesinger

aus Rottenburg.



Tübingen, 1879.

Druck von Heinrich Laupp.



Beim binocularen Sehen sind beide Augen mit den Blicklinien auf den Fixirpunkt gerichtet und auf denselben optisch accommodirt. Liegt der Fixirpunkt in grosser Ferne, so sind die Blicklinien parallel, die Accommodation ist, wenn die Augen emmetropisch sind, erschlaft. Rückt der Fixirpunkt näher, so erfolgt ohne besonderen darauf gerichteten Willensimpuls zugleich mit der zunehmenden Convergenz der Sehlinien eine stärkere Anspannung der Accommodation. Umgekehrt verbindet sich der Regel nach mit jeder Accommodationsanspannung eine entsprechende Convergenzanstrengung. Es besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen beiden Functionen. Derselbe darf jedoch nicht als ein zu enger aufgefasst werden. Wie die meisten Bewegungsassociationen durch Uebung bis zu einem gewissen Grade von einander unabhängig werden, so kann man auch die erwähnte Verbindung innerhalb gewisser Grenzen lösen. Der speciell darauf Eingebübte vermag dies ohne jede künstliche Beihilfe. Der Ungeübte bedarf, um seine Accommodation einigermaßen von der Convergenz zu lösen, künstlicher Hilfsmittel. Als solche dienen am einfachsten entweder Concav- und Convexgläser oder in seitlicher Richtung ablenkende Prismen. Die zerstreuende Wirkung von Concavlinsen wird durch vermehrte Accommodationsanspannung, die sammelnde Wirkung von Convexlinsen durch Accommodationser-schlaffung neutralisirt oder, wie man sich ausdrückt, die Gläser werden »überwunden«; die durch Prismen hervorgerufene Di-

plomie wird durch entsprechende Convergenz- resp. Divergenzbewegung der Augen beseitigt oder, wie man kurz sagt, die Prismen werden überwunden. Mit Hilfe sphärischer Gläser wird bei gegebener Convergenz die Accommodation, mit Hilfe prismatischer Gläser wird bei gleichbleibender Accommodation die Convergenz geändert.

Auch durch stereoskopische Bilder lässt sich eine Trennung des natürlichen Zusammenhanges zwischen Accommodation und Convergenz bewirken, indem den zu binocularer Verschmelzung zu bringenden Bildern eine Stellung gegeben wird, welche an beide Functionen verschiedene Forderungen stellt. Bei parallelen Blicklinien können Bilder verschmolzen und scharf gesehen werden, welche sich in geringem Abstände vor den Augen befinden und daher eine starke Accommodationsanstrengung nöthig machen — und ebenso umgekehrt.

Dass die Verbindung zwischen Accommodation und Convergenz innerhalb gewisser Grenzen gelöst werden könne, ist lange bekannt, jedoch hat erst Donders systematische Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt und den Grad der Lösbarkeit näher bestimmt. Er experimentirte mit sphärischen Gläsern und untersuchte, in wie weit ohne Veränderung der Convergenz die Accommodation wechseln kann unbeschadet der Deutlichkeit des Bildes. Donders fand, dass man bei jedem gegebenen Convergenzgrade nur über einen gewissen Theil der totalen Accommodationsbreite verfügen kann, und unterschied diesen durch die Convergenz eingeschränkten Accommodationsspielraum als relative Accommodationsbreite, die er zum Unterschiede von der absoluten Accommodationsbreite $\frac{1}{A}$ mit $\frac{1}{A_1}$ bezeichnet. Wenn wir mit P_1 den Abstand des nächsten, mit R_1 den Abstand des fernsten Punktes bezeichnen, welcher bei gegebener Convergenz durch Aenderung der Accommodation noch scharf gesehen wird, so gilt hier die analoge Relation, wie für die absolute Accommodationsbreite: $\frac{1}{A_1} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{R_1}$. Denjenigen Theil der bei einer bestimmten Convergenz verwendbaren Accommodationsbreite,

zu welchem verstärkte Accommodationsanstrengung gehört, nennt Donders den positiven Theil, den Theil, zu welchem Erschlaffung der Accommodation gehört, den negativen Theil der relativen Accommodationsbreite.

Donders hat die Ergebnisse seiner Untersuchungen durch graphische Darstellung anschaulich gemacht. Er bedient sich hiezu eines rechtwinkligen Coordinatensystems, auf dessen Abscissenaxe die Convergenzwerte in Winkelgraden, auf dessen Ordinatenaxe die reciproken Werthe der Abstände, für welche accommodirt wird, gemessen werden. Die Diagonale des quadratischen Netzes bedeutet die Medianlinie, welche die Punkte enthält, auf welche unter normalen Verhältnissen d. h. bei emmetropischer Refraction accommodirt und convergirt wird; sie wird von Donders kurz als Convergenzlinie bezeichnet. Er berechnet nun aus der Brechkraft des bei gegebener Convergenz durch Anspannung resp. Erschlaffung der Accommodation überwundenen stärksten Concav- bzw. Convexglases, auf welchen Punkt die Augen in Wirklichkeit eingestellt sind, und findet auf diese Weise den nächsten und fernsten Punkt, auf welchen die Augen in der betreffenden Convergenzstellung scharf eingestellt werden können. Diese berechneten Abstände werden auf der dem jeweiligen Convergenzwinkel entsprechenden Ordinate vom Nullpunkte aus aufgetragen. Der positive Theil der relativen Accommodationsbreite kommt auf diese Weise über, der negative unter die Convergenzlinie zu stehen. Die Grenzen der relativen Accommodationsbreiten für jeden Convergenzgrad sind gegeben durch den Verlauf der Curve des relativen Fern- und Nahepunktes. Aus der Figur lässt sich ferner ablesen der absolute Fernpunkt d. i. der fernste Punkt, dessen Strahlen auf der Retina bei paralleler Richtung der Blicklinien zu einem Bildpunkt vereinigt werden können; der absolute Nahepunkt d. h. der nächste Punkt, auf welchen bei stärkster Convergenz das Auge eingestellt werden kann; endlich der binoculare Nahepunkt d. i. der nächste Punkt, auf den beide Augen zugleich accommodiren und convergiren können. Der letztere liegt da, wo die Nahepunktcurve die Convergenzlinie schneidet.

Durch die Ausdehnung seiner Versuche auf ametropische Individuen kam *Donders* zu dem wichtigen Resultate, dass sowohl die Grösse des relativen Accommodationsgebietes, als die Lage desselben zur Convergenzlinie und damit die Form der Curven erhebliche und für das Verständniss und die Behandlung der Refractionsanomalieen bedeutungsvolle Unterschiede zeigt.

Die *Donders*'schen Untersuchungen über die relativen Accommodationsbreiten haben rasch classische Geltung erlangt; ihre Ergebnisse wurden allgemein acceptirt und sind in die neueren ophthalmologischen Werke übergegangen, ohne dass sie jedoch von andern Beobachtern controlirt oder weitergeführt und auf eine grössere Reihe verschiedenartiger Individuen ausgedehnt worden wären; wenigstens sind in der Literatur keine derartigen Versuche bekannt geworden. Der Grund hievon mag in der Umständlichkeit der Versuche und der Berechnungen liegen, vor Allem aber wohl in der Schwierigkeit, geeignete Versuchsindividuen zu finden.

Auf Anregung meines hochverehrten Lehrers Herrn Professor *Nagel* habe ich den Versuch gemacht, die *Donders*'schen Untersuchungen zu wiederholen und nach einigen Richtungen hin zu erweitern, und die Ergebnisse in einer möglichst anschaulichen und leicht verständlichen Form vorzulegen. Die Versuche wurden an mir selbst und anderen Personen, welche sich zu diesen Versuchen qualificirten, angestellt. Es sind Personen von ganz oder nahezu emmetropischer Refraction und zwei Myopen. Einen passenden Hyperopen habe ich zur Zeit dieser Untersuchungen nicht zur Verfügung gehabt.

Eine grosse Erleichterung für diese Arbeit fand ich in der Einführung des Metermasses in die Ophthalmologie. Durch Zugrundelegung der von Prof. *Nagel* im Jahre 1867 vorge schlagenen und jetzt in der wissenschaftlichen Ophthalmologie schon ziemlich allgemein eingebürgerten Meterlinse (Ml) als Einheit dioptrischer Werthe vereinfachen sich die bei diesen Untersuchungen vorkommenden Rechnungen ungemein. Um sich auf einen in 1 Meter Abstand befindlichen Punkt einzustellen, bedarf das emmetropische Auge eines Accommodationsaufwandes im dioptrischen Werthe einer Meterlinse; für $\frac{1}{2}$ Meter Abstand

ist der Accommodationsbetrag 2 Ml, für $\frac{1}{3}$ Meter Abstand 3 Ml, für $\frac{1}{n}$ Meter Abstand n Ml. In analoger Weise können die Convergenzleistungen anstatt in Winkelgraden in Einheiten angegeben werden, die sich dem metrischen Systeme genau anpassen. Der Winkel, um welchen die gerade aus nach vorn gerichtete Blicklinie nach einwärts gewendet werden muss, um die Durchschnittsline der Medianebene des Körpers mit der horizontalen Visirebene in 1 Meter Abstand vom Auge aus gemessen (nicht von der Mitte der Basallinie der Augen aus) zu schneiden, wird von Prof. Nagel als Meterwinkel (Mw) bezeichnet und als Masseinheit für die Convergenzbeträge gewählt. Er zeigt, dass die Einwärtswendung, welche erforderlich ist, um einen in $\frac{1}{2}$ Meter Abstand vom Auge gelegenen Punkt dieser Medianlinie zu erreichen, 2 Mw. beträgt; dass ferner eine Blickwendung um 3 Mw. dem Abstände von $\frac{1}{3}$ Meter, eine Blickwendung um 4 Mw. dem Abstände von $\frac{1}{4}$ Meter vom Auge entspricht. Die Regel, dass der im Abstände von $\frac{1}{n}$ Meter befindliche Punkt durch eine Einwärtswendung von n Mw. erreicht wird, gilt mit sehr annähernder Genauigkeit so lange, als es sich um kleine Winkel handelt. Construiren wir ein rechtwinkliges Dreieck, dessen Hypotenuse 1 Meter, dessen eine Kathete gleich dem halben Abstände der Drehpunkte beider Augen von einander ist und mit d bezeichnet wird, so ist

$$\text{Sin. } 1 \text{ Mw} = \frac{d}{1\text{m}}.$$

Da für kleine Winkel der Werth des Sinus sich nur sehr wenig von dem Werthe des Bogens unterscheidet, darf gesetzt werden

$$1 \text{ Mw} = \frac{d}{1\text{m}}.$$

Die Grösse des Meterwinkels wechselt sonach mit dem gegenseitigen Abstände der Augendrehpunkte. Prof Nagel hat die Werthe für die verschiedenen Drehpunktabstände berechnet und gefunden, dass für jedes Millimeter in der Länge des halben Drehpunktabstandes der Meterwinkel um 1,72 Winkel-Minuten oder um 1'43.2" wächst. Für die durchschnittliche Grösse von

2d = 64 Mm. beträgt Mw. $1^{\circ}50' = 1.833^{\circ}$. Für meine eigene Drehpunktsdistanz von 60,5 mm. ist der zugehörige Mw. = $1,732^{\circ}$; für 2d = 67 Mm. ist Mw. = 1,919, für 2d = 56 Mm. ist Mw. = $1,603^{\circ}$, für 2d = 71 Mm. ist Mw. = $2,034^{\circ}$.

Die Methode meiner Untersuchungen war folgende. Ich benützte ein 10 Ctm. breites, 1 Meter langes Brett, dessen eine schmale Seite mit einem Ausschnitte für die Nase versehen ist. Die Medianebene des Körpers fällt mit der Längshalbirungslinie des Brettes zusammen, auf welcher sich das Fixationsobject bewegt, dessen Entfernungen vom Knotenpunkte jedes meiner Augen gemessen (es wurden 7 Mm. von der Hornhautoberfläche an hinzugerechnet) in Bruchtheilen des Meters aufgetragen sind. Die Abstände von 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{20}$ Meter sind markirt. Als Fixationsobject haben sich die Burchardt'schen Punktproben am zweckmässigsten erwiesen: dieselben besitzen die hinreichende Feinheit; die Grössenverhältnisse sind bestimmten Entfernungen angepasst; die Entscheidung, ob vollständig scharf gesehen wird, ist dabei verhältnissmässig leicht; auch sind sie, selbst bei öfteren Versuchen, kaum auswendig zu lernen und Errathen ist möglichst ausgeschlossen. Zur Controlle der Angaben wurden noch die kleinen Jäger'schen Schriftproben verwendet. Die eingesetzten Gläser sind in der Art beweglich, dass bei jedem Convergenzgrade die Axe des Glases mit der Blicklinie zusammenfällt. Der Abstand der Gläser vom Auge wurde in allen Fällen auf 20 Mm. vom Hauptpunkte des Auges festgesetzt und dadurch unverändert erhalten, dass die zu untersuchende Person sich mit den Backenknochen gegen das Brett stützt. Ausserdem habe ich zu demselben Zwecke eine verschiebbare Stirnstütze anbringen lassen, wodurch zugleich die genau horizontale Richtung der Blickebene während der ganzen Dauer einer Untersuchung controlirt wird, was von Belang für das Ergebniss derselben ist.

Hering*) hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass Lage und Umfang der binocularen Accommodationsbreite verschieden sei, je nachdem sie bei dieser oder jener Kopfhaltung, dieser oder jener Lage der

*) Die Lehre vom binocularen Sehen I. pag. 141.

Blickebene bestimmt wird. Er giebt an, dass bei gesenktem Blicke der binoculare Fernpunkt für seine Person weiter hinausliege, als bei horizontaler oder gar gehobener Blickebene, und führt dies darauf zurück, dass beim Blicke nach unten die Augen aus rein mechanischen Gründen und ohne Intervention einer Innervation der Interni convergiren, dass also auch die associirte Accommodationsinnervation geringer ausfalle oder ganz fehle. Schirmer*) fand im Gegentheile, dass das Accommodationsgebiet für den gesenkten Blick den Augen merklich näher liegt als für den gehobenen Blick, und erklärt dies daraus, dass wir gewohnt sind, beim Blicke nach unten stärker zu accommodiren. Ich habe an mir diesbezügliche Versuche mit Hilfe des gleichen Apparates angestellt und bin zu demselben Resultate gekommen wie Schirmer. Es wurde dabei darauf Rücksicht genommen, dass bei den verschiedenen Neigungen der Visirebene die Entfernung des Objectes vom Auge hauptsächlich die gleiche blieb. Der Unterschied des Abstandes des binocularen Nahepunktes, den ich zur Probe wählte, ist bei starker Hebung und Senkung der Blickebene ein ziemlich erheblicher. Der geringe Wechsel in der Kopfhaltung, wie er bei den lange dauernden Prüfungen der relativen Accommodationsbreite unausbleiblich ist, bedingt kaum ins Gewicht fallende Ungenauigkeiten; stärkere Neigungen der Blickebene sind leicht zu vermeiden.

