

(Aus dem psychologischen Laboratorium der Universität Krakau.)

Untersuchungen über das periphere Sehen.

Ein Beitrag zur Psychologie der Aufmerksamkeit.

Von
STANISLAW LORIA.

I.

§ 1. Lange galt als unanfechtbar der Satz von HELMHOLTZ, „die Aufmerksamkeit sei ganz unabhängig von der Stellung der Akkommodation des Auges, überhaupt von einer bekannten Veränderung in und an diesem Organe“. Erst in der Abhandlung „Die Aufmerksamkeit und die Funktion der Sinnesorgane“¹ hat W. HEINRICH auf Grund unmittelbarer Messungen der Pupillengröße und des Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche, diese Behauptung als unrichtig gefunden und damit eine neue Grundlage für die Untersuchung der Erscheinungen der Aufmerksamkeit im Anschluß an die Funktion der Sinnesorgane geschaffen.

Die genannte Untersuchung ergab nämlich folgendes:

1. Bei der Anschauung der Objekte in den seitlichen Teilen des Gesichtsfeldes ändert sich die Akkommodation, trotzdem der Abstand der angeschauten Objekte derselbe bleibt wie derjenige der zentral gesehenen. Die Änderung offenbart sich in der Abflachung der Linse und in der Vergrößerung der Pupille.

2. Der Krümmungsradius nimmt beim seitlichen Sehen mit dem Winkel, unter welchem sich das Objekt zur Achse befindet, anfangs zu, von dem Winkel von 50° an ab. Diese Änderungen sind relativ gering.

¹ Vgl. *Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane* 9 u. 11.

Es wurde dann die Frage aufgeworfen, ob die Linse für alle Entfernungen des paraxial liegenden Objektes dieselbe Krümmung behält oder ob sich diese mit der Entfernung des Objektes ändert, mit einem Worte, ob eine paraxiale Akkommodation existiert oder nicht.

Zu diesem Zwecke wurde das seitliche Objekt konstant unter einem Winkel von 45° gehalten und nur seine Entfernung vom Auge, wie auch die Entfernung des zentral liegenden Fixierzeichens geändert. Die Ergebnisse der Messungen des Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche illustriert folgende Tabelle.

Herr D. (Refr. 3,5 DM).

(Jede Zahl bildet einen Mittelwert aus 16 Messungen.)

	S_0	S_{15}	S_{20}	S_{25}
C_{15}	11,62	13,37	14,00	15,14
C_{25}	15,80	14,90	15,44	16,05

In dieser Tabelle bezeichnet $S \dots$ die Entfernung des paraxial gestellten Objektes, $C \dots$ die Entfernung des axial gestellten Fixierzeichens.

Die horizontalen Reihen geben die Änderung der Krümmungen bei konstanter Entfernung des Fixierzeichens und einer variablen Entfernung des paraxialen Objektes; die vertikalen dagegen die Krümmungen bei konstanter Lage des paraxialen Objektes und variabler Änderung des axialen Fixierzeichens.

Die Untersuchung der geometrisch-optischen Verhältnisse ergab, daß die beobachteten Veränderungen als Akkommodationserscheinungen aufzufassen sind. W. HEINRICH formuliert daher seine Ergebnisse u. a. in folgenden zwei Sätzen.

1. „Das Auge besitzt im allgemeinen die Fähigkeit auf Entfernungen paraxial liegender Objekte zu akkommodieren.“

2. „Die Akkommodation war in den beobachteten Fällen keine vollständige, sondern mit von der Lage des axial liegenden Fixierzeichens abhängig.“

§ 2. Hat die erwähnte Untersuchung die Existenz einer Akkommodationsänderung der Linse bei Betrachtung der seitlich liegenden Objekte durch unmittelbare Messungen zweifellos er-

wiesen, so kann man sie andererseits nicht als eine abschließende betrachten.

Erstens wurden ja nur die Krümmungsradien derjenigen Formen der Linse, die zwei Linien im Gesichtsfelde entsprechen, gemessen. Man hat nämlich 1. die Änderungen der Linse bei konstanter Entfernung des paraxial liegenden Objektes und variablem Bogenabstand vom zentralen Fixierzeichen, 2. die Änderungen der Linse bei konstantem Winkel von 45° und variabler Entfernung des Objektes untersucht. Das ganze übrige Gesichtsfeld blieb außerhalb der Untersuchung. Zweitens war die Frage, ob die paraxiale Akkommodation eine approximative oder eine genaue ist, einer näheren Untersuchung bedürftig. Es war ja sehr möglich, daß die Ungenauigkeit der paraxialen Akkommodation, wie sie HEINRICH gefunden hat, darauf zurückzuführen ist, daß das Auge infolge der Untersuchungsanordnung, von der Seite durch das Licht einer elektrischen Bogenlampe stark beleuchtet war. Es ist ja ohne weiteres verständlich, daß ein sehr starker, von der Seite kommender Reiz die Genauigkeit der Einstellung der Linse auf seitliche Objekte beeinflussen mußte.

Ich habe mir daher auf Anregung des Herrn Prof. Dr. W. HEINRICH zur Aufgabe gestellt die Erscheinungen des peripheren Sehens zu untersuchen. Und zwar:

1. habe ich mir die Frage gestellt, ob die Einstellung der Linse bei Betrachtung der paraxial liegenden Objekte eindeutig durch die Lage des Objektes bestimmt ist oder nicht;¹

2. wollte ich für den Fall, daß die erste Untersuchung eine bejahende Antwort ergibt, den Raum des seitlichen Gesichtsfeldes, in welchem die paraxiale Akkommodation tätig ist, ermitteln und seine Grenzen aufsuchen.

§ 3. Die Methode der Untersuchung der ersten Frage basierte auf folgender Überlegung. Nimmt man das kleinste Objekt, welches bei einer bestimmten Einstellung der Linse scharf erkannt wird, so hat eine geringe Hinausschiebung desselben aus der richtigen Lage, vorausgesetzt, daß die Linse unverändert bleibt, zur Folge, daß die Erkennbarkeit des Objektes verloren geht. Man kann mithin bei gegebener Einstellung der Linse die

¹ Diese Untersuchungsreihe habe ich als vorläufige Mitteilung im „Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie (Classe des sciences mathématiques et naturelles) Séance du 17 Octobre 1904“ veröffentlicht.

Lage der Punkte im Raume bestimmen, welche sich auf der Retina scharf abbilden. Die Anwendung dieser Überlegung auf die oben gestellte Frage, ergibt folgendes Verfahren. Wird das Auge auf ein axiales Fixierzeichen gestellt und nimmt man seitlich ein genügend kleines Objekt, welches man dem Auge zu nähert, so wird es anfangs nicht erkannt, bis man zu den Punkten gelangt, welche sich auf der Retina scharf abbilden, und in welchen daher die Erkennbarkeit beginnt. Rückt man mit dem Objekte noch näher heran, so beginnt das Spiel der Akkommodation, man schreitet durch den Raum, dessen alle Punkte sich auf der Retina scharf abbilden, bis man endlich zu diesen Punkten kommt, über die hinaus die Akkommodation nicht mehr reicht und wo daher die Erkennbarkeit wieder wegfällt. Man bekommt auf diese Weise für eine bestimmte Anfangseinstellung der Linse den totalen Akkommodationsraum, der durch zwei Linien, eine obere und eine untere begrenzt ist. Stellt sich dann weiter heraus, daß trotz der Änderung der Lage des Fixationszeichens, jener Akkommodationsraum sich nicht ändert, so muß man konsequenterweise schließen, daß die paraxiale Akkommodation von der Lage des zentralen Fixierzeichens unabhängig ist, die obere Linie der maximalen Relaxation, die untere der maximalen Krümmung der Linse entspricht.

§ 4. In praktischer Ausführung gestaltete sich die Untersuchung folgendermaßen: Auf einer großen Tischplatte wurde eine Reihe konzentrischer Kreise in Abständen von je 10 cm gezeichnet; die Kreise waren noch in Abständen von je 10° durch Radien geteilt. Das verkleinerte Bild hiervon reproduzieren die beigelegten Zeichnungen.

Das Fixierzeichen bestand aus einem schwarzen Punkt auf weißem Karton. Drei parallele Striche von 2 mm Breite, 2 mm Abstand und 2 cm Länge in vertikaler Richtung stellten das paraxial zu betrachtende Objekt dar, da es sich gezeigt hat, daß von 10° seitlich ab diese Breite der Streifen von der Grenze der Erkennbarkeit und zwar im allgemeinen auf dem ganzen Felde nicht weit entfernt ist.¹ Das Fixierzeichen und die Streifen waren auf verschiebbaren Stativen befestigt und befanden sich mit dem Auge in der horizontalen Hauptebene, auf welche sich

¹ Wir wollen nicht behaupten, daß diese Breite auch in der Tat die Grenze der Erkennbarkeit bildet. Sie hat sich nur praktisch als ausreichend erwiesen.

auch sämtliche Untersuchungen beziehen. Die ganze Untersuchung wurde in einem hellen gleichmäßig beleuchteten Saal bei Tage ausgeführt. Die Untersuchungsperson saß — den Kopf wie üblich in einer Kinnstütze befestigt — mit dem Rücken gegen das Fenster gewandt, so daß die aufgestellten Objekte gleichmäßig hell beleuchtet waren. Untersucht wurde das linke Auge, das rechte war während der Untersuchung zugedeckt. Die untersuchte Person richtete das Auge auf den zentralen Fixationspunkt; sobald sich das Auge ruhig verhielt, wurde der Beobachter aufgefordert, seine „Aufmerksamkeit dem seitlichen Teile des Gesichtsfeldes zuzuwenden“, sodann der vor dem seitlichen Objekte stehende Schirm weggenommen und der Beobachter sollte über das, was er gesehen hat, entscheiden. Dabei kontrollierte der vor dem Beobachter stehende Experimentator, ob das Auge wirklich unbeweglich blieb.

Der Gang der Untersuchung war folgender: Bei einer gegebenen Lage des zentralen Fixierzeichens rückte man das seitliche Objekt längs der Radien dem Auge näher. Es wurde zuerst der entfernteste Punkt, in welchem das Objekt erkannt war, ermittelt; dann wurden der Reihe nach die Schnittpunkte des Radius mit dem Kreise auf die Erkennbarkeit des Objektes geprüft und endlich der dem Auge am nächsten liegende Punkt gesucht, wo das Objekt noch erkennbar ist. Besondere Sorgfalt wurde der Ermittlung der Grenzpunkte zugewendet. Indem man einmal mit dem Objekte von oben dem Akkommodationsraume zu sich näherte, das andere Mal vom Akkommodationsraume nach oben sich entfernte, ermittelte man die Grenzpunkte als Mittelwerte beider Ablesungen. Die Zahl der gemachten Beobachtungen betrug gewöhnlich in jedem Punkte vier, an den Grenzen jedoch in der Regel mehr, so daß die Gesamtzahl der zur Bestimmung des Feldes, auf welchem das Objekt erkannt war, bei einer bestimmten Lage des Fixationspunktes gemachten Beobachtungen sich ungefähr auf 2400 beläuft. Die ganze Reihe von Beobachtungen wurde bei jeder neuen um je 10 cm von der früheren sich unterscheidenden Entfernung des Fixationszeichens wiederholt. Zu bemerken sei noch, daß die Versuchspersonen sich anfangs zwei Wochen lang im seitlichen Sehen geübt haben und daß während der Beobachtung nach je 5—8 Bestimmungen eine Pause gemacht wurde. An dieser Untersuchung haben die Herren Stud. phil. PREGER, Stud. phil. KOŁODZIEJSKI und Stud. phil. STEIN

teilgenommen. Ich benutze die Gelegenheit, um ihnen für ihre Geduld und Aufopferung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Ich schulde auch Herrn Dr. BRUDZEWSKI Dank, der mit bereitwilliger Liebenswürdigkeit die Augen der Herren untersucht hat.

§ 5. Das Resultat der nach geschildertem Verfahren ausgeführten Untersuchung lautet: Das Feld, auf welchem das seitlich gestellte Objekt erkannt wird, ist vollkommen unabhängig von der Lage des Fixationszeichens.

Ich gebe hier die Untersuchungsergebnisse in tabellarischer und graphischer Form wieder.

Untersuchungsperson: Herr PRAGER. Die vom Herrn Dr. BRUDZEWSKI mitgeteilten Daten lauten: Beiderseitige Emetropie. Das Innere des Auges ohne Veränderung; die Sehschärfe links $V = 1$, rechts etwas größer $V = \frac{2}{3}$, Punctum proximum 10 cm.

Tabelle I.

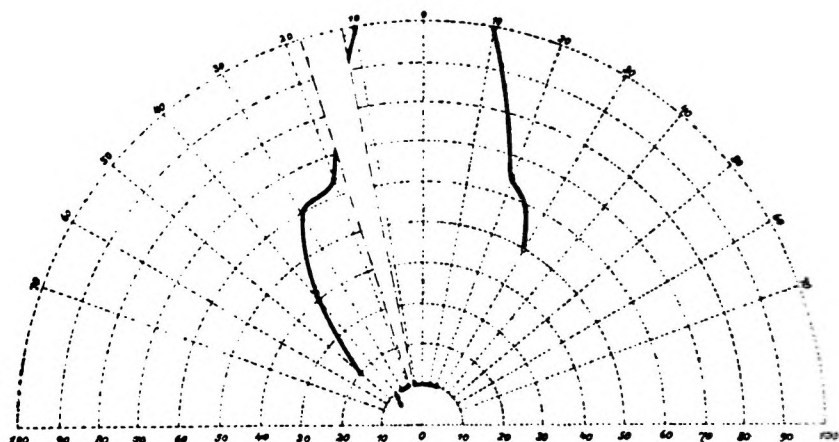
Obere Linie.