Bei der einzelnen Untersuchung folgte ich im Wesentlichen den Angaben von Donders. Zunächst wurde die Refraction der Versuchsperson durch Ermittlung des Correctionsglases für den Abstand von 5 Metern festgestellt. Sodann wurde, ebenfalls bei parallelen Blicklinien, mit dem stärksten negativen Glase der relative Nahepunkt p_1 ermittelt. Der binoculare Nahepunkt p_2 wurde ohne Gläser bestimmt, indem ich das Fixationsobject auf dem Apparate in der Medianlinie so nahe heranschoob, bis dasselbe undeutlich zu werden begann. Nuncmehr werden die übrigen relativen Nahepunkte der Accommodation p_i für die verschiedenen Abstände von 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ etc. Meter ermittelt: das stärkste Concavglas, welches bei der gegebenen Convergenz überwunden wird, liefert uns den Werth derselben. Diesselts des binocularen Nahepunktes bleibt die Accommodation hinter der Convergenz zurück: wir brauchen, um näher gelegene Punkte deutlich sehen zu können, die Unterstützung von Convexgläsern. Das schwächste Convexglas, welches uns das Scharfsehen ermöglicht, gibt uns das Mass, um

*) Klin. Monatsblätter für Augenheilkunde VII. pag. 405. (1869).

wie viel unsere stärkste Accommodationsanstrengung hinter der geforderten Leistung zurücksteht; so bekommen wir die relativen Nahepunkte diesseits p_2 . In ähnlicher Weise werden sodann die relativen Fernpunkte r_1 mit Hilfe der stärksten positiven Gläser für die Entfernungen von 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ etc. Meter gefunden. Zuletzt wird der absolute Nahepunkt p gesucht d. h. der nächste Punkt, der mittelst der grössten Accommodationsanstrengung mit jedem Auge einzeln noch scharf gesehen werden kann mit Verzicht auf die binoculare Fixation; derselbe kann auf dem Apparate oder auch durch direkte Messung bestimmt werden.

Zur Controlirung der so gefundenen Punkte benützte ich eine zweite von Donders empfohlene Methode, wobei die entsprechenden Gläser unverändert bleiben und das Fixirobjekt hin und her geschoben wird, bis die Grenzen des Deutlichsehens gefunden sind. Wir rücken zur Controle der Nahepunkte bei vorgehaltenen Concavgläsern mit dem Objekt möglichst nahe heran, bei eingesetzten Convexgläsern, um den relativen Fernpunkt zu bekommen, mit demselben möglichst hinaus.

Diese Untersuchung erfordert neben hinreichender Sehschärfe, annähernd gleicher Refraction, gleichem Accommodationsvermögen, sowie freier Beweglichkeit beider Augen einige Intelligenz der Versuchsperson und die volle Aufmerksamkeit derselben. Selbst wo alle diese Bedingungen erfüllt sind, sind die ersten Angaben sehr schwankend und kaum zu verwerthen und erst nach einiger Uebung werden dieselben sicherer und constanter. Die Leistungen unserer Accommodation sind überdies selbst von einem Tage auf den andern ungemein wechselnd, wie ich das an mir und Anderen erprobt habe. Es ist also von Werth, gleich in Einer Sitzung eine ganze Serie von Beobachtungen zu bekommen. Ausserdem ermüdet der Accommodationsmuskel während der langen Untersuchung ziemlich rasch. Daher ist es zweckmässig, nicht stufenweise von Intervall zu Intervall das Objekt zu verschieben, sondern, nachdem die oben genannten wichtigsten Grenzpunkte gefunden sind, überspringe man bei der Veränderung des Objektsabstandes

immer einige Distanzen und hole diese im weiteren Verlaufe der Prüfung nach.

Die auf diese Weise erhaltenen Werthe für die relative Accommodationsbreite leiden jedoch an einer Ungenauigkeit, die bedingt ist dadurch, dass das Glas nicht im Auge selbst, sondern in einem bestimmten Abstände vor demselben aufgestellt ist. Die Wirkung der Gläser ändert sich ja mit ihrem Abstände vom Auge und zwar nimmt mit zunehmendem Abstände ied Wirkung von negativen Gläsern ab, von positiven zu. Der Fehler wird um so beträchtlicher, je näher das Fixationsobjekt dem Auge liegt und je stärker das Glas ist. So kommt es, dass bei den höheren Convergenzbeträgen die Stärke der überwundenen Convexgläser immer zunimmt, so dass es den Anschein gewinnt, als ob bei wachsender Convergenz die Accommodation nachlasse. Wir müssen also aus den gefundenen Gläsern die wahren Werthe der optischen Einstellung des Auges berechnen nach der Formel

$$\frac{1}{e-d} = \frac{1}{e_1-d} - \frac{1}{f},$$

in welcher e den Abstand bedeutet, auf welchen das Auge in unbewaffnetem Zustande eingerichtet ist, e_1 den Abstand, auf den das Auge mit dem Glase eingerichtet ist, $\frac{1}{f}$ die Brechkraft des Glases, d dessen Abstand vom Hauptpunkte des Auges.

Ein Beispiel wird die Berechnung mit metrisch-decimalen Werthen erläutern: Ein Emmetrop überwindet bei einer Convergenz auf $\frac{1}{5}$ Meter noch Concavglas 2 im Abstände von 2 Ctm.; demnach ist $d = 0,02$; $e_1 = 0,2$. Setzen wir diese Zahlen in die Formel ein, so bekommen wir:

$$\begin{aligned} \frac{1}{e-0,02} &= \frac{1}{0,2-0,02} + 2 \\ &= 5,55 + 2 = 7,55. \\ e &= \frac{1}{7,55} + 0,02 = 0,152. \end{aligned}$$

In Wahrheit also ist das Auge auf 15,2 Ctm. eingestellt; die Accommodationsleistung, in Meterlinsen ausgedrückt, entspricht dem reciproken Werthe $\frac{1}{15,2} = 6,58$.

Mit der Convergenz auf $\frac{1}{5}$ Meter ist aber bei dem mit freiem Auge sehenden Emmetropen ein Accommodationsbetrag von 5 ML. verbunden, also beträgt der positive Theil der relativen Accommodationsbreite nicht 2, sondern $6,58 - 5 = 1,58$ ML.

Oder: der Emmetrop braucht, um auf $\frac{1}{10}$ Meter mit stärkster Accommodationsanspannung scharf zu sehen, Convex 2,75. Es hätte demnach seine Accommodation nur den Werth von 7,25 ML., sein Nahepunkt würde in 13,7 Ctm. liegen. Berücksichtigen wir jedoch den Abstand der Linse, so ergibt sich als wirklicher Nahepunkt

$$\begin{aligned} \frac{1}{e-0,02} &= \frac{1}{0,1-0,02} - 2,75 \\ &= 12,5 - 2,75 = 9,75. \\ e &= \frac{1}{9,75} + 0,02 = 12,2 \text{ Ctm.} \end{aligned}$$

Er wendet also in Wirklichkeit eine Accommodation im Werthe von 8,19 ML. auf d. h. das Convexglas 2,75 hat in dem Falle nur den Werth von 1,81 ML.

Bei den Bestimmungen der relativen Accommodationsbreite ist daher die Berücksichtigung des Linsenabstandes unerlässlich, wenn man nicht bedeutenden Fehlern unterliegen will. Anderseits geht aus den Rechnungen hervor, wie wichtig es ist, dass der Abstand des Glases vom Auge während der Untersuchung stets der gleiche bleibe.

Umgekehrt kann man nun auch bei einem bestimmten Accommodationszustande die Convergenz der Sehlinien ändern. Die Untersuchungen hierüber bilden das Seitenstück zu den Donders'schen. Donders selbst hat sie nur gelegentlich erwähnt; von andern sind zwar einzelne derartige Experimente angestellt, aber nicht systematisch durchgeführt worden, so dass es bis jetzt durchaus an Zahlenwerthen hierüber fehlt.

Wir bedienen uns zu diesen Versuchen prismatischer Gläser. Ein Glasprisma lenkt die hindurchtretenden Lichtstrahlen in einer Richtung ab, welche durch die Grösse und Lage seines brechenden Winkels bestimmt wird. Die Grösse der Ablenkung hängt als eine rein physikalische Wirkung ab von der Grösse

des brechenden Winkels des Prisma und dem Brechungsindex des Glases. Für die schwächeren Prismen beträgt der Ablenkungswinkel ungefähr die Hälfte des Prismawinkels, bei den stärkeren ist er grösser.

Setzt man bei binocularer Fixation eines fernen Gegenstandes, etwa einer Kerzenflamme, zwei mit der brechenden Kante nach innen gerichtete Prismen vor die Augen, so sieht man im ersten Augenblicke gekreuzte Doppelbilder, welche aber alsbald durch vermehrte Convergenz zur Verschmelzung (Fusion) gebracht werden. Ebenso wird, wenn die brechenden Kanten beider Prismen nach aussen gerichtet sind, die Fusion der beiden gesehenen Bilder eines in der Nähe befindlichen Gegenstandes, durch Abductionsbewegungen bewirkt. Die hierzu erforderlichen Augenbewegungen will ich als Fusionsbewegungen bezeichnen. Den Winkel, um welchen die Blicklinie aus der primären, gerade aus nach vorn gehenden Richtung einwärts gewendet werden muss, um einen in der Medianebene liegenden Objectpunkt binocular zu fixiren, nenne ich mit Prof. Nagel Fusionswinkel.

Für die Berechnung der Wirkung zweier in symmetrischer Lage beiden Augen vorgehaltener Prismen kommen wir zu ähnlichen Relationen, wie für die Berechnung sphärischer Gläser. Wir bezeichnen nach dem Vorschlage von Prof. Nagel den Punkt in der Medianebene, der mittelst der Prismen bei parallelen Blicklinien einfach gesehen wird, als den Hauptfusionspunkt analog dem Hauptbrennpunkte der Linse; den Abstand dieses Punktes vom Auge als die Hauptfusionsweite, den reciproken Werth dieses Abstandes als die Fusionskraft des Doppelprisma, analog der Brennweite und Brechkraft einer Linse. Die Fusionsweite und Fusionskraft eines Prisma zeigt bei verschiedenen Individuen ungleiche Werthe, weil sie wesentlich von der Länge der Basallinie der Augen abhängt.

Werden zwei Prismen beiden Augen mit der brechenden Kante nach aussen vorgehalten, so liegt der Hauptfusionspunkt des Doppelprisma vor dem Auge: wir nennen daher dieses Prisma ein positives. Dabei müssen, um ein Object binocular zu fixiren, die Augen stärker abducirt werden als der

wahren Lage des Objects entspricht: wir bezeichnen deshalb ein solches Prisma auch als *abducirendes*. Ist die brechende Kante medianwärts gerichtet, so nennen wir das Prisma entsprechend ein *negatives* oder, da die Fusion durch Adductionsbewegungen hergestellt wird, ein *adducirendes*.

Die genannten, durch vorgehaltene Prismen hervorgerufenen Augenbewegungen, Abduction und Adduction, sind bedingt durch die Tendenz, die Sehfelder beider Augen zur Deckung zu bringen. Der in solchen Versuchen Geübte vermag auf diese Weise noch sehr starke adducirende Prismen zu überwinden, freilich bald unter Aufopferung des Deutlichsehens, während der Ungeübte bald an die Grenze kommt, wo er die Doppelbilder nicht mehr vereinigen kann. Ähnlich verhält es sich bei abducirenden Prismen. Der Ungeübte ist nicht oder nur sehr schwer im Stande, die Doppelbilder zu verschmelzen, weil er die zum Einfachsehen nöthige, ihm aber ganz ungewohnte Divergenz der Gesichtslinien nicht hervorzubringen vermag, während der Geübte auch eine gewisse mässige Divergenz der Sehlinien einnehmen und dabei einfach sehen kann. Rückt das betrachtete Object näher, so kann man zunehmend stärkere abducirende Prismen überwinden.

Wir finden also, dass die Blicklinien bei gegebener Entfernung des beobachteten Gegenstandes entsprechend der Stärke des überwundenen Prisma einen gewissen, individuell verschiedenen Spielraum für Convergenz resp. Divergenz haben. Dabei sehen wir vorerst von der genauen optischen Einstellung ganz ab und streben nur darnach, mit möglichst starken Prismen einfach zu sehen. Wir bekommen damit ein Mass für die Leistungsfähigkeit unserer Abduction und Adduction im Interesse des Einfachsehens, für die Energie unseres binocularen Fusionsapparates.

Den nächsten Punkt, auf welchen beide Augen noch zu convergiren vermögen, nennen wir *Fusionsnahpunkt*, den fernsten Punkt, auf welchen die Augen durch stärkste Anstrengung der Abduction sich einstellen können, den *Fusionsfernpunkt*. Der Raum zwischen beiden, linear gemessen, kann als *Fusionsbereich* bezeichnet werden. Da indessen der

Fusionsfernpunkt sehr häufig kein reeller, sondern ein virtueller, hinter dem Auge liegender ist, so erscheint es zweckmässiger, wie die Accommodationsbreite als dioptrischen Werth, so hier die betreffenden Winkelwerthe als Fusionsbreite zu bezeichnen. In diesem Sinne hat Prof. Nagel den Ausdruck verwendet; denn die Accommodation muss nach Linsenwerthen, die Fusion nach Winkelwerthen gemessen werden. Als Masseinheit dient, wie dort die Meterlinse, hier der Meterwinkel.

Für die Fusionsbreite hat Prof. Nagel einen analogen Ausdruck wie für die Accommodationsbreite abgeleitet, wie folgt:

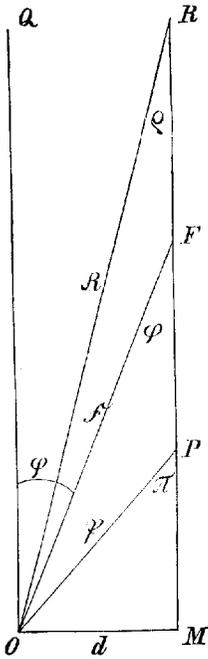


Fig. 1.

In nebenstehender Figur 1 bedeutet der Punkt O den Drehpunkt des linken Auges, M den Mittelpunkt der den Drehpunkt beider Augen verbindenden geraden Linie, OM, die halbe Grundlinie sei $= d$, RM sei die Medianlinie in der Viresene, R der Fusionsfernpunkt, P der Fusionsnahepunkt, OQ die primäre Richtung des geradeaus in die Ferne sehenden Auges. Der zur Erreichung des Fusionsfernpunktes R erforderliche Drehungswinkel $QOR = ORM$ sei $= \rho$, der zur Erreichung des Fusionsnahepunktes P erforderliche Drehungswinkel sei $= \pi$. Wird nun der die gesammte Fusionsbreite repräsentirende Winkel ROP mit φ bezeichnet, so ist $\varphi = \pi - \rho$.

Der Winkel φ werde von OQ angetragen und mit F der Punkt bezeichnet, in welchem der Schenkel des Winkels die Medianlinie schneidet; die Abstände der Punkte R, F, P von O werden mit den gleichen deutschen Buchstaben bezeichnet. Dann ist

$d = \delta \sin. \varphi = \beta \sin. \pi = \mathfrak{R} \sin. \rho$
und solange es sich um Winkel von geringer Grösse handelt

$$d = \delta \varphi = \beta \pi = \mathfrak{R} \rho.$$

Da $\varphi = \pi - \rho$ ist, so ist

$$\frac{d}{\delta} = \frac{d}{\beta} - \frac{d}{\mathfrak{R}} \quad \text{oder} \quad \frac{1}{\delta} = \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\mathfrak{R}}$$

$\frac{d}{\delta}$ resp. $\frac{1}{\delta}$, oder der Sinus resp. Bogen des Winkels φ , ist gleich der Fusionsbreite und für sie gilt also ein analoger Satz wie für die Accommodationsbreite: Die Fusionsbreite ist gleich der Differenz der reciproken Werthe der vom Auge aus gemess-

senen Abstände des Fusionsnahepunktes und Fernpunktes.

Wenn \mathfrak{P} und \mathfrak{R} in Metern ausgedrückt werden, so drückt sich die Fusionsbreite in Meterwinkeln aus, analog wie die Accommodationsbreite in Meterlinsen.

v. Graefe*) hat zuerst den Ausdruck Fusionsbreite gebraucht und verstand darunter den bei einem bestimmten Accommodationszustande disponiblen Spielraum für die Sehlinienconvergenz. Den gesammten für die Fusionsbewegungen verfügbaren Spielraum ohne Rücksicht auf die Accommodation hat er Adductionsbreite genannt. Wir werden im Folgenden, um die Analogie zwischen Accommodation und Fusion möglichst aufrecht zu erhalten, letztere Grösse als absolute Fusionsbreite bezeichnen, während wir den Theil der Fusionsbreite, welcher bei bestimmter optischer Einstellung verwendbar ist, als relative Fusionsbreite unterscheiden. Wie die Accommodationsbreite durch eine bestimmte Sehlinienconvergenz, so wird die Fusionsbreite durch einen bestimmten Accommodationszustand eingeschränkt.

Ich habe für die mir zu Gebote stehenden Prismen und ihre Combinationen die Ablenkung direct gemessen, indem ich das Bild auf eine in 1 Meter Abstand befindliche ebene Tafel projecirte. Die Prismen standen dabei stets in gleichem Abstände vom Auge (c. 2 Cm. vom Knotenpunkte entfernt) und soweit das Augenmass gestattete, in der Stellung des Minimum der Ablenkung.

Die Zahl, welche die Verschiebung des Bildes in Metertheilen ausdrückt, ist unmittelbar gleich der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels, welcher letztere sich also sehr leicht berechnen lässt.

Die Ergebnisse der Messungen sind in der folgenden Tabelle enthalten:

*) Klin. Monatsblätter f. Augenheilkunde VII. 1. pag. 255.

Tabelle I.

Nummer des Prisma, angeblich nach Winkelgraden.	Lineäre Ablenkung auf 1 Meter Abstand in Centimetern.	Ablenkungswinkel.
1.	1,4	48'
2.	1,65	57'
3.	2,7	1° 33'
4.	3,7	2° 7'
5.	4,5	2° 34'
6.	5,5	3° 9'
7.	6,5	3° 43'
8.	7,7	4° 25'
9.	8,7	4° 57'
10.	9,6	5° 29'
12.	11,4	6° 30'
14.	12,4	7° 8'
16.	15,5	8° 55'
18.	17,7	10° 12'
20.	19,8	11° 25'
30.	30,0	17° 30'
40.	42,0	24° 50'
50.	55,0	33° 20'
60.	75,0	49° 40'

Hat man die stärksten positiven und negativen Prismen ermittelt, welche bei bestimmtem Abstände des Fixirpunktes überwunden werden, so wird deren Summe, weil wir den Fusionswerth für jedes einzelne Auge finden wollen, mit 2 dividirt. Die Tabelle giebt den Betrag der Ablenkung in Winkelgraden, durch Division mit dem der Versuchsperson zukommenden Betrage des Meterwinkels findet man die Fusionskraft des Prisma und damit auch nahezu die Grösse der Fusionsbewegung in Meterwinkeln ausgedrückt. Ein Beispiel wird dies erläutern: Ich überwinde beim Blick auf einen fernem Gegenstand noch die Prismencombination 100° in adducirender Stellung; davon kommen auf jedes Auge 50°. Der Ablenkungswinkel derselben beträgt 33° 20'; mein Drehpunktsabstand ist 60,5 Mm., der zugehörige Meterwinkel 1,732°. Also beträgt die bei der Ueberwindung des Prisma aufgewendete Convergencebewegung $\frac{33.333}{1.732} = 19.24$ Mw.

Ein Normalmass der absoluten Fusionsbreite lässt sich nicht wohl angeben; die Grösse derselben zeigt innerhalb physiologischer Grenzen individuelle Verschiedenheiten; doch scheinen dieselben nicht so bedeutend zu sein, wie bei der Accommodationsleistung. Auch bei dem einzelnen Individuum sind die Wandelungen der Leistungen des Fusionsapparates in den verschiedenen Lebensaltern nicht so auffallend, wie bei dem Accommodationsvermögen: während letzteres von der Jugend an bis in's Alter stetig abnimmt, bleibt, wie es scheint, die Fusion, wenn auch in der Jugend kräftiger als im Alter, doch mehr constant. Der Einfluss der Uebung ist unverkennbar, scheint sich jedoch mehr auf die Erzeugung eines activen Willensimpulses als auf die Leistungsfähigkeit des Fusionsapparates zu erstrecken.

Die absolute Fusionsbreite kann, wie die absolute Accommodationsbreite, bei den verschiedensten Stellungen des Fixir-Objectes bestimmt werden. Ermittelt man bei Betrachtung eines innerhalb des Accommodationsspielraumes gelegenen Objectes die stärksten Concavgläser und die schwächsten Convexgläser, mittelst deren das Object deutlich gesehen werden kann, so lässt sich daraus die absolute Accommodationsbreite unmittelbar berechnen. In analoger Weise kann aus den stärksten positiven und negativen Prismen, mit denen noch einfach, wenn auch nicht mehr scharf gesehen werden kann, die absolute Fusionsbreite bestimmt werden.

Der absolute Fusionsnahepunkt lässt sich auch noch in der Weise unmittelbar bestimmen, dass man den Convergenzwinkel d. h. den Winkel, unter welchem die beiden Sehlinien zusammenstossen, direct aufzeichnet, indem man eine Fläche horizontal vor beide Augen hält und einem auf derselben in der Medianlinie herangeführten Gegenstande folgt bis zum Converganzmaximum. Ich fand für mich als Maximum des Converganzwinkels in fünf nach einander angestellten Versuchen folgende Werthe: 75° , 76° , 73° , 75° , 76° , also nicht jene bedeutenden Schwankungen, wie sie Schneller*) für sich angiebt.

*) Archiv f. Ophthalm. 3. pag. 177. Schneller fand für sich als

Construire ich über meinem Drehpunktsabstande 60.5 Mm. als Basis ein gleichschenkliges Dreieck mit Winkeln von 76° an der Grundlinie, so ist jede Seite desselben gleich dem Abstände des absoluten Fusionsnahepunkts = 5,1 Ctm. Dr. Schleich (Emmetrop) fand für sich bei diesen Versuchen einen Winkel, der zwischen $77-80^{\circ}$ schwankte. Sein absoluter Fusionsnahepunkt liegt demnach, letzteren Winkel als Maximum der Convergenz angenommen, bei einem Drehpunktsabstande von 71 Mm., in 5,5 Ctm. Entfernung von jedem Auge.

In ähnlicher Weise lässt sich auch der absolute Fusionsfernpunkt direkt bestimmen. Ich stellte die beiden Hälften eines stereoskopischen Bildes in dem Abstände von 20 Ctm. vom Auge auf, entfernte sie alsdann allmählich von einander, wobei ich die Doppelbilder durch Divergenz der Sehlinien vereinigte. Die grösste Entfernung, in der die Verschmelzung gelang, betrug 78,5 Mm., also beträgt die lineäre Ablenkung der Blicklinien auf 20 Ctm. 18 Mm.; auf 1 M. Abstand macht dies 90 Mm. aus, für jedes Auge 45 Mm., der entsprechende Ablenkungswinkel beträgt $2^{\circ}34' = 2,566^{\circ}$. Durch Division mit meinem Meterwinkel ergibt sich als absoluter Fusionsfernpunkt für mich — 1,48 Mw. Dr. Schleich konnte die Bilder bis auf 87 Mm. Entfernung ausziehen; also beträgt die lineäre Ablenkung auf $\frac{1}{5}$ Meter 16 Mm., oder 80 Mm. auf 1 Meter, 40 Mm. für jedes Auge. Dieser entspricht ein Ablenkungswinkel von $2^{\circ}20'$. Also beträgt das Maximum der möglichen Abduction 1,14 Mw. $\left(\frac{2.333}{2.034}\right)$.

Die mittelst der Prismen erlangten Resultate über die absolute Fusionsbreite, welche ich hier gleich anschliessen will, sind in den folgenden 2 Tabellen zusammengestellt, von Dr. Schleich in Tabelle 2, von mir in Tabelle 3.

Maximum der Convergenz in vier hinter einander angestellten Versuchen
 91° , 86° , 81° , $68\frac{1}{2}^{\circ}$.

Tabelle 2.

Absolute Fusionsbreite, durch Prismen bei verschiedenen Objectabständen bestimmt (Dr. Schleich).

Objectabstand in Metern.	Adducirende Prismen für jedes Auge	Positiver Theil der absoluten Fusionsbreite in Meterwinkeln	Abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der absoluten Fusionsbreite in Meterwinkeln.	Grösse der absoluten Fusionsbreite in Meterwinkeln.
∞	55	20.40	6.5	1.68	22.08
1	53	19.39	8	2.17	21.56
$\frac{1}{2}$	52.5	18.39	12	3.19	21.58
$\frac{1}{5}$	50	16.38	22.5	6.36	22.74
$\frac{1}{10}$.	37,5	11.30	40	12.20	23.50

Tabelle 3.

Absolute Fusionsbreite, durch Prismen bei verschiedenen Objectabständen bestimmt (Bisinger).

Objectabstand in Metern.	Adducirende Prismen für jedes Auge	Positiver Theil der absoluten Fusionsbreite in Meterwinkeln	Abducirende Prismen für jedes Auge	Negativer Theil der absoluten Fusionsbreite in Meterwinkeln.	Grösse der absoluten Fusionsbreite in Meterwinkeln.
∞	50	19.24	6	1.81	21.05
1	48	18.6	7 $\frac{1}{2}$	2.34	20.94
$\frac{1}{2}$	45	16.79	11	3.44	20.23
$\frac{1}{5}$	40	14.33	20	6.58	20.91
$\frac{1}{10}$.	30	10.10	32	11.16	21.26

Aus den Tabellen geht hervor, dass mit abnehmenden Objectabstände die überwundenen adducirenden Prismen schwächer, die abducirenden stärker werden. Dem entsprechend nimmt der durch die Fusionskraft der ersteren repräsentirte positive Theil von $\frac{1}{8}$ stetig ab, der negative zu. Die Summe beider d. i. die Grösse der absoluten Fusionsbreite ist für alle Distanzen annähernd die gleiche. Streng genommen müsste sie absolut gleich sein; die sich ergebenden Differenzen kommen auf Rechnung der Beobachtungsfehler und der raschen Ermüdung unseres Fusionsapparates bei den geforderten extremen Leistungen. Prof. Nagel hat schon vor Jahren für sich die absolute Fusionsbreite bestimmt und ist zu demselben Resultat gekommen; die Divergenz betrug für ihn 6—8°, die Convergenz

45 – 48° in Winkelgraden; die Grösse der absoluten Fusionsbreite schwankte also zwischen 51—56°.

Wir haben bisher das Verhalten der Accommodation bei den Fusionsbewegungen ausser Acht gelassen. Das betrachtete Object, wenn es auch einfach gesehen wird, erscheint jedoch unendlich, sobald die Prismen über eine gewisse Stärke hinausgehen, theils in Folge der astigmatischen Wirkung des Prisma, theils bedingt durch nicht richtige Accommodation, weil durch die Aenderung der Convergenz unwillkürlich auch die Accommodation geändert wird.

Verlangen wir jetzt, dass das Fixationsobject nicht bloss einfach, sondern auch scharf gesehen werde, wenigstens soweit die astigmatische Wirkung des Prisma es gestattet, so können jene starken Prismen nicht mehr überwunden werden; das Fusionsgebiet wird bedeutend eingeschränkt. Doch bleibt auch bei genauer optischer Einstellung ein gewisser Spielraum für die Richtung der Blicklinien übrig: die relative Fusionsbreite. Dieselbe zerfällt ebenfalls in einen positiven und negativen Theil; ersterer drückt aus, um wie viel bei gleichbleibender Accommodation die Convergenz vermehrt, letzterer, um wie viel sie unter derselben Voraussetzung vermindert werden kann. Der positive Theil wird, wie bei der absoluten Fusionsbreite, bestimmt mit adducirenden, der negative mit abducirenden Prismen. Aus dem stärksten adducirenden Prisma ergibt sich der relative Fusionsnahepunkt (p_1), aus dem stärksten abducirenden Prisma der relative Fusionsfernpunkt (r').

Bezeichnen wir die relative Fusionsbreite mit $\frac{1}{\delta'}$, den Abstand des relativen Fusionsnahepunktes vom Auge mit \mathfrak{A}_1 , den Abstand des relativen Fusionsfernpunktes mit \mathfrak{R}_1 , so wiederholt sich die der absoluten Fusionsbreite analoge Formel: $\frac{1}{\delta'} = \frac{1}{\mathfrak{A}'} - \frac{1}{\mathfrak{R}'}$
d. h. die relative Fusionsbreite ist gleich der Differenz der reciproken Werthe der Abstände des relativen Fusionsnahe- und Fernpunktes. Sie wird, wie die absolute, in Meterwinkeln ausgedrückt.

Die Untersuchungen über die relativen Fusionsbreiten bilden

das Gegenstück zu denen über die relativen Accommodationsbreiten. Beide stehen natürlich in enger Beziehung zu einander. Ich habe diese Versuche in ganz analoger Weise, mit dem gleichen Apparate und an denselben Personen angestellt, wie für die relativen Accommodationsbreiten.

Zuerst wird bei Emmetropen der relative Fusionsfern- und Nahepunkt bei Fixation eines fernen Gegenstandes bestimmt. Bei Myopen beginnt die Untersuchung im Fernpunktsabstande. Dann wird in den verschiedenen Entfernungen von 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ etc. Meter das Object zunächst mit blossen Auge fixirt, um sich den Grad der Deutlichkeit, mit welcher die erkennbar kleinsten Punkte gesehen werden, einzuprägen. Hierauf werden successive stärkere Prismen vorgehalten, bis angegeben wird, dass die Punkte verschwimmen. Zur Controle wird noch das nächst schwächere und stärkere Prisma zum Vergleich gegeben. Fällt die Entscheidung zweifelhaft aus, so wird das mittlere Prisma vorläufig angemerkt und zu einer anderen Objectsdistanz übergegangen und erst nach dieser die vorhergehende Bestimmung noch einmal gemacht. Die Beobachtungsreihe schliesst ab im binocularen Accommodationsnahepunkte.