Versuchsreihe I					Versuchsreihe II		
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	10°	95	105	100	95	105	100
	20°	60	70	65	60	70	65
	30°	55	65	60	60	60	60
	40°	40	40	40	35	45	40
	50°	15	25	20	15	25	20
Nasal	10°	95	105	100	95	105	100
	20°	60	70	65	60	70	65
	25°	55	65	60	55	65	60
	30°	45	55	50	50	50	50

Untere Linie.

Versuchsreihe I				Versuchsreihe II			
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	10°	8	12	10	8	12	10
	20°	10	10	10	10	10	10
	30°	8	12	10	10	10	10
Nasal	10°	10	10	10	10	10	10
	20°	5	15	10	8	12	10

Taf. I.



Tafel I. Die obere Grenzlinie auf der lateralen Seite beginnt bei (100 cm 10°), geht leicht gewölbt durch den blinden Fleck zum Punkt (65 cm 20°), erfährt hier zwischen 20° und 30° eine leichte Biegung und fällt mit kleiner Wölbung über (40 cm 40°) auf (20 cm 50°) hinunter. Die untere Grenzlinie umschreibt hier von dem Punctum proximum an einen Bogen, geht also durch die Punkte (10 cm 10°), (10 cm 20°), (10 cm 30°) und wendet sich dann nach unten. Diese Strecke war aber infolge der kleinen Entfernung vom Auge schwer zu untersuchen und ist daher als unsicher mit Punkten angezeigt.

Ähnlich gestalten sich die Verhältnisse auf der nasalen Seite. Die obere Grenzlinie führt, ebenso wie die laterale gewölbt, von (100 cm 10°) nach (65 cm 20°). Es folgt nun zwischen (20° und 30°) eine Biegung, die sich jedoch nur bis (60 cm 25°) er-

streckt; die Linie senkt sich noch eine kleine Strecke weit nach unten und endet bei (50 cm 30°). Von der unteren Linie ließen sich nur die Punkte (10 cm 10°), (10 cm 20°) genau bestimmen.

Die Aussagen des Beobachters lauten: Von der unteren Linie hinauf erstreckt sich der Raum, in welchem das seitliche Objekt relativ deutlich erkannt wird. Es folgt dann ein Raum, in dem die Aussage unsicher wird und „mehr als zwei Streifen“ lautet. Die obere Grenze dieses Raumes wird hier eben als obere Grenze des seitlichen Feldes angegeben. Von dieser oberen Linie weiter hinauf wird das Objekt unerkennbar: Die Aussagen lauten „zwei Streifen“, „ein Streifen“, „ein Fleck“.

Versuchsperson Herr STEIN. „Beiderseitige Myopie, die sich durch 4,5 D verbessern läßt. Man erzielt dabei am linken Auge die volle ($V = \frac{1}{2}$), am rechten nur die unvollständige ($V =$ etwas weniger als $\frac{1}{2}$) Sehschärfe. Mit Zylindern wird keine Verbesserung erreicht. Die ophthalmoskopische Untersuchung ergab nichts Anormales. Übrigens besteht ein anscheinendes Schielen, das jedoch ohne Bedeutung und — meiner Ansicht nach — durch die negative Lage des Winkels α zu erklären ist.“ Die Untersuchung ergab:

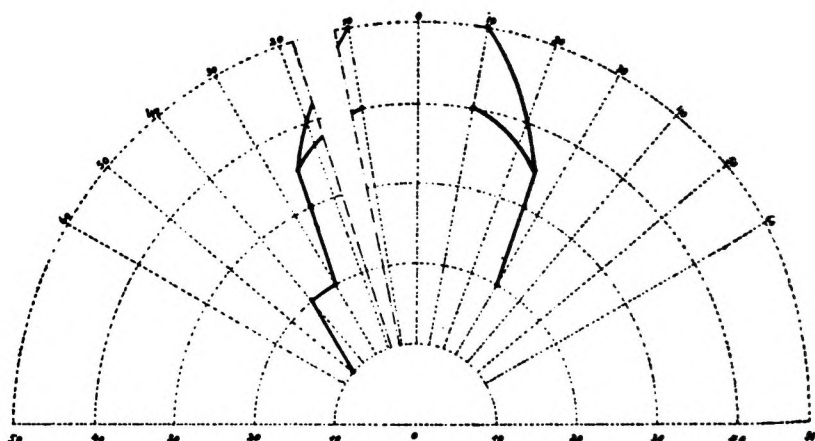
Tabelle II.
Obere Linie.

Versuchsreihe I					Versuchsreihe II		
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	10°	50	50	50	50	50	50
	20°	35	45	40	35	45	40
	25°	35	—	35	35	—	35
	27°	25	35	30	25	35	30
	30°	20	20	20	20	20	20
	40°	15	25	20	15	25	20
	50°	8	12	10	10	10	10
Nasal	10°	50	50	50	50	50	50
	20°	35	45	40	40	40	40
	25°	35	—	35	35	—	35
	27°	30	30	30	30	30	30
	30	15	25	20	15	25	20

Untere Linie.

Beide Versuchsreihen identisch				
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	10°	40	40	40
	25°	40	30	35
Nasal	10°	40	40	40
	25°	40	30	35

Taf. II.



Tafel II. Die äußere Grenzlinie beginnt bei dem Punkt (50 cm 10°), sie geht mit leichter Wölbung durch den blinden Fleck und den Punkt (40 cm 20°) bis nach (35 cm 25°) hinunter. Von hier aus führt sie in fast gerader Richtung durch (30 cm 27°) nach (20 cm 30°) weiter, biegt zwischen 30° und 40° stark um und endet bei (10 cm 50°). Die untere Grenzlinie beginnt schon bei (40 cm 10°), überschreitet den blinden Fleck und mündet bei (35 cm 25°) in die äußere ein. Vollständig symmetrisch gestalten sich die Verhältnisse auf der nasalen Seite des Gesichtsfeldes.

Was an dem Verlauf der erhaltenen Linien zuerst auffällt, ist der Umstand, daß die äußere Linie so verläuft, als ob das Auge weniger myopisch wäre, wie die ärztliche Untersuchung ergab. Das wird wohl darauf zurückzuführen sein, daß die an-

gegebene Myopie ohne Atropinisierung des Auges gemessen wurde.

Vergleicht man den hier ermittelten Akkommodationsraum mit dem vorher besprochenen, so fällt vor allem das Zusammenschmelzen des ganzen Raumes von dem Winkel 25° an in eine Linie, auf. Diese Erscheinung wäre ohne weiteres verständlich, wenn wir genauere Daten über den Nahe- und den Fernpunkt des Auges zur Verfügung hätten. Da die Akkommodationsbreite für paraxiale Entfernungen mit dem zunehmenden Winkel stark abnimmt, so ist es verständlich, wenn sie in dem Falle, wo sie zentral sehr gering ist, paraxial in eine Linie zusammenschmilzt. Wie interessant auch der Fall ist, so war es uns doch leider unmöglich, das Auge des Herrn St. infolge seiner raschen Abreise einer nochmaligen genaueren Untersuchung unterziehen zu lassen.

Das Zusammenschmelzen des ganzen Raumes in eine Linie gab Veranlassung zu einem psychologisch sehr wichtigen Versuch.

Ist die deutliche Erkennbarkeit keine rein zentrale Funktion, sondern von dem Mechanismus des Akkommodationsapparates im Sinnesorgane abhängig, so muß man konsequenterweise folgenden Schluß ziehen: Da einer Einstellung der Linse eine ganze Linie in der horizontalen Ebene des Gesichtsfeldes (eine Fläche im Raume) derart entspricht, daß alle auf dieser Linie (event. im Raume auf einer entsprechenden Fläche) sich befindenden Punkte, als Bildpunkte auf der Retina sich abbilden, so müssen alle in verschiedenen Punkten einer solchen Linie gleichzeitig aufgestellten Objekte auch gleichzeitig am deutlichsten erkannt, oder — anders ausgedrückt — gleichzeitig „durch die Aufmerksamkeit umfaßt werden“. Diese Konsequenz, welche weiter ausführlicher behandelt ist, haben wir zuerst beim Herrn St. bestätigt gefunden.

§ 6. Endlich wurde noch die erste Frage mit dem Herrn KOLODZIEWSKI untersucht und die eindeutige Beziehung der Einstellung der Linse zur Lage des paraxial aufgestellten Objektes bestätigt gefunden.

II.

§ 7. Nach der Feststellung der eindeutigen akkommodativen Einstellung des Auges für die Entfernungen paraxial liegender Objekte, handelte es sich jetzt darum

1. den genauen Verlauf dieser Linie zu ermitteln, welche als Objekt betrachtet, bei vollkommener Abspannung der Linse,

der Retina als Lage der Bildpunkte konjugiert ist, d. h. diejenigen Punkte in der horizontalen Ebene zu bestimmen, welche sich bei vollständiger Abflachung der Linse auf der Retina abbilden;

2. ebensolche Linien für andere Einstellungen der Linse zu ermitteln.

An den Untersuchungen, über welche im nachfolgenden berichtet wird, haben die Herren Stud. phil. KOŁODZIEJSKI und Stud. med. FL. teilgenommen. Ich fühle mich verpflichtet, ihnen für den regen Anteil bei dieser Arbeit meinen wärmsten Dank auszusprechen. Die Atropinisierung der Augen sowie die genaue Augenprüfung verdanke ich dem Herrn Prof. Dr. WICHERKIEWICZ, Direktor der okulistischen Klinik. Es sei mir gestattet, für das freundliche Entgegenkommen meinen verbindlichsten Dank auszudrücken.

Die Angaben über beide Augen sind folgende: Herr K. „Beiderseitige Hypermetropie 0,25 D, Sehschärfe l. $\frac{1}{6}$, r. $\frac{1}{6}$, Sn 0,5 : 10 cm ∞ .“ Herr FL.: „Das rechte Auge normal Sehschärfe $\frac{1}{5}$; das linke myopisch 1,25 D p. prox. 10. Akkommodation gut.“

§ 8. Um den Verlauf der Linie des deutlichsten Sehens bei vollständiger Abflachung der Linse zu ermitteln, hat man das untersuchte (linke) Auge atropinisiert und nach dem oben geschilderten Verfahren, auf dem bereits beschriebenen Perimeter, längs der Radien von je 5° Abstand, diejenigen Punkte gesucht, in welchen das Objekt am deutlichsten gesehen war. Als Objekt dienten 3 parallele schwarze Streifen von je 1,5 mm Breite und Abstand. Da jetzt der Zustand des Auges infolge der Atropin-injektion fixiert war, so kann von der Gefahr, daß man infolge eines etwa zu nahen Heranrückens in die Sphäre der Akkommodation hineingekommen ist, nicht mehr die Rede sein, und es ist mithin die Lage desjenigen Punktes auf jedem Radius, dessen Bild sich am schärfsten auf der Retina abbildete eindeutig bestimmt worden. „Am deutlichsten gesehen“ lautete die entsprechende Aussage der untersuchten Person.

Um den Punkt des deutlichsten Sehens breitet sich auf jedem Radius eine Strecke aus, wo die drei Streifen als solche noch erkannt, jedoch minder scharf gesehen werden. Das ergibt sich daraus, daß man zwar die scharfe Abbildung eines Objektes auf einem Schirm (in unserem Falle auf der Retina) nur dann bekommt, wenn der Schirm in der Bildebene sich befindet; man

bekommt jedoch auch eine Abbildung, wenn auch minder scharf, wenn der Schirm den Strahlenbündel etwas vor oder hinter der Bildebene schneidet. Die Länge dieser Strecke hängt ab 1. von der GröÙe des Objektes, 2. von der GröÙe der Pupille. Sie ist gröÙer, wenn das Objekt gröÙer ist, sie verkürzt sich, wenn die Pupille sich vergrößert.

Es mag hier hervorgehoben werden, daÙ die Beobachter sehr leicht die Lage angeben, wo das Objekt am schärfsten gesehen wird. Man ermittelt auch die Lage dieses Punktes, wenn man die ganze Strecke längst eines Radius, auf welcher die Streifen als „drei“ erkannt werden, halbiert.

§ 9. Die Untersuchung, welche eine halbe Stunde nach der Injektion des Atropins bei Tageslicht in der bereits geschilderten Weise erfolgte, ergab folgende Resultate:

Herr K.:

Tabelle III.

Versuchsreihe I				Versuchsreihe II		
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	5°	65	70	65	70	67
	10°	55	45	50	50	50
	20°	25	30	25	30	27
	25°	15	20	15	20	17
	30°	10	15	10	15	12
	35°	10	10	10	10	10
Nasal	5°	65	70	65	70	67
	10°	45	55	50	50	50
	20°	25	30	25	30	27
	25°	15	20	15	20	17
	30°	10	15	10	15	12
	35°	10	10	10	10	10

Graphisch sind diese Resultate auf der Tafel III Kurve (a) dargestellt.

Herr FL.:

Tabelle IV.

Versuchsreihe I				Versuchsreihe II		
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	10°	65	75	70	70	70
	20°	50	60	50	60	55
	25°	40	40	35	45	40
	30°	30	30	30	30	30
	35°	20	25	20	25	22
	40°	15	20	15	20	17
Nasal	10°	70	70	65	75	70
	15°	55	55	55	55	55
	20°	40	50	40	50	45
	25°	30	40	35	35	35
	30°	25	25	25	25	25
	35°	20	20	20	20	20
	40°	10	20	15	15	15

Graphisch sind diese Resultate auf der Tafel IV Kurve (a) dargestellt.

(Die auf der Tafel III als (b) bezeichnete Kurve gibt die obere Grenze an, bis zu welcher die 1,5 mm breiten Streifen als „mehr wie zwei Striche“ gesehen werden.)