Ein bestimmter Gang der Untersuchung, etwa zuerst mit abducirenden Prismen, braucht nicht eingehalten zu werden. Doch ist es auch hier zweckmässig, die Objectsabstände bei zwei nach einander folgenden Beobachtungen möglichst verschieden zu nehmen. Die Angaben fallen dabei sicherer und zuverlässiger aus, als wenn die Versuchsbedingungen nur wenig geändert sind.

Die Berechnung der Grösse der relativen Fusionsbreite geschieht ganz in der gleichen Weise, wie die der absoluten. Beispiel: Ein Emmetrop überwindet bei Fixation eines fernen Gegenstandes bei vollkommen scharfer Einstellung das Doppelprisma 8 und 10 in adducirender Stellung, auf jedes Auge kommt also Prisma 9; dieses lenkt auf 1 Meter Abstand um 8,7 Ctm. ab, der Ablenkungswinkel ist $4^{\circ}57' = 4.95^{\circ}$. Der Drehpunktsabstand beträgt 67 Mm. der zugehörige Mw. $1^{\circ}55'10'' = 1,919^{\circ}$. Wollen wir also den Fusionswerth in Meterwinkeln

erfahren, so bekommen wir $\frac{4.95}{1.919} = 2,57$ Mw. Diese Grösse

stellt, weil es adducirende Prismen waren, den positiven Theil der relativen Fusionsbreite bei vollständiger Accommodationserschaffung vor. — Oder: derselbe überwindet bei einem Objectsabstande von 25 Ctm. mit beiden Augen zusammen das abducirende Prisma 16, also 8 mit jedem Auge. Die lineäre Ablenkung desselben auf 1 Meter beträgt 7,7 Ctm., der Ablenkungswinkel $4^{\circ}25' = 4,416^{\circ}$. Also ist der Werth des negativen Theils der relativen Fusionsbreite bei einem Accommodationsaufwande von 4 Ml. $\frac{4.416}{1.919} = 2,3$ Mw. d. h. das Individuum kann bei einer optischen Einstellung auf ein in $\frac{1}{4}$ Meter Entfernung befindliches Object jede Blicklinie um 2,3 Meterwinkel nach aussen wenden.

Die Bestimmung der relativen Fusionsbreiten ist schwieriger, als die der relativen Accommodationsbreiten. Ungeübte haben häufig Schwierigkeiten mit der Verschmelzung der Doppelbilder. Man bekommt viel mehr den Eindruck des Ungewohnten und Erzwungenen, als bei den analogen Bestimmungen mittelst Linsen. Die ersten Angaben sind meist sehr schwankend; denn die Entscheidung, ob mit einem stärkeren Prisma ebenso scharf gesehen wird, als mit einem wenig schwächeren, ist nicht so leicht zu treffen, was ohne Zweifel von der unregelmässigen Brechung der Prismen abhängt. Es empfiehlt sich, die Prismen möglichst gleichmässig auf beide Augen zu vertheilen, damit die durch das Glas bedingte Undeutlichkeit der Bilder auf beiden Augen gleich ausfalle. Auch die richtige Stellung der Prismen ist nicht so leicht zu controliren.

Um zuverlässige Resultate zu erlangen, sind daher häufig wiederholte Controlversuche nöthig. Ich habe diese in der Weise angestellt, dass ich zunächst zu starke Prismen einsetzte und diese dann successive durch entgegengesetzte abschwächte.

Mittelst der beschriebenen Methode habe ich bei fünf Versuchspersonen bezüglich des Zusammenhanges zwischen Accommodation und Convergenz die im Folgenden angegebenen Re-

sultate erlangt, die der Uebersicht halber tabellarisch geordnet und ausserdem graphisch dargestellt sind. In den Tabellen über die relativen Accommodationsbreiten enthält die erste Rubrik die Convergenzgrade in Meterwinkeln ausgedrückt, die zweite den zugehörigen Accommodationsbetrag bei binocularer Fixation in Meterlinsen. Die dritte Rubrik giebt die Nummer der überwundenen Concavgläser in Meterlinsen, die vierte den wirklichen Werth des durch sie repräsentirten Theiles der relativen Accommodationsbreite; die fünfte Rubrik die Nummern der überwundenen Convexgläser. Diesseits eines gewissen Convergenzbetrages, welcher dem binocularen Nahepunkt entspricht, bedarf das Auge der Unterstützung von Convexgläsern, um näher liegende Punkte scharf sehen zu können: das schwächste Convexglas, welches dieses ermöglicht, ergiebt den relativen Nahepunkt, das stärkste Convexglas den relativen Fernpunkt. Deshalb haben wir in diese Rubrik von einem bestimmten Convergenzgrade ab zwei Werthe einzutragen. Die sechste Rubrik enthält den durch die Convexgläser repräsentirten negativen Theil der relativen Accommodationsbreite: diese Werthe sind ebenfalls kleiner als die entsprechenden Convexgläser in Folge der Berücksichtigung des Linsenabstandes vom Auge. Die siebente Rubrik endlich giebt die Summe des positiven und negativen Theils, somit die Gesamtgrösse der relativen Accommodationsbreite.

Siehe Tabelle 4 auf Seite 80.

Tabelle 4 giebt die Untersuchungsergebnisse von Joh. Haller, 26 Jahre alt, Hausdiener an der hiesigen Augenklinik. Derselbe ist Emmetrop; $S. = \frac{5}{4}$. Physiologische Experimente sind ihm durchaus fremd und stellt er in dieser Beziehung einen reinen Naturmenschen dar.

Die Werthe der zwei ersten Rubriken sind gleich gross, weil der Emmetrop bei jedem Convergenzgrade den äquivalenten Accommodationsbetrag aufwendet. Die Reihe der überwundenen Concavgläser zeigt bei zunehmender Convergenz eine stufenweise abnehmende Stärke. Bei einem Convergenzbetrage von 8 Mw werden überhaupt keine mehr überwunden. Dem ent-

Tabelle 4.

Relative Accommodationsbreiten Joh. Haller, 26 Jahre alt.

Convergenz- grade in Meter- winkeln.	Zugehöriger Accom- modations- betrag in Meterlinsen bei binocu- larer Fi- xation.	Ueberwun- dene Con- cavgläser	Positi- ver Theil von $\frac{1}{A}$	Ueberwundene Convexgläser.		Negativer Theil von $\frac{1}{A}$.	Grösse von $\frac{1}{A}$.
0	0	-3,25	3,05	0		0	3,05
1	1	-3,0	2,73	0,75		0,74	3,47
2	2	-3,0	2,63	1,75		1,68	4,31
3	3	-3,0	2,49	2,75		2,08	4,57
4	4	-2,5	2,02	3,5		2,84	4,86
5	5	-2,0	1,58	4,0		3,57	5,15
6	6	-1,5	1,16	4,75		3,84	5,0
7	7	-0,75	0,63	5,25		4,23	4,86
8	8	0	0	6,0		4,71	4,71
				stärkstes	schwächstes		
9	9	0	0	7,0	1,5	5,31—0,81	4,5
10	10	0	0	8,0	2,75	5,87—1,81	4,06
11	11	0	0	8,75	4,25	6,0—2,74	3,26
12	12	0	0	9,75	6,0	6,5—3,74	2,76
13	13	0	0	10,5	7,5	6,7—4,5	2,2
14	14	0	0	11,75	9,0	7,4—5,4	2,0
15	15	0	0	13,0	11,25	7,6—6,3	1,3
16	16	0	0	14,0	13,0	8,0—7,31	0,69
17	17	0	0	15,5	15,5	8,1—8,1	0

sprechend nimmt der positive Theil von $\frac{1}{A}$ bei steigender Convergenz stetig ab und wird endlich bei einer Convergenz von 8 Mw. = 0, d. h. in $\frac{1}{8}$ Meter liegt der nächste Punkt, auf den das Individuum zugleich convergiren und accommodiren kann: der binoculare Nahepunkt. Die überwundenen Convexgläser werden successive stärker, also der negative Theil von $\frac{1}{A}$ zunehmend grösser, und erreicht im binocularen Nahepunkte sein Maximum von 4,71 Ml. d. h. dieser Emmetrop ist im Stande, bei einer Convergenz auf $\frac{1}{8}$ Meter seine Accommodation um fast $4\frac{3}{4}$ Meterlinsen zu erschaffen. Von da an nimmt der negative Theil wieder stetig ab. Der Unterschied

zwischen stärkstem und schwächstem Convexglase wird immer geringer, dem entsprechend das Accommodationsbereich immer schmaler, bis es bei einer Convergenz von 17 Mw. = 0 wird. Wie aus der Tabelle ersichtlich, weist der negative Theil von $\frac{1}{A}$, etwas höhere Zahlenwerthe auf, als der positive. Die Werthe für $\frac{1}{A}$ zeigen eine ziemlich gleichmässige Progression und hernach eine eben solche Abnahme; das Maximum von 5,15 Ml. fällt auf die Convergenz von 5 Mw. In der obersten Reihe ist der positive Theil von $\frac{1}{A}$ identisch mit dem Grössenwerth von $\frac{1}{A}$, d. h. die relative Accommodationsbreite ist bei parallelen Blicklinien ganz positiv; diesseits des binoculars Nahepunktes ist kein positiver Theil mehr vorhanden, $\frac{1}{A}$ ist ganz negativ.

Die Ziffern sind verhältnissmässig niedrig für einen Emmetropen von diesem Lebensalter. Man darf jedoch daraus nicht auf eine mangelhafte Energie des Accommodationsapparates schliessen, sondern dies rührt ohne Zweifel daher, dass die Intention zur stärksten Innervation des Accommodationsmuskels von Individuen, die solche Versuche nie gemacht und die daran kein eigenes Interesse haben, überhaupt nicht zu erreichen ist.

Siehe Tabelle 5 auf Seite 82.

Die Tabelle 5 repräsentirt die relative Accommodationsbreite eines 13jährigen Mädchens, Marie Hunzinger; $S = \frac{5}{4}$. Hm. 0,5. Dasselbe zeigte sich intelligent genug, um zuverlässige Angaben zu machen. Um die Untersuchung etwas abzukürzen, wurden bei den geringeren Convergenzgraden einzelne Abstände übersprungen und nur bei den höheren die zugehörige Accommodationsbreite in allen Distanzen bestimmt. Die fehlenden Zahlenwerthe lassen sich leicht durch Interpolation ergänzen.

Tabelle 5.

Relative Accommodationsbreiten. Marie Hunzinger, 13 Jahre alt.

Convergenz- grade in Meter- winkeln.	Zugehöriger Accommodations- betrag in Meterlinsen bei binocu- larer Fi- xation.	Ueberwun- dene Con- cavgläser.	Positi- ver Theil von $\frac{1}{A}$.	Ueberwundene Convexgläser.		Negativer Theil von $\frac{1}{A}$.	Grösse von $\frac{1}{A}$.
0	0	-2,5	2,38	0,5		0,49	2,87
1	1						
2	2	-4,5	3,81	1,0		0,94	4,75
3	3						
4	4	-4,0	3,19	1,75		1,5	4,69
5	5						
6	6	-2,5	2,33	2,5		2,0	4,33
7	7						
8	8	-0,5	0,49	3,5		2,63	3,12
9	9	0	0	stärkstes	schwächstes		
10	10	0	0	5,25	1,5	3,67—0,91	2,76
11	11	0	0				
12	12	0	0	7,25	4,5	4,71—2,74	1,97
13	13	0	0	8,75	6,0	5,31—3,57	1,74
14	14	0	0	10,0	7,75	6,10—4,48	1,62
15	15	0	0	12,0	10,0	6,9—5,48	1,42
16	16	0	0	13,0	11,5	7,3—6,3	1,0
17	17	0	0	15,5	14,5	8,08—7,39	0,69

Die überwundenen Concavgläser sind anfänglich schwach, werden dann rasch stärker und sinken wieder bei zunehmender Convergenz bis zum binocularen Nahepunkte, der zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ Meter fällt. Der positive Theil von $\frac{1}{A}$ zeigt dem entsprechend ein rasches Anwachsen und hat bei einem Convergenzbetrage von 2 Mw. schon sein Maximum von 3,81 Ml. erreicht, eine Höhe, die von dem Versuchsindividuum der Tabelle 4 nicht erlangt wurde. Gleichwohl entsprechen auch hier die Zahlenwerthe gewiss nicht dem Vollwerthe der von diesem jugendlichen Individuum erzielbaren Accommodationsanspannung. Zu dem bei der vorigen Tabelle angeführten Grunde hiefür kommt hier noch die vorhandene geringe Hyperopie ins Spiel, die sich bei der ophthalmoskopischen Untersuchung als etwas

höher (ca. 0,75) erweist, als bei der Prüfung mittelst Convexgläsern. Eigentlich müssten die Accommodationsbeträge der zweiten Rubrik dem Grade der vorhandenen Hyperopie entsprechend höher angegeben sein. Allein weil dieselbe ganz gering ist, können wir den Unterschied vernachlässigen und das Individuum als emmetropisch betrachten. In Folge der manifesten Hyperopie wird schon bei parallelen Blicklinien Convex 0,5 angenommen; wir haben also gleich von Anfang einen negativen Theil von $\frac{1}{A}$. Derselbe bleibt jedoch klein d. h. das Individuum vermag bei einer bestimmten Convergenzanstrengung nur einen geringen Theil der zugehörigen Accommodation zu erschaffen. Der Gesamtwert der relativen Accommodationsbreiten ist sehr klein; das Maximum von 4,75 Ml. fällt schon auf einen Convergenzbetrag von 2 Mw. und ist wesentlich durch die Grösse des positiven Theils bedingt. Von einer Convergenz auf $\frac{1}{3}$ Meter ab ist $\frac{1}{A}$ ganz negativ. Die niedrigen Zahlen der Tabelle zeigen an, dass bei dem jugendlichen Individuum die Verbindung zwischen Accommodation und Convergenz ziemlich fest ist.

Jenseits einer Convergenz von 17 Mw. ist die Adductionsanstrengung zu gross, als dass sie für die Dauer der Untersuchung eingehalten werden könnte. Es wurde daher der absolute Nahepunkt direct bestimmt. Es ergab sich eine Entfernung von 9,4 Ctm. von der Oberfläche der Cornea oder 10,1 Ctm. vom Knotenpunkt des Auges gerechnet. Dem entspricht eine Accommodationsleistung von 9.9 Ml. Das Maximum der Convergenz, welche dabei aufgewendet war, betrug 19 Mw.

Siehe Tabelle 6 auf Seite 84.

Die Tabelle 6 enthält die Zahlen, die sich bei den Untersuchungen für Dr. Schleich ergeben haben. Alter: 28 Jahre; $S = \frac{5}{3}$; er ist wiederholt durch frühere Untersuchungen als Emmetrop erwiesen, doch hat sich in letzter Zeit, wie auch schon früher beobachtet wurde, eine myopische Einstellung von 0.5 gezeigt, welche wohl als Accommodationskrampf zu be-

Tabelle 6.

Relative Accommodationsbreiten. Dr. Schleich, 28 Jahre alt.