§ 10. Die beiden gefundenen Kurven wiederholen die bereits von HEINRICH angegebene und in meiner ersten Untersuchungsreihe zum Ausdruck gebrachte Tatsache, daß das Auge für paraxial gestellte Objekte myopisch ist. Im Unterschiede von den Beobachtungen HEINRICHs zeigt sich überall, daß die Myopie für paraxial gestellte Objekte mit dem Winkel zunimmt, d. h. daß die Punkte des deutlichen Sehens um so weniger vom Auge entfernt sind, je größer der Winkel ist, unter welchem das Objekt seitlich gestellt wird.

Der Verlauf der beiden Kurven spiegelt die Beschaffenheiten der untersuchten Augen ab:

Das Auge, dem die Kurve (a) auf der Tafel III angehört, ist zentral hypermetropisch. Bei 5° seitlich ist es schon myopisch

(Fernpunkt 95 cm), die Grenzlinie des Feldes muß daher auf dieser Strecke sehr steil hinunterfallen. Dann nimmt die Entfernung der Fernpunkte vom Auge auf den weiteren Radien rasch ab.

Das Auge, dem die Kurve (a) auf der Tafel IV entspricht, ist myopisch, sein Fernpunkt liegt zentral in der Entfernung von 80 cm. Paraxial ist auch hier das Auge stark myopisch, die paraxiale Myopie nimmt aber mit dem Winkel nicht so rasch zu wie es bei dem hypermetropischen Auge der Fall war. Dies bedeutet: Das hypermetropische Auge ist in der Richtung des axialen Strahles zu kurz, in der Richtung der paraxialen Strahlen relativ lang. Deswegen ist der ganze Verlauf der Kurve sehr steil. Das myopische Auge ist in der Richtung des axialen Strahles zu lang und in der Richtung der paraxialen Strahlen relativ kurz. Deswegen ist der ganze Verlauf der Kurve bedeutend flacher.

Der Verlauf der unteren Grenzlinien gibt in beiden Fällen nichts Wesentliches. Es mag nur bemerkt werden, daß beim Herrn K. die Linie so nahe dem Auge liegt, daß es unmöglich war, sie mit Hilfe meiner Objekte zu ermitteln.

Hat man den Verlauf der oberen Grenzlinie bei atropinisiertem Auge kennen gelernt, so ist es nicht schwer sich zu überzeugen, daß auch bei nicht atropinisiertem Auge die Objekte erst von dieser Linie an scharf gesehen werden.

§ 11. Aus dieser Tatsache ergibt sich eine für die Untersuchung der peripheren Sehschärfe wichtige Folgerung. Man kann die periphere Sehschärfe nur in der Form messen, daß man zuerst die äußere Grenzlinie der paraxialen Akkommodation feststellt und dann auf dieser Linie die kleinsten noch erkennbaren Objekte ermittelt. Geht man über diese Linie hinaus, so muß infolge der Myopie des Auges die Erkennbarkeit der Objekte viel rascher abnehmen, als es aus der Verminderung des Winkels, unter welchem die Objekte gesehen werden, folgen würde. Die Abnahme des Schwinkels verbindet sich in diesem Falle mit der Wirkung der paraxialen Myopie.

Um diese Konsequenz experimentell zu prüfen, habe ich die Grenzen festgestellt, bis zu welchen drei parallele Striche als „mehr als zwei Striche“ erkannt werden. Es wurden daher mit den beiden Untersuchungspersonen die äußersten Linien für drei parallele schwarze Streifen von

1. 3 mm Breite, 3 mm Abstand, 2 cm Länge
2. 4 mm " 4 mm " 2 cm "
3. 6 mm " 6 mm " 2 cm "

gesucht.

Die entsprechenden Ergebnisse lauten:

Herr K.:

Tabelle V. Taf. III.

Objekt 3 mm.

Lateral				Nasal			
	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
5°	100	110	105	5°	100	110	105
10°	90	95	92	10°	90	95	92
20°	60	60	60	15°	70	75	72
25°	50	55	52	20°	60	60	60
30°	45	50	47	25°	45	50	47
35°	30	35	32	30°	30	40	35
40°	25	30	27	35°	25	25	25
45°	18	20	19	40°	—	—	—

Objekt 4 mm

5°	110	120	115	5°	110	120	115
10°	100	100	100	10°	95	105	100
20°	60	70	65	15°	75	80	77
25°	55	55	55	20°	65	60	62
30°	45	50	47	25°	50	50	50
35°	30	40	35	30°	30	40	35
40°	25	30	27	35°	25	30	27
45°	15	20	17	40°	—	—	—

Objekt 6 mm

10°	120	125	123	10°	120	125	123
20°	70	70	70	15°	100	100	100
25°	60	65	62	20°	65	70	67
30°	45	50	48	25°	50	55	52
35°	35	40	37	30°	35	45	40
40°	30	30	30	35°	25	30	27
45°	15	20	17	40°	—	—	—

Herr FL.:

Tabelle VI. Taf. IV.

Objekt 4 mm.

Lateral				Nasal			
	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
20°	65	65	65	15°	62	65	64
25°	40	50	45	20°	45	55	50
30°	30	40	35	25°	35	40	37
35°	25	25	25	30°	25	30	27
40°	15	20	17	35°	20	20	20
				40°	10	20	15
Objekt 6 mm							
20°	65	70	67	15°	75	75	75
25°	50	55	52	20°	60	65	62
30°	35	40	37	25°	40	50	45
35°	20	30	25	30°	25	30	27
40°	15	20	17	35°	20	20	20
				40°	10	20	15

Die entsprechenden Linien sind auf der Tafel III mit den Buchstaben *e*, *f*, *g*, auf der Tafel IV mit *e*, *f* bezeichnet.

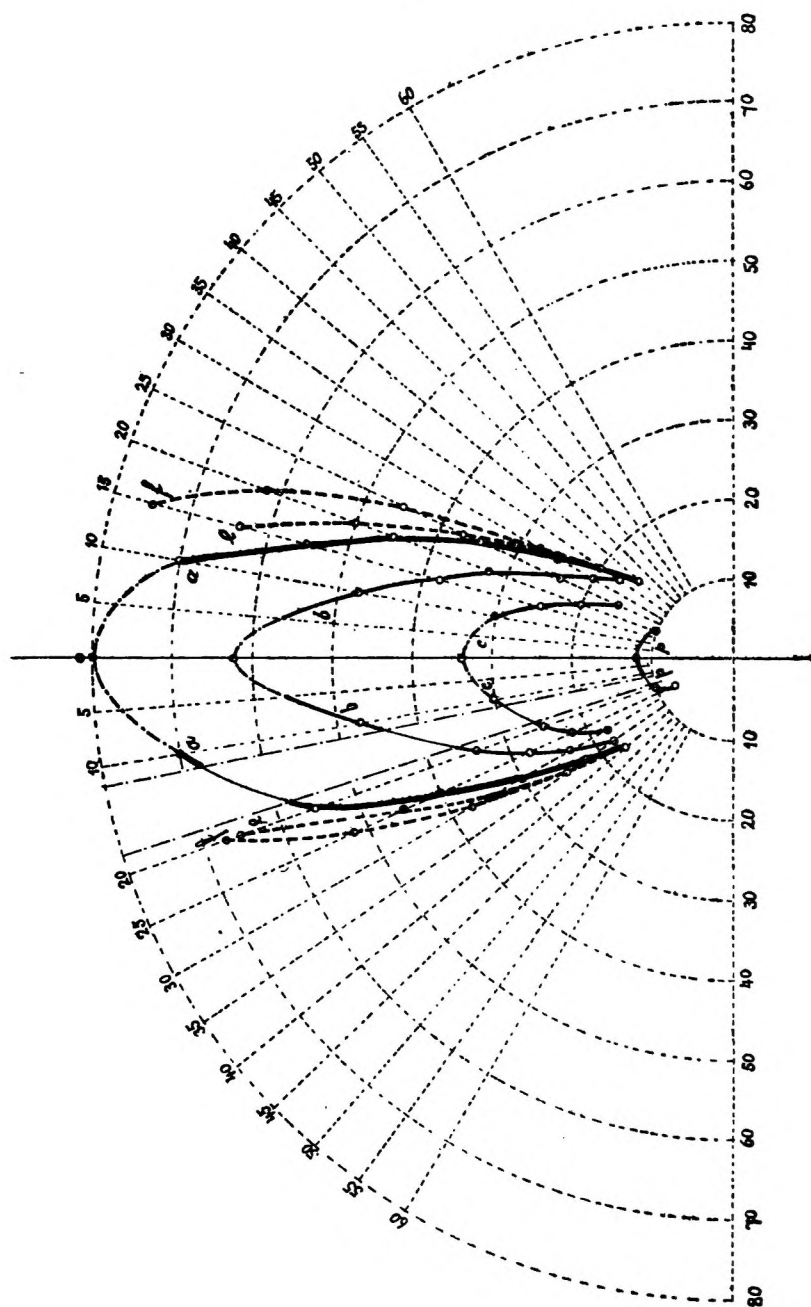
Aus dem Verlaufe dieser Kurven kann man die Wirkung der Myopie sehr leicht ermitteln. Nehmen wir z. B. auf der lateralen Seite der Tafel IV den Punkt (25° 40 cm), in welchem das Objekt von 1,5 mm scharf erkannt wird, und fragen, wie weit könnte man das Objekt von 4 mm Breite vom Auge entfernen, damit es unter demselben Winkel gesehen werde.

Ist der Winkel α im Winkelmaße ausgedrückt, so müssen wir haben

$$\alpha = \frac{1,5 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = \frac{4 \text{ mm}}{(400 + x) \text{ mm}}$$

woraus $x = 666.6 \text{ mm}$

d. h. käme die Myopie nicht in Betracht, so müßte die Entfernung beider Punkte fast 66.7 cm betragen; man findet sie dagegen nur 5 cm groß.



Auch in dem Verlauf der verschiedenen Kurven spiegelt sich die Wirkung der Myopie wieder. Je gröfser der Winkel und mit hin auch die Myopie des Auges, desto weniger entfernen sich die Linien voneinander. An der äufseren Grenze des Gesichtsfeldes verlaufen sie trotz der bedeutenden Unterschiede der Objekte sehr dicht beisammen.

III.

§ 12. Der Versuch mit dem Herrn STEIN zeigte, dafs alle gleichzeitig in verschiedenen Punkten der Grenzlinie des Akkommodationsraumes gestellten Objekte auch gleichzeitig deutlich gesehen werden. Daraus ergibt sich ein Mittel, welches gestattet, für jeden beliebigen Zustand der Linse alle diejenigen Punkte zu finden, deren Bildpunkte auf die Retina fallen.

Man mufs nur alle diejenigen Punkte im Raume aufsuchen, welche bei gegebener Einstellung der Linse am deutlichsten gesehen werden. Es ist aber unmöglich, einen beliebigen Zustand der Linse dauernd zu fixieren. Infolgedessen war es notwendig, den Versuch so auszuführen, dafs man sicher sein könnte, dafs die Linse während der Zeit des Versuchs unbeweglich in dem gewünschten Zustande bleibt.

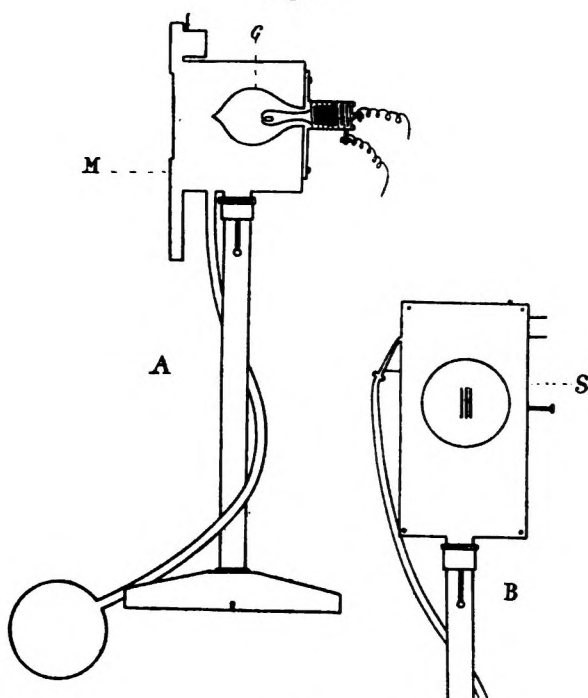
Die dazu führende Überlegung war folgende: Läfst man in vollständig dunklem Raume ein leuchtendes Objekt fixieren, so wird der Akkommodationszustand der Linse durch die Lage des zentral aufgestellten Objektes eindeutig bestimmt. Erscheint dann seitlich ein leuchtendes Objekt auf so kurze Zeit, dafs während derselben die Linse ihren Zustand reflexartig nicht verändern kann, so wird das Objekt nur dann deutlich erkannt, wenn es sich in einer Entfernung befindet, von welcher sein, bei dem durch die Lage des zentralen Fixierzeichens bestimmten Zustande der Linse erzeugtes Bild auf die Retina fällt. Befindet sich das Objekt in anderer Entfernung, so wird es nicht erkannt werden können.

§ 13. Die Ausführung aller Untersuchungen gestaltete sich folgendermafsen:

Als Objekte, mit welchen man die Untersuchung machte, dienten kleine schwarze, auf Stativen befestigte Kasten. Die Vorderseite eines solchen Kastens war mit einer matten Scheibe versehen, auf welcher beliebige schwarze Buchstaben oder Streifen angebracht werden konnten. Im Inneren des Kastens befand

sich eine zur Beleuchtung der Scheibe dienende, kleine, 12 Volt starke Glühlampe. Ein ebensolcher Kasten mit Momentverschluss diente zur Aufstellung an der Peripherie.

Fig. 1.



Das periphere Objekt.
 A ... im Querschnitt
 B ... Vorderansicht
 M ... Momentverschluss
 G ... Glühlampe
 S ... Scheibe.