Convergenz- grade in Meter- winkeln.	Zugehöriger Accom- modations- betrag in Meterlinsen bei binocu- larer Fi- xation.	Ueberwun- dene Con- cavgläser.	Positi- ver Theil von $\frac{1}{A}$.	Ueberwundene Convexgläser.		Negativer Theil von $\frac{1}{A}$.	Grösse von $\frac{1}{A}$.
0	0	-4,5	4,17	0		0	4,17
1	1	-4,25	3,79	0,25		0,24	4,03
2	2	-4,0	3,43	0,75		0,71	4,14
3	3	-5,0	4,10	2,0		1,81	5,91
4	4	-5,0	3,89	3,5		2,83	6,72
5	5	-4,5	3,4	5,0		4,46	7,86
6	6	-4,0	2,92	6,25		5,41	8,33
7	7	-3,5	2,52	8,0		6,86	9,38
8	8	-3,0	1,9	9,25		7,73	9,63
9	9	-2,25	1,5	10,5		8,68	10,18
10	10	-1,0	0,63	12,0		9,5	10,13
11	11	0	0	13,0		9,92	9,92
				stärkstes	schwächstes		
12	12	0	0	14,0	1,5	10,25—0,77	9,48
13	13	0	0	15,0	3,25	10,62—1,64	8,98
14	14	0	0	16,0	4,75	10,8—2,64	8,16
15	15	0	0	17,0	7,0	10,8—3,64	7,16
16	16	0	0	16,0	8,75	9,47—4,51	4,96

trachten ist; ich habe dieselbe in der Tabelle nicht weiter berücksichtigt. Die Werthe der relativen Accommodationsbreiten, anfangs verhältnissmässig klein, erreichen hier ganz ungewöhnliche Grössen. Diese hohen Zahlen sind wesentlich durch die Grösse des negativen Theils bedingt; der positive Theil weist mittlere Werthe auf. Das Maximum für $\frac{1}{A}$ von 10,18 fällt auf eine Convergenz von 9 Mw., das Maximum des negativen Theils 9,92 auf eine Convergenz von 11 Mw. d. h. der Untersuchte ist im Stande, bei einer Convergenz auf $\frac{1}{11}$ Meter die Accommodation fast vollständig zu erschaffen. Wir haben hierin ein instructives Beispiel, bis zu welchem Grade die Lösung der Verbindung zwischen Accommodation und Convergenz durch Uebung gedeihen kann. Dr. Schleich hat als mehr-

jähriger Assistenzarzt an der ophthalmiatriischen Klinik viele physiologische Versuche angestellt und seine Accommodation ziemlich unabhängig von der Convergenz gemacht.

Ausserdem zeigt die Tabelle die auffallende Erscheinung, dass bei zunehmender Convergenz unverhältnissmässig stärkere Convexgläser angenommen werden, so bei einer Convergenz von 5 Mw. + 5, bei 6 Mw. + 6,25, bei 7 Mw. + 8,0 bei 8 Mw. + 9,25 u. s. f. Es geht daraus hervor, dass in diesem Falle bei steigendem Convergenzbetrage die Accommodation noch mehr erschläfft werden kann, als bei parallelen Blicklinien und niedrigen Convergenzgraden. Diese Punkte wurden, eben weil die Sache sehr unwahrscheinlich erschien, wiederholt controlirt.

Das Maximum der Convergenz liegt in $\frac{1}{17.6}$ Meter. Der direkt bestimmte absolute Accommodationsnahepunkt liegt 7,9 Ctm. von der Cornea, 8,6 Ctm. vom Knotenpunkt des Auges ab: dem entspricht eine Accommodationsleistung von 11,6 ML.

Die drei vorhergehenden Tabellen beziehen sich auf Individuen, welche der emmetropischen Refraction sehr nahe stehen.

Es folgen jetzt noch zwei Beobachtungsreihen von Myopen mittleren Grades.

Siehe Tabelle 7 auf Seite 86.

In der Tabelle 7 sind die Beobachtungen an mir selbst niedergelegt. Meine Refraction ist Myopie 2, $S = \frac{5}{4} - \frac{5}{3}$. Da in diesem Falle bis zu einer Convergenz auf $\frac{1}{2}$ Meter die Accommodation völlig ruht, so beginnen die Werthe in der zweiten Rubrik erst bei einem Convergenzbetrage von 3 Mw., hier ist der Accommodationsbetrag = 1 ML., bei 4 Mw. = 2 ML., bei 5 Mw. = 3 ML., u. s. w., kurz derselbe ist immer um 2 niedriger als der betreffende Convergenzgrad.

Bei parallelen Sehlinien wird Concav 7,5 überwunden; diesem Werthe entspricht jedoch keineswegs die Accommodationsleistung, sondern zwei Meterlinsen gehen davon ab wegen der Myopie 2 und dann kommt noch der Abstand des Glases in Rechnung. Nach diesen Abzügen bleibt als positiver Theil

Tabelle 7.

Relative Accommodationsbreiten. H. Bisinger, 26 Jahre alt.

Convergenzwinkel.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene Concavgläser.	Positiver Theil von $\frac{1}{A_1}$.	Ueberwundene Convexgläser.		Negativer Theil von $\frac{1}{A_2}$.	Grösse von $\frac{1}{A_1}$.
0	0	-7,5	4,57	0		0	4,57
1	0	-7,25	5,19	0		0	5,19
2	0	-6,0	5,49	0		0	5,49
3	1	-6,0	4,75	1,0		0,88	5,63
4	2	-5,25	4,06	2,0		1,77	5,83
5	3	-5,0	3,71	3,0		2,56	6,27
6	4	-4,0	2,92	4,0		3,5	6,42
7	5	-3,0	2,16	4,75		3,8	5,96
8	6	-2,0	1,43	5,75		4,43	5,86
9	7	-1,0	0,7	6,75		5,0	5,7
10	8	0	0	7,5		5,46	5,46
				stärkstes	schwächstes		
11	9	0	0	8,5	1,5	5,74—0,9	4,84
12	10	0	0	9,5	3,0	6,12—1,8	4,32
13	11	0	0	10,0	4,5	6,42—2,59	3,83
14	12	0	0	10,5	6,0	6,4—3,4	3,0
15	13	0	0	11,0	8,0	6,2—4,3	1,9
16	14	0	0	11,5	9,75	6,3—5,2	1,1
17	15	0	0	12,5	12,0	6,2—5,8	0,4

von $\frac{1}{A_1}$ bei parallelen Blicklinien ein Werth von 4,57 Ml. Bei einem Convergenzbetrage von 1 Mw. wird — 7,25 überwunden, also ein schwächeres Concavglas als vorher; gleichwohl ist die Accommodationsleistung eine grössere und kommt dem Werthe von 5,19 Ml. gleich. Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich ebenfalls aus der vorhandenen Myopie, weil ich, um auf 1 Meter Abstand scharf zu sehen, ein Concavglas brauche, das den Fernpunkt von $\frac{1}{2}$ Meter auf 1 Meter hinausrückt, also — 1, wobei die Accommodation völlig unthätig bleibt. Demgemäss muss an den überwundenen — 7,25 einmal 1 Ml. abgezogen werden; ausserdem ist wieder der Linsenabstand zu berücksichtigen. Bei einem Convergenzbetrage von 2 Mw. über-

jähriger Assistenzarzt an der ophthalmiatriischen Klinik viele physiologische Versuche angestellt und seine Accommodation ziemlich unabhängig von der Convergenz gemacht.

Ausserdem zeigt die Tabelle die auffallende Erscheinung, dass bei zunehmender Convergenz unverhältnissmässig stärkere Convexgläser angenommen werden, so bei einer Convergenz von 5 Mw. + 5, bei 6 Mw. + 6,25, bei 7 Mw. + 8,0 bei 8 Mw. + 9,25 u. s. f. Es geht daraus hervor, dass in diesem Falle bei steigendem Convergenzbetrage die Accommodation noch mehr erschlafft werden kann, als bei parallelen Blicklinien und niedrigen Convergenzgraden. Diese Punkte wurden, eben weil die Sache sehr unwahrscheinlich erschien, wiederholt controlirt.

Das Maximum der Convergenz liegt in $\frac{1}{17.6}$ Meter. Der direkt bestimmte absolute Accommodationsnahepunkt liegt 7,9 Ctm. von der Cornea, 8,6 Ctm. vom Knotenpunkt des Auges ab: dem entspricht eine Accommodationsleistung von 11,6 MI.

Die drei vorhergehenden Tabellen beziehen sich auf Individuen, welche der emmetropischen Refraction sehr nahe stehen.

Es folgen jetzt noch zwei Beobachtungsreihen von Myopen mittleren Grades.

Siehe Tabelle 7 auf Seite 86.

In der Tabelle 7 sind die Beobachtungen an mir selbst niedergelegt. Meine Refraction ist Myopie 2, $S = \frac{5}{4} - \frac{5}{3}$. Da in diesem Falle bis zu einer Convergenz auf $\frac{1}{2}$ Meter die Accommodation völlig ruht, so beginnen die Werthe in der zweiten Rubrik erst bei einem Convergenzbetrage von 3 Mw., hier ist der Accommodationsbetrag = 1 MI., bei 4 Mw. = 2 MI., bei 5 Mw. = 3 MI., u. s. w., kurz derselbe ist immer um 2 niedriger als der betreffende Convergenzgrad.

Bei parallelen Sehlinien wird Concav 7,5 überwunden; diesem Werthe entspricht jedoch keineswegs die Accommodationsleistung, sondern zwei Meterlinsen gehen davon ab wegen der Myopie 2 und dann kommt noch der Abstand des Glases in Rechnung. Nach diesen Abzügen bleibt als positiver Theil

Tabelle 7.

Relative Accommodationsbreiten. H. Bisinger, 26 Jahre alt.

Convergenzwinkel.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene Concavgläser.	Positiver Theil von 1 von A.	Ueberwundene Convexgläser.		Negativer Theil von 1 von A.	Grösse von 1 von A.
0	0	-7,5	4,57	0		0	4,57
1	0	-7,25	5,19	0		0	5,19
2	0	-6,0	5,49	0		0	5,49
3	1	-6,0	4,75	1,0		0,88	5,63
4	2	-5,25	4,06	2,0		1,77	5,83
5	3	-5,0	3,71	3,0		2,56	6,27
6	4	-4,0	2,92	4,0		3,5	6,42
7	5	-3,0	2,16	4,75		3,8	5,96
8	6	-2,0	1,43	5,75		4,43	5,86
9	7	-1,0	0,7	6,75		5,0	5,7
10	8	0	0	7,5		5,46	5,46
				stärkstes	schwächstes		
11	9	0	0	8,5	1,5	5,74—0,9	4,84
12	10	0	0	9,5	3,0	6,12—1,8	4,32
13	11	0	0	10,0	4,5	6,42—2,59	3,83
14	12	0	0	10,5	6,0	6,4—3,4	3,0
15	13	0	0	11,0	8,0	6,2—4,3	1,9
16	14	0	0	11,5	9,75	6,3—5,2	1,1
17	15	0	0	12,5	12,0	6,2—5,8	0,4

von $\frac{1}{A}$ bei parallelen Blicklinien ein Werth von 4,57 Ml. Bei einem Convergenzbetrage von 1 Mw. wird — 7,25 überwunden, also ein schwächeres Concavglas als vorher; gleichwohl ist die Accommodationsleistung eine grössere und kommt dem Werthe von 5,19 Ml. gleich. Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich ebenfalls aus der vorhandenen Myopie, weil ich, um auf 1 Meter Abstand scharf zu sehen, ein Concavglas brauche, das den Fernpunkt von $\frac{1}{2}$ Meter auf 1 Meter hinausrückt, also — 1, wobei die Accommodation völlig unthätig bleibt. Demgemäss muss an den überwundenen — 7,25 einmal 1 Ml. abgezogen werden; ausserdem ist wieder der Linsenabstand zu berücksichtigen. Bei einem Convergenzbetrage von 2 Mw. über-

winde ich — 6; in dieser Entfernung sehe ich scharf bei vollständiger Accommodationsruhe, dagegen veranlasst jedes vorgehaltene Concavglas eine Accommodationsanstrengung im Werthe des betreffenden Glases. Deshalb ist jetzt ausser der Berücksichtigung des Linsenabstandes kein weiterer Abzug zu machen.

Der positive Theil von $\frac{1}{A}$ erreicht hier sein Maximum von 5,49 Ml., also im Vergleiche zu den zwei ersten Tabellen eine für mein Alter (26 Jahre) ziemlich hohe Ziffer. Von da an wird die disponible Accommodationssteigerung gleichmässig von Punkt zu Punkt kleiner bis zum binocularen Nahepunkt, der in $\frac{1}{10}$ Meter liegt, womit ein Accommodationsbetrag von 8 Ml. verbunden ist. Diesseits des binocularen Nahepunktes ist $\frac{1}{A}$ negativ, andererseits werden bis zum Fernpunktsabstande keine Convexgläser angenommen, $\frac{1}{A}$ ist also anfangs ganz positiv. Erst bei einer Convergenz auf $\frac{1}{3}$ Meter kommt auch ein negativer Theil vor und gewinnt rasch an Ausdehnung. Die grösste Accommodationserschläffung ist möglich im binocularen Nahepunkte, wo noch mit + 7,5 deutlich gesehen wird, was ein Nachlassen der Accommodationsanspannung um 5,46 Ml. bedeutet.

Der absolute Accommodationsnahepunkt liegt 8,2 Ctm. von der Cornealoberfläche, 8,9 Ctm. vom Knotenpunkt des Auges entfernt; die Accommodationsleistung beträgt demgemäss 11,2 Ml.

Die Gesamtausdehnung meiner relativen Accommodationsbreiten ist ziemlich gross, am grössten bei einer Convergenz auf $\frac{1}{6}$ Meter.

Siehe Tabelle 8 auf Seite 88.

Tabelle 8 giebt die Untersuchungsergebnisse von Cand. med. Ernst Müller, 23 Jahre alt. Myopie 4, $S = \frac{5}{4}$.

Auch hier bleibt wegen der Myopie der Accommodationsbetrag hinter dem Convergenzgrade um 4 zurück und ist $\frac{1}{A}$ bis zu einer Convergenz auf $\frac{1}{4}$ Meter positiv. Der Ac-

Tabelle 8.

Relative Accommodationsbreiten. Stud. Müller, 23 Jahre alt.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene Convexgläser.	Positiver Theil von $\frac{1}{A_1}$.	Ueberwundene Convexgläser.		Negativer Theil von $\frac{1}{A_2}$.	Grösse von $\frac{1}{A_1}$.
0	0	-10,25	4,5	0		0	4,5
1	0			0		0	
2	0	-8,5	4,7	0		0	4,7
3	0	-8,0	5,17	0		0	5,17
4	0			0		0	
5	1	-8,0	5,75	1,0		0,7	6,45
6	2						
7	3						
8	4	-5,5	3,62	4,5		3,44	7,06
9	5						
10	6						
11	7	-1,5	0,9	8,0		5,57	6,47
12	8	0	0	stärkstes	schwächstes		
13	9	0	0	10,0	2,0	6,3—0,96	5,34
14	10	0	0				
15	11	0	0	12,0	5,0	6,81—2,37	4,44
16	12	0	0	13,0	6,0	7,08—2,83	4,25
17	13	0	0	13,25	6,0	6,6—2,55	4,05

commodationsmuskel ist sehr kräftig: der absolute Nahepunkt liegt 6,5 Ctm. vom Knotenpunkte des Auges ab; der Werth von p ist somit = 15,38 Ml. und wird erreicht mit einer maximalen Convergenz von 18 Mw. Der binoculare Nahepunkt liegt in $\frac{1}{12}$ Meter.

Die Ausdehnung von $\frac{1}{A_1}$ bleibt ziemlich lange annähernd gleich gross, was wohl durch den Einfluss der Uebung zu erklären ist.

Eine Vergleichung der Tabellen 4 bis 8 mit einander lässt erkennen, dass die Grösse der relativen Accommodationsbreiten individuell nach dem Alter und der Uebung sehr verschieden ist. Dieselbe zeigt in allen Fällen eine anfängliche Zunahme, ein Maximum, das auf verschiedene Convergenzgrade

fällt, und dann wieder eine Abnahme. Die Vertheilung in einen positiven und negativen Theil ist eine sehr wechselnde; bis zum binocularen Nahepunkt erfährt der positive Theil im Allgemeinen eine stetige Abnahme, der negative eine Zunahme, diesseits des binocularen Nahepunktes wird $\frac{1}{A}$, ganz negativ.

Durch Uebung gewinnt hauptsächlich der negative Theil an Ausdehnung.

Die weitergehenden Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen über die relativen Accommodationsbreiten sind von Donders so eingehend besprochen, dass ich darauf verweisen kann.

In gleicher Weise, wie für die relativen Accommodationsbreiten habe ich auch die Beobachtungsergebnisse über die relativen Fusionsbreiten in Tabellen geordnet. Die fünf Versuchspersonen folgen in derselben Reihe auf einander wie oben.

Die beiden ersten Rubriken der folgenden Tabellen sind die gleichen, wie in den vorhergehenden. Die dritte Rubrik enthält die Nummern der von jedem Auge überwundenen adducirenden Prismen, die vierte den daraus berechneten positiven Theil der relativen Fusionsbreite in Meterwinkeln. In der fünften Rubrik stehen die Nummern der abducirenden Prismen für jedes Auge, in der sechsten der daraus sich ergebende negative Theil von $\frac{1}{\delta}$. Die letzte Rubrik ist die Summe der vierten und sechsten und stellt somit die Gesamtgröße der relativen Fusionsbreite dar.

Siehe Tabelle 9 auf Seite 90.

Tabelle 9 enthält die beobachteten Werthe für $\frac{1}{\delta}$, von dem Emmetropen der Tabelle 4. Drehpunktabstand 67 Mm., 1 Mw. = $1^{\circ} 55' 10'' = 1,919^{\circ}$.

Bei der optischen Einstellung auf einen fernen Gegenstand wird mit jedem Auge noch Prisma 9 in adducirender Stellung überwunden, was eine Einwärtswendung der Blicklinie um

Tabelle 9.
Relative Fusionsbreiten. Joh. Haller.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene adducirende Prismen für jedes Auge	Positiver Theil der relativen Fusionsbreite.	Ueberwundene abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der relativen Fusionsbreite.	Grösse der relativen Fusionsbreite.
0	0	9	2,57	5½	1,47	4,04
1	1	7	1,93	6	1,64	3,57
2	2	7	1,93	7	1,93	3,86
3	3	7	1,93	8	2,30	4,23
4	4	7	1,93	8	2,30	4,23
5	5	7	1,93	9	2,57	4,50
6	6	7	1,93	9	2,57	4,50
7	7	7	1,93	9	2,57	4,50
8	8	5	1,33	9	2,57	3,90

2,57 Mw. bedeutet d. h. es kann bis auf 38 Ctm. Entfernung convergirt und dabei die Accommodation ganz erschlafft werden. Bei gleicher Einstellung wird das abducirende Prisma 5½ überwunden, d. h. es kann noch bei einer Divergenz jeder Blicklinie um 1,47 Mw. deutlich gesehen werden. Der positive und negative Theil der relativen Fusionsbreite bleibt für alle Objectsdistanzen annähernd gleich gross. Auch im binocularen Nahepunkte hat die Schlinienconvergenz einen nur wenig beschränkteren Spielraum, als bei erschlafter Accommodation, eine Folge davon, dass die Leistungen unserer Accommodation weit hinter denen der Fusion zurückbleiben.

Siehe Tabelle 10 auf Seite 91.

Das jugendliche Individuum, dessen relative Accommodationsbreite in Tabelle 5 aufgezeichnet ist, zeigt in seiner relativen Fusionsbreite das eigenthümliche Verhalten, dass sowohl der positive als der negative Theil derselben ansteigende Werthe aufweist d. h. bei wachsender Accommodationsanstrengung nimmt die Fähigkeit, die Convergenz zu steigern oder zu vermindern zu: beide Functionen werden zunehmend unabhängiger von einander. Die Distanz der Augendrehpunkte beträgt 56 Mm., der Meterwinkel $1^{\circ} 36' 12'' = 1,603^{\circ}$.

Bei Einstellung auf einen fernen Punkt ist die erreichbare

Tabelle 10.

Relative Fusionsbreiten. Marie Hunzinger.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene adducirende Prismen für jedes Auge.	Positiver Theil der relativen Fusionsbreite.	Ueberwundene abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der relativen Fusionsbreite.	Grösse der relativen Fusionsbreite.
0	0	5 $\frac{1}{2}$	1,78	2	0,59	2,37
1	1	4	1,32	4	1,32	2,64
2	2	5	1,6	7	2,31	3,91
3	3	5	1,6	7 $\frac{1}{2}$	2,53	4,13
4	4	6	1,96	8	2,75	4,71
5	5	8	2,75	9	3,08	5,83
6	6	9	3,08	10	3,42	6,50
7	7	9	3,08	12	4,06	7,14
8	8	10	3,42	12	4,06	7,48

Divergenz sehr gering, nur wenig über 1 Mw. für beide Augen betragend; auch die Adduction ist dabei nur bis auf einen Objectsabstand von 56 Ctm. möglich; im binocularen Nahepunkte, der 12 Ctm. vom Knotenpunkte der Augen entfernt liegt, können die Blicklinien auf einen in 8,7 Ctm. oder auf einen in 25,3 Ctm. gelegenen Punkt sich richten.

Tabelle 11.

Relative Fusionsbreiten, Dr. Schleich.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene adducirende Prismen für jedes Auge.	Positiver Theil der relativen Fusionsbreite.	Ueberwundene abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der relativen Fusionsbreite.	Grösse der relativen Fusionsbreite.
0	0	22	6,57	6 $\frac{1}{2}$	1,68	8,25
1	1	21	6,0	8	2,17	8,17
2	2	19	5,3	12	3,19	8,49
3	3	18	5,01	12	3,19	8,20
4	4	16	4,38	11 $\frac{1}{2}$	3,06	7,44
5	5	15	4,08	11 $\frac{1}{2}$	3,06	7,14
6	6	15	4,08	11 $\frac{1}{2}$	3,06	7,14
7	7	14	3,51	11	2,92	6,43
8	8	14	3,51	11	2,92	6,43
9	9	13	3,35	11	2,92	6,27
10	10	12	3,19	11	2,92	6,11
11	11	10	2,69	11	2,92	5,61

Die relativen Fusionsbreiten von Dr. Schleich in Tabelle 11 (Drehpunktsabstand = 71 Mm. 1 Mw. = $2^{\circ} 2' 4'' = 2,034^{\circ}$) erreichen, wie die relativen Accommodationsbreiten, aussergewöhnliche Grössen.

S. vermag bei Einstellung auf einen fernen Punkt um 1.68 Mw. jede Blicklinie zu abduciren, ohne dass das Bild an Deutlichkeit verliert, und bis auf $\frac{1}{3}$ Meter ist er mit divergenten Blicklinien zu accommodiren im Stande. Umgekehrt kann er bis auf 15,2 Ctm. convergiren und dabei seine Accommodation völlig erschaffen. Der positive Theil von $\frac{1}{3}$ nimmt mit steigender Accommodationsanspannung stetig ab, der negative Theil zeigt einen nur unbedeutenden Grössenwechsel. Im binocularen Nahepunkte ist noch eine weitere Adduction um 2,69 Mw., eine Abduction um 2,92 Mw. möglich d. h. bei einer optischen Einstellung auf 9,09 Ctm. kann auf 7,3 bis 12,3 Ctm. Entfernung convergirt werden.

Tabelle 12.
Relative Fusionsbreiten. H. Bisinger.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene adducirende Prismen für jedes Auge.	Positiver Theil der relativen Fusionsbreite.	Ueberwundene abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der relativen Fusionsbreite.	Grösse der relativen Fusionsbreite.
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	6	1,81	6	1,81	3,62
3	1	6 $\frac{1}{2}$	1,98	7 $\frac{1}{2}$	2,34	4,32
4	2	7	2,14	8	2,54	4,68
5	3	7 $\frac{1}{2}$	2,34	8	2,54	4,88
6	4	7 $\frac{1}{2}$	2,34	8	2,54	4,88
7	5	7 $\frac{1}{2}$	2,34	8 $\frac{1}{2}$	2,7	5,04
8	6	5 $\frac{1}{2}$	1,65	9	2,89	4,54
9	7	5	1,48	10	3,16	4,64
10	8	4 $\frac{1}{2}$	1,35	10	3,16	4,51

Diese Tabelle enthält die Resultate für meine relativen Fusionsbreiten; Drehpunktsabstand 60.5 Mm. 1 Mw. = $1^{\circ} 43' 57'' = 1,732^{\circ}$.

Die Untersuchungsreihe beginnt wegen der Myopie erst

im Fernpunktsabstande, 50 Ctm. In diesem Punkte werden gleichviel adducirende und abducirende Prismen überwunden: ich kann statt auf 50 Ctm. zu convergiren die Blicklinien in 26,2 Ctm. oder in 5,26 Meter Abstand zum Schneiden bringen bei genauer optischer Einstellung auf $\frac{1}{2}$ Meter. Der positive Theil von $\frac{1}{8}$ zeigt eine innerhalb enger Grenzen erfolgende allmähliche Zunahme, ein Maximum und eine Abnahme; der negative Theil nimmt stetig zu, ohne jedoch hohe Werthe zu erreichen. Mit stärkster Accommodationsanspannung bei binocularer Fixation eines 10 Ctm. vom Auge entfernt gelegenen Punktes können die Blicklinien unbeschadet der Deutlichkeit des Bildes auf 8,8 oder auf 14,6 Ctm. eingestellt werden.

Tabelle 13.
Relative Fusionsbreiten. Stud. Müller.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriger Accommodationsbetrag in Meterlinsen bei binocularer Fixation.	Ueberwundene adducirende Prismen für jedes Auge.	Positiver Theil der relativen Fusionsbreite.	Ueberwundene abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der relativen Fusionsbreite.	Grösse der relativen Fusionsbreite.
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	8	2,23	8	2,23	4,46
5	1	8	2,23	7 $\frac{1}{2}$	2,05	4,28
6	2	8	2,23	7 $\frac{1}{2}$	2,05	4,28
7	3	7	1,88	7	1,88	3,76
8	4	6 $\frac{1}{2}$	1,73	6 $\frac{1}{2}$	1,73	3,46
9	5	7 $\frac{1}{2}$	2,05	6 $\frac{1}{2}$	1,73	3,78
10	6	8	2,23	6 $\frac{1}{2}$	1,73	3,96
11	7	8	2,23	6 $\frac{1}{2}$	1,73	3,96
12	8	7 $\frac{1}{2}$	2,05	6 $\frac{1}{2}$	1,73	3,78

Die Tabelle 13 repräsentirt die relativen Fusionsbreiten des Myopen von Tabelle 8. Drehpunktsdistanz = 69 Mm. 1 Mw. = $1^{\circ}51'37'' = 1,976^{\circ}$.

Die Untersuchungen beginnen bei dem Objectsabstande von 25 Ctm. Die Fusionsbewegungen haben hier bei erschlafte

commodation einen Spielraum von 4,46 Mw. d. h. der Betreffende kann bei einer optischen Einstellung auf 25 Ctm. die Blicklinien statt auf diesen Punkt auf 16 bis 56 Ctm. Entfernung richten. Der positive und negative Theil von $\frac{1}{\mathfrak{F}}$ sind nahezu gleich gross; auch die Gesamtgrösse von $\frac{1}{\mathfrak{F}}$ zeigt nur unbedeutende Unterschiede für die verschiedenen Accommodationsbeträge.

Aus einer Vergleichung der fünf letzten Tabellen geht hervor, dass die Grösse der durch Prismenversuche bestimmten relativen Fusionsbreiten individuelle Verschiedenheiten zeigt; ferner

dass dieselben in den verschiedenen Objectdistanzen bis zum Maximum der Accommodationsanspannung in der Regel ziemlich gleich gross bleiben, ohne regelmässige Zu- oder Abnahme;

dass endlich das Verhältniss zwischem positivem und negativem Theile annähernd das gleiche bleibt.

Um die Resultate meiner Untersuchungen noch anschaulicher und noch directer mit einander vergleichbar zu machen, habe ich dieselben in ähnlicher Weise wie Donders graphisch dargestellt unter Benutzung metrischen Masses.

Wir bedienen uns hiezu eines rechtwinkligen Coordinatensystems, in welches die Werthe der Convergenz als Abscissen, die zu jedem Convergenzgrade gehörigen Werthe der angewendeten Accommodation als Ordinaten eingetragen werden. Die Zahlen der Abscissenaxe bezeichnen die Convergenzgrade in Meterwinkeln, die Zahlen der Ordinatenaxe die Accommodationsbeträge in Meterlinsen. Die Linie, welche die Werthe der Accommodation beim Sehen mit unbewaffnetem Auge angiebt, welche also das natürliche binoculare Scharf- und Einfachsehen repräsentirt, ist bei jeder Refraction des Auges eine gerade Linie von diagonalen Richtung. Beim Emmetropen fällt der Fusspunkt der Diagonale mit dem Nullpunkte der Ordinaten und

Abscissen zusammen, weil für ihn zum Deutlichsehen gleich viele gleichartige Einheiten von Convergenz und Accommodation nöthig sind. Bei Myopie rückt die Diagonale nach unten, ihr Fusspunkt auf der Abscissenaxe nach rechts bis zu der dem Fernpunktsabstande entsprechenden Convergenz, weil der Myop bis dahin keine Accommodation anzustrengen braucht. Bei dem Myopen 2 in Fig. 4 ist deshalb der Fusspunkt der Diagonale auf den Punkt 2 der Abscissenaxe verlegt. Bei einem Hyperopen verhält es sich umgekehrt; derselbe wendet schon bei einer Convergenz von 0 Meterwinkeln d. h. bei parallelen Blicklinien einen Theil seiner Accommodation auf; daher sind alle Ordinaten um den Betrag der Hyperopie grösser und die Diagonale rückt an der Ordinatenaxe um den entsprechenden Betrag in die Höhe: bei sämmtlichen Convergenzgraden ist seine Accommodationsleistung um den Betrag der Hyperopie grösser als beim Emmetropen. Diese Art der graphischen Darstellung wird von Prof. Nagel benutzt und scheint noch anschaulicher und zweckentsprechender als die von Donders gewählte graphische Methode mit Verschiebung der Curven bei gleich bleibender Diagonale.