Die Fig. 1 zeigt die Skizze eines solchen mit Momentverschluss versehenen Kastens.

Die Untersuchung wurde in vollkommen dunklem Zimmer ausgeführt, damit das zentrale Fixierzeichen den Akkommodationszustand der untersuchten Person eindeutig bestimmen könnte und keinerlei störenden Einflüsse besonders seitens der peripher gestellten Objekte die Einstellung der Linse veränderten.

Nachdem man die untersuchte Person aufgefordert hat, das auf matter, durch die Glühlampe beleuchteter Scheibe angebrachte

Zeichen zu fixieren, öffnete man auf sehr kurze Zeit den Momentverschluss, mit welchem eine ebenso beleuchtete, mit drei schwarzen Streifen versehene Scheibe des seitlich aufgestellten Kastens geschlossen war und befragte die untersuchte Person über das Gesehene.

Auf solche Weise suchte man längs der Radien diejenigen Punkte, in welchen die drei Streifen am deutlichsten gesehen werden.

Sorgt man dafür, daß die Expositionszeit des peripher gestellten Objektes genügend klein ist, um jede reflexartig auftretende Änderung der Akkommodation zu vermeiden, so sind hier die Verhältnisse in bezug auf die Genauigkeit der Bestimmung der Lage des Objektes dieselben wie die bereits bei der Untersuchung des atropinisierten Auges besprochenen. Hier und dort haben wir mit festgelegter Krümmung der Linse zu tun. In der früheren Untersuchung geschah diese Festlegung mit Hilfe des Atropins, hier erreichte man dasselbe dadurch, daß das Auge ein gegebenes zentrales Zeichen genau fixierte und alles vermieden wurde, was eine Störung dieser Fixation bewirken könnte.

Man findet daher auch bei den Untersuchungen im Dunklen, daß auf jedem Radius zu beiden Seiten des Punktes des deutlichsten Sehens sich kurze Strecken befinden, wo die seitlich gesehenen Streifen noch erkannt werden. Der Punkt, in welchem die Streifen am deutlichsten wahrgenommen werden, liegt in der Mitte dieser Strecke. In unserer Untersuchung waren für jeden Punkt vier Bestimmungen gemacht; zwei bei der Entfernung und zwei bei der Annäherung des Objektes ans Auge. Es sei noch bemerkt, daß man dafür sorgen muß, daß das zentral stehende Objekt nicht zu dunkel sei im Vergleich mit der momentan exponierten peripheren Scheibe. Ist hierfür gesorgt — ich erreichte es dadurch, daß ich in jedem Kasten dieselbe 12 Volt starke Glühlampe anbringen ließ — so können die Punkte, welche für eine durch das zentrale Objekt bestimmte Krümmung der Linse scharf gesehene Objektpunkte bilden, ermittelt werden.

§ 14. Die Resultate dieser Untersuchungsreihe lauten folgendermaßen:

Vor allem wurden die Linien, welche bei vollständiger Abflachung der Linse zur Retina als Ort der Bildpunkte konjugiert sind, von neuem geprüft. In das zentrale Punctum remotum des

myopischen Auges ist ein Fixationsobjekt gestellt worden. Mit peripher gestellten Objekten suchte man diejenigen Punkte auf, in welchen bei scharfer Fixation des zentralen Zeichens die momentan erscheinenden peripheren Objekte am deutlichsten wahrgenommen werden. Es ergab sich die bereits gefundene Linie von neuem. Dann wurden auf der gefundenen Linie in verschiedenen Punkten, d. h. in dem zentral und in den peripher liegenden, die als Objekte dienenden drei Streifen an beleuchteten Scheiben, gleichzeitig aufgestellt, und alle auch gleichzeitig als „am deutlichsten gesehen“ gefunden.

Dieselbe Untersuchung wiederholte man für einige andere Akkommodationszustände der Linse und fand jedesmal die den verschiedenen Einstellungen der Linse entsprechenden Linien. Immer wurden alle auf einer solchen Linie gleichzeitig aufgestellten Objekte auch gleichzeitig als „am deutlichsten“ gesehen. Selbstverständlich konnten nicht alle Objekte gleich deutlich gesehen werden, denn das „am deutlichsten“ weiter gegen die Peripherie zu steht in bezug auf Deutlichkeit weit hinter dem in der Nähe des Zentrums gelegenen zurück.

Bei dem hypermetropischen Auge war es unmöglich, den Zustand der vollständigen Abflachung der Linse durch die Aufstellung eines zentralen Zeichens zu fixieren. Hier haben wir daher den Akkommodationszustand des Auges durch die periphere Aufstellung eines Objektes auf der für die vollkommene Abflachung der Linse gefundenen Linie fixiert, und sobald dies geschehen war, konnte man feststellen, daß ein anderes beliebig peripher aufgestelltes Objekt nur dann gleichzeitig mit dem ersten gesehen wurde, wenn es sich auf derselben Linie befand.

Über den Verlauf der Linien, welche anderen Akkommodationszuständen des Auges entsprechen, haben wir folgendes gefunden.

1. Versuchsperson Herr K.:

Tabelle VII. Tafel III.

Fixierzeichen (120 cm 0°)

Versuchsreihe I					Versuchsreihe II		
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	5°	60	70	65	60	70	65
	10°	42	54	48	40	56	48
	20°	20	28	24	22	30	24
	25°	13	20	16	13	20	16
	30°	10	15	12	10	15	12
Nasal	5°	55	70	62	55	70	62
	10°	36	60	48	36	60	48
	15°	25	40	37	25	40	37
	20°	20	30	25	20	30	25
	25°	15	20	17	15	20	17

Fixierzeichen (65 cm 0°)

Lateral	10°	30	45	37	30	45	37
	20°	16	22	19	15	23	19
	25°	13	18	15	15	15	15
	30°	11	11	11	10	12	11
Nasal	10°	30	43	36	30	43	36
	15°	20	30	25	20	30	25
	20°	15	20	17	15	20	17

Die entsprechenden Linien sind auf der Tafel III mit den Buchstaben *c*, *d* bezeichnet.

2. Versuchsperson Herr FL.:

Tabelle VIII. Tafel IV.

Fixationspunkt (62 cm 0°)

Versuchsreihe I					Versuchsreihe II		
		von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert	von oben herab- steigend	von unten hinauf- gehend	Mittel- wert
Lateral	10°	45	50	47	45	50	47
	20°	32	35	34	30	37	34
	25°	27	30	28	25	33	28
	30°	22	25	23	22	25	23
	35°	17	20	18	16	20	18
Nasal	10°	45	51	48	46	50	48
	15°	37	40	38	37	40	38
	20°	30	35	32	30	35	32
	25°	22	25	24	20	28	24
	30°	20	20	20	15	25	20
	35°	17	17	17	15	19	17

Fixationspunkt (34 cm 0°)

Lateral	10°	25	35	30	25	35	30
	20°	20	30	25	20	30	25
	25°	20	25	22	20	25	22
	30°	15	22	18	15	20	18
Nasal	10°	25	35	30	25	35	30
	15°	20	30	25	20	30	25
	20°	15	25	20	15	25	20
	25°	15	20	16	15	20	16

Die entsprechenden Kurven sind auf der Tafel IV mit den Buchstaben *b*, *c* bezeichnet.