Was über der Diagonale liegt, ist, wie bei Donders, der positive, was unter ihr liegt, der negative Theil der relativen Accommodationsbreite. Auf jeder Ordinate sind die relativen Accommodationsbreiten in dioptrischen Werthen abzulesen, die Accommodationssteigerung nach oben, die Erschlaffung nach unten von dem den Fixirpunkt repräsentirenden Schnittpunkte mit der Diagonale.

Die auf den Curven markirten Punkte sind die bei den Versuchen thatsächlich gefundenen Nahe- und Fernpunkte, welche bei der Accommodationsbreite nach der von Donders gewählten Signatur mit p und r , p_1 , r_1 , p_2 , r_2 bezeichnet sind. Für die Fusionsbreite bedeuten p r , p_1 , r_1 die Fusionsnahe- und Fernpunkte. Die Curven für die relativen Accommodationsbreiten sind ausgezogen, die für die relativen Fusionsbreiten punktirt.

Um zu zeigen, wie die Curven aufgezeichnet werden, mögen die Untersuchungsergebnisse von dem Emmetropen der Tabellen 4 und 9 als

Beispiel dienen. Wir zeichnen zunächst die relativen Accommodationsbreiten in das quadratische Netz ein. (Figur 2. pag. 97.)

Bei parallelen Blicklinien wird — 3,25 überwunden; durch den Abstand der Linse vom Auge wird der dioptrische Werth der angewendeten Accommodation auf 3,05 Ml. reducirt. Dieser Werth ist, weil das Glas durch Anspannung der Accommodation überwunden werden muss, im Nullpunkte nach oben anzutragen. Convexgläser werden bei parallelen Sehlinsen vom Emmetropen nicht überwunden: die ganze Accommodationsbreite ist positiv und durch die Strecke von 0 bis 3,5 der Ordinate im Nullpunkte dargestellt. Bei einem Convergenzaufwande von 1 Mw. wird — 3 überwunden mit einer Accommodationsleistung von 2,73 Ml. Dieser Werth wird auf der mit 1 bezeichneten Ordinate von der Diagonale aus abgeschnitten und diese Strecke repräsentirt den positiven Theil der relativen Accommodationsbreite bei einem Convergencetrage von 1 Mw. Bei derselben Convergenz wird + 0,75 überwunden, was eine Accommodationserschaffung im Werthe von 0,74 Ml. bedeutet; dieser wird auf derselben Ordinate nach unten von der Diagonale abgeschnitten und stellt den negative Theil von $\frac{1}{A}$, bei dieser Convergenz dar. Das Stück der Ordinate in 1 vom Nahepunkt bis zum Fernpunkt repräsentirt die Ausdehnung der relativen Accommodationsbreite für einen in 1 Meter Entfernung gelegenen Fixirpunkt. Bei einem Convergencetrage 2 entspricht die grösste mögliche Accommodationsanspannung dem Werth von 2,63 Ml., welcher auf der 2ten Ordinate nach oben vom Schnittpunkte mit der Diagonale aufzutragen ist; der negative Theil entspricht nach der Tabelle dem Werth von 1,68 Ml., welcher auf der Ordinate 2 nach unten von der Diagonale abgeschnitten wird u. s. f. Bei einem Convergencetrage von 8 Mw. wird kein Concavglas mehr überwunden, aber noch binocular scharf gesehen, also fällt dieser Punkt auf die Diagonale als binocularer Nahepunkt. Jenseits dieses Punktes müssen beide Werthe, sowohl für den relativen Nahe- als für den relativen Fernpunkt, nach unten von der Diagonale aufgetragen werden, weil beide mit Convexgläsern gefunden sind, demnach beide dem negativen Theile angehören. Bei einer Convergenz auf $\frac{1}{11}$ Meter z. B. ist die Accommodationserschaffung durch den Werth von 6 Ml. repräsentirt, welcher auf der 11ten Ordinate abwärts von der Diagonale abgeschnitten wird; der Fernpunkt liegt hier in $\frac{1}{5}$ Meter d. h. es bleibt noch eine Accommodationsanspannung von 5 Ml. Werth bestehen. Die grösste mögliche Accommodationsanstrengung bei demselben Fixirpunkte ist repräsentirt durch den Werth der geforderten Accommodation weniger dem Werth der Unterstützungslinse, also $11 - 2,74 = 8,26$. Die Differenz beider Werthe $8,26 - 5 = 3,26$ stellt die Grösse von $\frac{1}{A}$, bei einem Convergenzaufwande von 11 Mw. dar.

Schliesslich wird der absolute Nahepunkt eingetragen. Ist derselbe auf dem Apparate mit Convexgläsern bestimmt, so wird er in ganz analoger Weise, wie die übrigen Nahepunkte aufgezeichnet. Ist sein Abstand durch direkte Messung bestimmt, so haben wir in dessen reziproken Werthe die Accommodationsleistung und damit den Ordinatenwerth ermittelt. Um nun auch den Abscissenwerth zu finden, muss das Maximum der Convergenz, das dabei angestrengt wird, noch besonders gemessen werden. Durch diese beiden Werthe ist der Punkt p im Coordinatensystem bestimmt. Da bei dieser maximalen Anspannung der Spielraum für die Accommodation überhaupt aufhört, so werden die zuletzt bestimmten relativen Nahe- und Fernpunkte durch gerade Linien mit p verbunden.

Bei Leuten, welche sehr stark convergiren können, bleibt die Accommodationsleistung weit hinter dem Convergenzpunkte

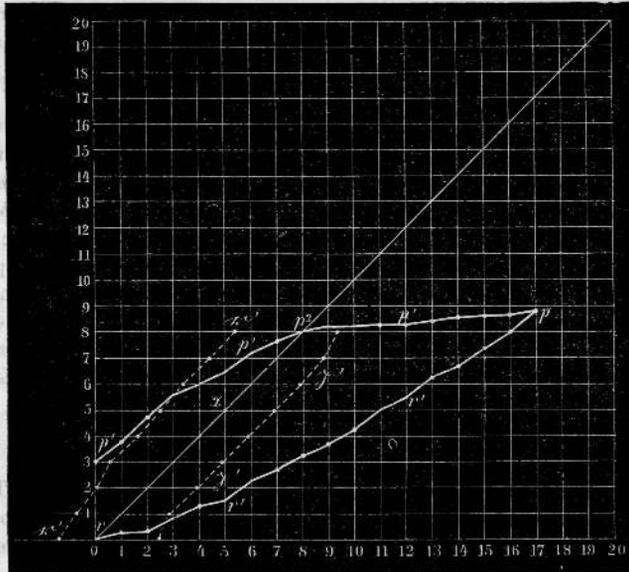


Fig. 2. (Joh. Haller.)

der Sehaxen zurück. Bei geringerer Adductionsfähigkeit der Augen und im Allgemeinen bei Myopie rückt p nahe an p_2 heran, oder fällt damit zusammen, oder es lässt sich selbst für p_2 die entsprechende Convergenz nicht erreichen.

Eine Vergleichung dieses Schemas mit dem von Donders für einen Emmetropen gegebenen lässt eine grosse Aehnlichkeit

zwischen beiden erkennen. Die Form der Curven, die Vertheilung des relativen Accommodationsgebiets in einen positiven und negativen Theil sind annähernd die gleichen; der letztere ist vergleichsweise breiter, wogegen der positive Theil etwas zurücktritt, ein Verhalten, welches durch das höhere Lebensalter des Emmetropen in meinem Falle hinlänglich erklärt wird.

Nach dem gleichen Princip werden nun in dasselbe Coordinatensystem auch die Curven für die relativen Fusionsbreiten eingezeichnet, um beide Curven zu unmittelbarer Vergleichung neben einander zu haben.

Die Ordinaten und Abscissen haben dieselbe Bedeutung, wie für die relativen Accommodationsbreiten. Die Diagonale repräsentirt wie bisher, die beim natürlichen binocularen Sehen zusammengehörigen Beträge von Accommodation und Convergenz. Der positive Theil der relativen Fusionsbreite kommt rechts von der Diagonale, der negative links von derselben zu stehen, entsprechend der möglichen Vermehrung oder Verminderung der Convergenz. Auf jeder Abscisse sind die relativen Fusionsbreiten in Meterwinkeln abzulesen, die Adduction nach rechts, die Abduction nach links von dem den Fixirpunkt darstellenden Schnittpunkte mit der Diagonale. Es fällt also der positive Theil der relativen Accommodationsbreite auf die gleiche Seite der Diagonale wie der negative Theil der relativen Fusionsbreite, und umgekehrt. In der That ist der Vorgang im Accommodations- und Fusionsapparat wohl der gleiche, ob man bei geringer Convergenz möglichst stark accommodirt (positiver Theil von $\frac{1}{A}$) oder bei starker Accommodationsanstrengung möglichst wenig convergirt (negativer Theil von $\frac{1}{S}$). Umgekehrt scheint die Anforderung an beide Functionen im Wesentlichen dieselbe zu sein, ob man bei relativ starker Convergenz die Accommodation möglichst erschlaft (negativer Theil von $\frac{1}{A}$) oder bei relativ geringem Accommodationsaufwande möglichst stark convergirt (positiver Theil von $\frac{1}{S}$).

Der nahezu parallele Verlauf der nach diesem Plane gezeichneten Curven für die relativen Fusionsbreiten in Fig. 2 zeigt an, dass der Spielraum der Blicklinien für vermehrte oder verminderte Convergenz bei allen Objectdistanzen, auf welche accommodirt werden kann, annähernd gleich gross ist. Wir haben hier nicht jene grossen Werthunterschiede, wie bei den relativen Accommodationsbreiten. Auch das Verhältniss der Curven zur Diagonale bleibt sich ziemlich gleich: der positive und negative Theil von $\frac{1}{\delta}$ ändert sonach seine Grösse ebenfalls nicht wesentlich. Die Grenzcurven der Fusionsbreiten schneiden nirgends die Diagonale d. h. in allen Punkten, auf welche noch accommodirt werden kann, haben die Fusionsbewegungen noch einigen Spielraum nach beiden Richtungen. Die Nahepunktslinie könnte die Diagonale nur überschreiten in einem Falle, wo die einer bestimmten Accommodationsleistung entsprechende Convergenz nicht erreicht werden kann, wo die Accommodation stärker ist, als die binoculare Adduction. Dies kann vorkommen bei hochgradiger Insufficienz der Musculi recti interni neben kräftiger Accommodation. Auch in Fällen von hochgradiger Myopie müssten die relativen Fusionsbreiten von einem bestimmten Punkte an völlig negativ werden: um dem für so grosse Nähe eingestellten Auge das binoculare Deutlichsehen zu ermöglichen, müssten abducirende Prismen zu Hilfe gezogen werden.

Für jeden beliebigen Fixirpunkt ist mit Hilfe dieser Aufzeichnung die relative Accommodations- und Fusionsbreite aus dem Diagramm abzulesen z. B. der Emmetrop von Fig. 2 kann bei der Convergenz auf den Punkt x der Diagonale d. h. auf $\frac{1}{5}$ Meter Abstand seine Accommodation um 1,58 Ml. stärker anspannen oder um 3,57 erschaffen; er kann ferner um 1,93 Mw. stärker oder um 2,57 Mw. weniger convergiren unbeschadet der genauen optischen Einstellung.

Es wäre sehr interessant, eine Methode der graphischen Darstellung zu finden, nach welcher aus der einen gefundenen Curve die andere sich ohne weiteres construiren liesse, da ja

natürlicher Weise beide in engem Connex zu einander stehen. Meine diesbezüglichen Versuche sind nicht gelungen.

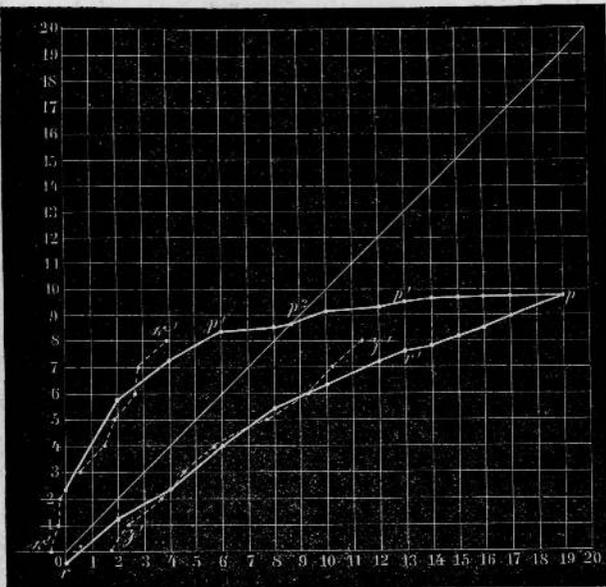


Fig. 3. (Marie Hunzinger.)

Fig. 3. repräsentirt die relativen Accommodations- und Fusionsbreiten des jungen Mädchens.

Beim ersten Blick auf die Curven fällt uns die geringe Ausdehnung der relativen Accommodationsbreite auf. Die Einschränkung betrifft wesentlich den negativen Theil derselben. Der absolute Fernpunkt fällt entsprechend der vorhandenen Hyperopie unter den Nullpunkt der Ordinatenaxe. Die Curve der relativen Nahepunkte steigt anfänglich sehr steil auf und bildet einen nach oben stark convexen Bogen, ein Ausdruck dafür, dass das Individuum bei relativ geringen Convergenzgraden stärker accomodiren kann als der Emmetrop der Figur 2, dass aber bei stärkerer Convergenz die Accommodationsleistung bedeutend zurückbleibt. Die Linie der vereinigten Accommodationsfernpunkte verläuft der Diagonale lange Zeit sehr nahe, d. h. es fällt dem Individuum schwer, bei einiger Convergenzanstrengung die Accommodation in erheblichem Masse zu erschaffen.

Das relative Fusionsgebiet ist anfänglich sehr enge, erweitert sich aber dann ziemlich beträchtlich. Der positive Theil tritt im Vergleich zum negativen zurück, was wieder andeutet, dass das Individuum bei gegebenem Accommodationszustande die Convergenz nicht viel steigern kann.