IV.

§ 15. Bestimmt man die Lage der Punkte in bezug auf das Auge durch seine Entfernung vom Auge und durch den Winkel, welchen der Einfallstrahl mit der Achse des Auges bildet (wir wollen ihn kurz als den Winkel der paraxialen Aufstellung bezeichnen), so lassen sich die Resultate der Untersuchung folgendermaßen zusammenfassen.

1. Die akkommodative Einstellung des Auges auf paraxiale Entfernungen ist eindeutig durch die Lage des Objektes bestimmt, sie ist unabhängig von der Entfernung des Fixierzeichens, das man aufstellt, um die Unbeweglichkeit des Augapfels zu erzielen.
2. Das Auge ist paraxial stark myopisch; die Myopie nimmt mit dem Winkel der paraxialen Aufstellung zu.
3. Die Akkommodationsbreite nimmt mit dem Winkel der paraxialen Aufstellung ab.
4. Man kann für jeden Zustand der Linse in der horizontalen Hauptebene eine Linie (im Raume muß es eine Fläche sein) als Gesamtheit derjenigen Punkte ermitteln, welche mit der Retina als Lage der Bildpunkte konjugiert sind (die Akkommodationslinie). Zwei solcher Linien, deren eine der maximalen Abflachung, die andere der maximalen Krümmung der Linse entspricht, begrenzen den totalen Akkommodationsraum des Auges.
5. Die Grenzen des Akkommodationsraumes hängen von den Beschaffenheiten des Auges ab (vgl. die Räume für das myopische und das hypermetropische Auge auf der Tafel III und IV).
6. Stellt man in verschiedenen Punkten einer Akkommodationslinie axial und paraxial Objekte auf, so werden diese Objekte gleichzeitig am deutlichsten gesehen.

V.

§ 16. Zuletzt wollen wir noch auf die psychologische Bedeutung der gewonnenen Tatsachen hinweisen.

Vor HEINRICH war man gewöhnt, die Aufmerksamkeit als eine rein zentrale Funktion aufzufassen. Die Aufmerksamkeit war es, welche spontan aus dem Dargebotenen das Einzelne in den Blickpunkt des Bewußtseins hinaufhob, das andere, das vorher im Blickpunkte war, zu der dunklen Masse zurücksinken liefs. Indem HEINRICH auf die Inkonsequenzen, welche aus

solcher Betrachtungsweise resultieren, hingewiesen hat,¹ hat er sich auch gleichzeitig zur Aufgabe gestellt, den Mechanismus dieser Erscheinungen zu erforschen. Die Auffindung der paraxialen Akkommodation beim Auge und der Nachweis, daß auch das Trommelfell als ein Akkommodationsapparat des Ohres anzusehen ist,² bilden u. a. zwei grundlegende Tatsachen, welche schon für sich allein gestatten, eine ganze Reihe von Erscheinungen „der Funktion der Aufmerksamkeit“ dem Verständnisse näher zu bringen.

Betrachten wir die Schlußfolgerungen, welche sich aus den gefundenen Akkommodationserscheinungen ergeben. Indem HEINRICH die Akkommodationseinstellung der Linse für paraxial liegende Objekte nachgewiesen hatte, hat er somit den Mechanismus gefunden, der verständlich macht, warum bei beliebiger Aufstellung der Objekte, das deutliche Auftreten des peripher aufgestellten Objektes, das zentral stehende undeutlich erscheinen läßt.

Wir haben eine weitere Konsequenz gezogen. Sie zeigt, daß das ganze Bild „von der Aufmerksamkeit, welche das eine in den Blickpunkt des Bewußtseins hineinbringt, das andere dagegen aus demselben hinausschiebt“ — unhaltbar ist. Gerade auf dem optischen Gebiete, aus welchem diese bildliche Analogie gewonnen wurde, haben wir ein Verfahren eingeschlagen, welches diese Voraussetzung verwirft. In dem dritten Abschnitt unserer Untersuchung haben wir überall die relativ am deutlichste Erkennbarkeit der gleichzeitig zentral und peripher gestellten Objekte konstatiert und aus dieser Tatsache die Methode zur Auffindung der Akkommodationslinien abgeleitet.

Aus der Überlegung, daß die Erscheinungen des deutlichen Sehens der zentral oder peripher aufgestellten Objekte, durch die Akkommodationsfunktion des Auges zu erklären sind, haben wir die weitere Schlußfolgerung gezogen, daß alle in den einer Akkommodationslinie entsprechenden Punkten aufgestellten Objekte „am deutlichsten“ gesehen werden müssen. Das Experiment hat diese Schlußfolgerung bestätigt.

§ 17. Dieses Resultat stellt die bisherigen Untersuchungen „über den Umfang des Bewußtseins“ in ein ganz anderes Licht.

¹ W. HEINRICH: Die moderne physiologische Psychologie in Deutschland. II. Aufl. 1898.

² W. HEINRICH: Sur la fonction de la membrane du tympan. Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie. Juillet 1903.

Hat man früher in Anlehnung an das Bild, das man sich von der Funktion der Aufmerksamkeit konstruiert hat, die Frage untersucht: „wie viel auf einmal in dem Blickpunkte des Bewusstseins sich befinden kann“ — so zeigt unsere Untersuchung, daß man bei optischen Eindrücken auf diese Frage folgendes antworten kann: „Alles, was die Bedingung des „optimum“ der Einwirkung auf die Retina“ erfüllt; d. h. alles, was sich auf einer Akkommodationslinie (resp. einer Akkommodationsfläche) befindet.

Man kann auch die Erklärung dafür finden, warum man bei den Untersuchungen über den „Umfang des Bewusstseins“ diese Tatsache nicht bereits längst gefunden hat. Man bediente sich nämlich immer solcher Objekte, welche sich auf einer Ebene befanden. Von derart aufgestellten Objekten konnten nur diejenigen deutlich gesehen werden, welche auf der Partie der Ebene lagen, wo sich diese an die Akkommodationsfläche anschmiegt. Alles andere, weil außerhalb der Akkommodationsfläche liegend, mußte undeutlich gesehen werden.

Derartige Versuche, weit entfernt über den Umfang des Bewusstseins Aufschluß geben zu können, sind im Anschluß an unsere Untersuchungsmethode doch imstande, über den Verlauf der Akkommodationsfläche um den zentralen Fixationspunkt herum genauer zu orientieren.

Dieser Teil der Akkommodationsfläche ist ja für die Erscheinungen des Sehens die wichtigste und bedarf noch einer weiteren Untersuchung. Deshalb sind auch die zentralen Partien der entsprechenden Kurven auf den Tafeln III und IV punktiert gezeichnet.

(Eingegangen am 24. Juli 1905.)