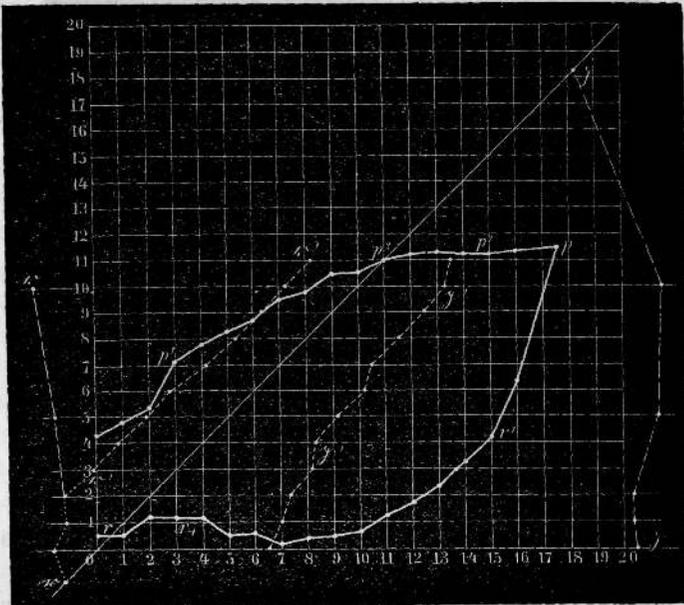


Fig. 4. (Dr. Schleich)

Eine sehr auffallende Form zeigt das Diagramm von Dr. Schleich. Anfangs ist das relative Accommodationsbereich ziemlich eng bis zur Convergenz auf $\frac{1}{2}$ Meter. Von da an erweitern sich die Grenzen rasch und zwar krümmt sich nicht nur die Nahepunktcurve nach oben, sondern auch die Fernpunktcurve nach unten. Auf diese Weise erreichen die relativen Accommodationsbreiten ganz enorme Dimensionen. Die Linie der vereinigten Fernpunkte bildet einen grossen nach abwärts convexen Bogen und steigt ausserordentlich steil gegen den absoluten Nahepunkt auf. Wir erkennen daraus, dass hauptsächlich die grössere Accommodationserschaffung diese Erweiterung bedingt und dass noch ganz nahe dem absoluten

Nahepunkte ein ziemlich breiter Spielraum für die Accommodation übrig bleibt.

Das relative Fusionsgebiet ist ebenfalls sehr umfangreich; der positive Theil wiegt entschieden vor, was wieder mit den Resultaten über die relativen Accommodationsbreiten gut harmonirt. Die Linie der vereinigten relativen Fusionsfernpunkte verläuft fast in ihrer ganzen Länge der Diagonale parallel; bis zu einem Accommodationsbetrage von 3 Ml. fällt sie diesseits des Nullpunktes der Abscissen d. h. noch bei einer optischen Einstellung auf $\frac{1}{3}$ Meter geht die mögliche Abduction über den Parallelismus der Sehlinien hinaus. Die Curve der Fusionsnahepunkte nähert sich der Diagonale allmählich, ohne sie indessen zu erreichen. Dem entsprechend bleibt der negative Theil von $\frac{1}{\delta}$ fast überall gleich gross, der positive Theil nimmt mit zunehmender Annäherung des Fixiobjectes ab und beträgt im binocularen Nahepunkte noch etwas mehr als den dritten Theil von dem, was bei erschlafener Accommodation disponibel war.

In dasselbe Schema sind endlich die an einem früheren Orte (in Tab. 2) registrirten Resultate über die absolute Fusionsbreite mit unterbrochenen Linien aufgezeichnet. Die Diagonale bedeutet hier die horizontale Medianlinie, welche die Fixirpunkte verbindet. Die Ordinaten haben für die absolute Fusion keine Bedeutung, weil die Accommodation vernachlässigt wird. Die Abscissen repräsentiren die Convergenzgrade in Meterwinkeln. Was rechts von der Diagonale liegt, bedeutet den positiven Theil von $\frac{1}{\delta}$, die bei gegebener Distanz des betrachteten Gegenstandes mögliche Adduction, was links von ihr liegt, den negativen Theil von $\frac{1}{\delta}$: die mögliche Abduction von einer durch den Objectabstand bestimmten Richtung der Blicklinien aus. Die Linien der vereinigten absoluten Fusionsnahe- und Fernpunkte steigen nahezu senkrecht auf und verlaufen einander ziemlich parallel: die absolute Fusionsbreite bleibt demnach, wie a priori zu erwarten ist, in allen Entfernungen des Fixirpunktes (annähernd) gleich gross; die Ursache der sich ergebenden Grössenschwankungen ist schon oben erwähnt. Die Fern-

punktcurve verläuft, diesseits des Nullpunktes der Abscissen, d. h. die absoluten Fusionsfernpunkte liegen normaler Weise virtuell hinter dem Auge; sie fällt eine Strecke weit mit der Curve der relativen Fusionsfernpunkte zusammen d. h. Dr. Schleich ist im Stande, bei Aufgebot seiner ganzen Abductionsfähigkeit noch bis auf $\frac{1}{2}$ Meter zu accommodiren.

Der direct bestimmte absolute Fusionsnahepunkt fällt auf die Diagonale, weil dabei die Blicklinien in Wirklichkeit mit dem Fixirpunkte zusammenfallen; hier schneidet die Nahepunktlinie die Diagonale: ein näher gelegener Gegenstand wird doppelt gesehen, weil auf ihn nicht mehr convergirt werden kann. Ebenso entspricht der Schnittpunkt der Fernpunktlinie mit der Diagonale dem direct gemessenen absoluten Fusionsfernpunkte.

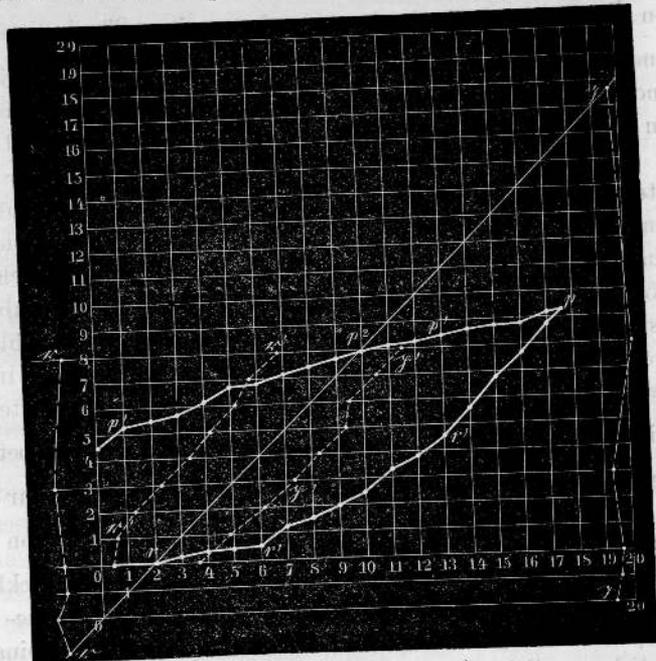


Fig. 5. (H. Bisinger.)

Fig. 5 ist die Aufzeichnung meiner relativen Accommodations- und Fusionsbreiten. Die Verschiebung der Diagonale entspricht meiner Myopie 2.

Die relative Accommodationsbreite ist bis zu einer Convergenz von 2 Mw. ganz positiv; sie ist ziemlich umfangreich, namentlich das Verhältniss des positiven Theiles zum negativen ein günstigeres als in Fig. 2 und 4.

Die Curven der relativen Fusionsbreiten zeigen einen nahezu parallelen Verlauf mit der Diagonale. Die Linie der vereinigten Fusionsnahepunkte nähert sich derselben gegen Ende mehr als in den vorausgehenden Fällen: ich kann bei starker Accommodationsanstrengung die Convergenz nicht viel steigern. Die Fernpunktcurve fällt an keiner Stelle über den Nullpunkt der Abscissen d. h. ich kann bei divergenten Blicklinien ohne Correction überhaupt nicht scharf sehen. Der positive Theil von $\frac{1}{\delta}$ überwiegt den negativen.

Um in dasselbe Coordinatensystem auch die absoluten Fusionsbreiten einzuzeichnen, muss, da die myopische Einstellung dabei nicht in's Spiel kommt, die Diagonale im Nullpunkt der Abscissen ihren Fusspunkt haben; sie ist daher nach abwärts bis zum Schnittpunkte mit der Ordinatenaxe verlängert; von dieser verlängerten Diagonale aus werden da, wo dieselbe von den Abscissen geschnitten wird, auf letzteren die Werthe für die grösstmögliche Convergenz und Divergenz abgeschnitten. Die Ordinaten haben dabei gar keine Bedeutung. Die Verbindungslinie der Punkte pp und rr steigt fast senkrecht auf. Die auf die Diagonale fallenden Punkte sind der direct bestimmte absolute Fusionsnahe- und Fernpunkt. Die Strecke der Diagonale von r bis p umfasst alle Punkte der Medianlinie, welche meine Blicklinien bei binocularer Fixation erreichen können; die Strecke von o bis r bedeutet jenseits Unendlich liegende, also virtuelle Fixirpunkte, welche divergente Blicklinien erfordern.

Fig. 6 endlich veranschaulicht die relativen Accommodations- und Fusionsbreiten von Stud. Müller mit Myopie 4. Der Fusspunkt der Diagonale ist auf den Nullpunkt der 4ten Ordinate zu verlegen: der Myop convergirt, wie es im Interesse des Deutlichsehens liegt, bis auf $\frac{1}{4}$ Meter, ohne seine Accommodation anzuspinnen.

Wenn auch die Curven für $\frac{1}{A}$ bei weitem nicht so charakteristisch sind, wie die von Donders für Myopie als Muster

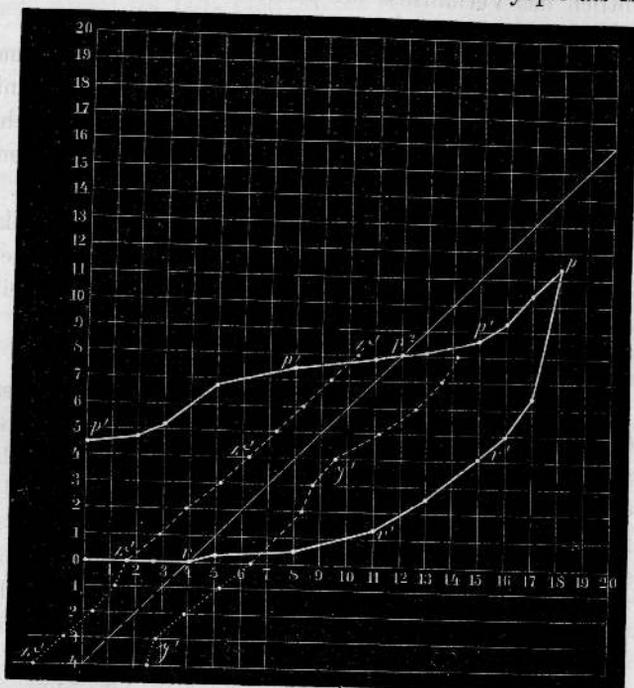


Fig. 6. (Stud. Müller.)

aufgestellten, so zeigen sie doch im Vergleich zu den emmetropischen in Fig. 2 mehrere auffallende Abweichungen. Sehr bezeichnend, wenn auch nicht so prononcirt wie bei Donders, ist der Verlauf der Nahepunktlinie. Dieselbe beschreibt nicht, wie in den vorausgehenden Fällen, einen nach oben convexen Bogen, sondern zeigt namentlich gegen das Ende hin eine ausgesprochene Tendenz sich nach aufwärts zu krümmen, ein Ausdruck dafür, dass mit den hohen Convergenzgraden eine sehr grosse Accommodationsleistung verbunden ist. Das Bereich der relativen Accommodationsbreiten ist ziemlich ausgedehnt, was wohl auf den Einfluss der Uebung zurückzuführen ist.

Die Curven der relativen Fusionsbreiten zeigen nichts Be-

sonderes. Sie verlaufen unter sich und mit der Diagonale beinahe parallel. Die Fernpunktcurve überschreitet, wie im vorhergehenden Falle nirgends den Nullpunkt der Abscissen, weil der Betreffende, um deutlich zu sehen, das Object schon nahe nehmen muss, also bei der Abduction der Blicklinien von einer Convergenzstellung ausgeht, nicht von parallelen Sehlinien.

Um auch jenseits des Fernpunktabstandes die relativen Fusionsbreiten zu prüfen, habe ich die geeignete Correction gestattet. Die so erlangten Resultate sind in Tabelle 14 enthalten, welche somit eine Ergänzung der Tabelle 13 darstellt.

Tabelle 14.

Convergenzgrade in Meterwinkeln.	Zugehöriges Correctionsglas zu genauer optischer Einstellung.	Ueberwundene adducirende Prismen für jedes Auge.	Positiver Theil der relativen Fusionsbreite.	Ueberwundene abducirende Prismen für jedes Auge.	Negativer Theil der relativen Fusionsbreite.	Grösse der relativen Fusionsbreite.
0	—4	9½	2,63	7	1,88	4,51
1	—3	7	1,88	6½	1,73	3,61
2	—2	7	1,88	6	1,59	3,47
3	—1	7½	2,05	7	1,88	3,93

Diese Ergebnisse sind in Fig. 5 unter der Abscissenaxe mit klein punktirten Linien aufgezeichnet. Die an der Ordinatenaxe nach abwärts vom Nullpunkt aufgetragenen Werthe drücken die optische Einstellung des Myopen aus und geben so das Concavglas, welches für die betreffende Entfernung corrigirt.

Ein Rückblick auf die von meinen Versuchspersonen erlangten Resultate zeigt, dass die relativen Accommodationsbreiten durchgängig grösser sind als die mittelst Prismen bestimmten relativen Fusionsbreiten; im Vergleiche zur absoluten Fusionsbreite sind letztere viel kleiner, als die relativen Accommodationsbreiten im Vergleich zur absoluten: es scheint also, dass die binoculare Fusion durch die Accommodation stärker gebunden ist, als umgekehrt; Uebung scheint auf die Erweiterung des relativen Accommodationsgebiets einen grösseren Einfluss zu haben, als auf die Vergrösserung der relativen Fusionsbreite. Während die relativen Accommodationsbreiten an-

fänglich immer wachsen, und gegen das Ende abnehmen, zeigen die relativen Fusionsbreiten eine annähernd constante Grösse und keine Regel in der Zu- oder Abnahme. Die Vertheilung in einen positiven und negativen Theil ist bei den relativen Accommodationsbreiten sehr wechselnd nach der verschiedenen Convergenz; zuletzt wird sie immer negativ, weil das Accommodationsvermögen schwächer ist, als die Convergenzfähigkeit. Bei den relativen Fusionsbreiten sind und bleiben beide Theile fast gleich gross; $\frac{1}{\delta}$ wird nie ganz positiv oder ganz negativ, weil bis zu dem nächsten Punkte, auf den unter normalen Verhältnissen noch binocular accommodirt werden kann, immer noch ein Spielraum für die Fusionsbewegungen übrig bleibt. —

Es ist zu wünschen, dass die Untersuchungen über die relativen Accommodations- und Fusionsbreiten auf eine grössere Reihe von Individuen verschiedenen Alters, verschiedener Refraction, verschiedener Berufsklassen ausgedehnt werden, um die Frage über den Zusammenhang zwischen Accommodation und Convergenz und dessen Lösbarkeit gestützt auf zahlreichere Erfahrungen als bisher beantworten zu können. Die von verschiedenen Forschern noch immer in verschiedener Weise beantwortete Frage, inwieweit jene Verbindung als angeboren, inwieweit als durch Uebung erworben zu betrachten sei, wird dadurch ihrer Lösung näher gebracht werden. Alle jene Zustände und Symptome, welche unter dem Collectivnamen Asthenopie zusammengefasst werden und welche meistens auf ungleichmässigen Anforderungen an die der Accommodation und der Fusion dienenden Apparate beruhen, werden ihrem Wesen und ihrer Ursache nach besser erkannt und Gegenstand einer nach bestimmten rationellen Grundsätzen handelnden Therapie werden können. Insofern haben diese Untersuchungen, physiologisch von hohem Interesse, auch ihre nicht zu unterschätzende praktische Bedeutung.



14198