

# Die Aufmerksamkeit und die Funktion der Sinnesorgane.

(Die mitgeteilten Experimente wurden im physiologischen  
Institute zu Wien ausgeführt.)

Von

W. HEINRICH.

Zweiter Beitrag.

Mit 2 Figuren im Text.

Die Untersuchungen des ersten Beitrages<sup>1</sup> haben die Beziehung festgestellt, welche zwischen der Akkommodation des Auges und der Lage der angeschauten Objekte besteht. Es hat sich gezeigt, daß „die Akkommodation des Auges nicht unabhängig davon ist, ob der zentrale oder periphere Teil des Gesichtsfeldes angeschaut wird, und daß bei der Anschauung der Objekte in den seitlichen Teilen des Gesichtsfeldes die Akkommodation sich ändert, trotzdem der Abstand der angeschauten Objekte derselbe bleibt, wie der der zentral gesehenen“. Unbeantwortet blieb die Frage, ob die Linse für alle Entfernungen des paraxial liegenden Objektes dieselben Krümmungen behält, oder ob sich diese mit der Entfernung des Objektes ändern. Es wurde damals die Vermutung ausgesprochen, daß die genaue Akkommodation des Auges für die paraxialen Objekte wohl ausgeschlossen sein wird, die approximative aber denkbar. Diese Vermutung mußte geprüft werden, denn erst die Bestätigung derselben könnte einen genauen Einblick in die Akkommodationsverhältnisse des Auges gewähren. Die Untersuchungsmethode blieb dieselbe wie bei der ersten Arbeit. Es wurden die Krümmungsverhältnisse der Linse mit der bereits beschriebenen Anord-

---

<sup>1</sup> *Diese Zeitschrift.* Bd. IX. S. 342 u. f.

nung studiert. Die einzige unwesentliche Änderung bestand darin, daß zur Beleuchtung der Fixationsobjekte ausschließlich Gaslicht verwandt wurde, während früher Tageslicht zur Anwendung kam. Die Lampe (ein Auerbrenner) war hinter dem Untersuchten. Die Entfernungen der beiden Spiegel des Woinowschen Apparates von dem untersuchten Auge betrug 185 und 167.5 cm, die Entfernung derselben voneinander 29.5 cm. Das Ophthalmometer wurde unter einem Winkel von  $45^{\circ}$  zur Gesichtslinie gestellt. Das axiale Fixierzeichen war auf einem Stativ verstellbar, ebenso das paraxiale. Es wurden die Änderungen der Linse bei Änderung der Entfernung des axialen, und des paraxialen Fixierzeichens von dem Auge untersucht und jede Messung 16 mal wiederholt. Da die frühere Untersuchung bereits gezeigt hat, daß die Krümmungsänderung der Linse von dem Winkel abhängig ist, welchen das paraxial liegende Objekt mit der Gesichtslinie bildet, so wurde jetzt dieser Winkel konstant  $45^{\circ}$  gehalten. Wie bereits hervorgehoben, war unter diesem Winkel die Abflachung der Linse annähernd am größten. — Die Untersuchungen wurden an den Herren cand. med. DOMÉNY und Dr. med. J. URBACH ausgeführt. Ich benütze diese Gelegenheit, um diesen Herren für ihre Bereitwilligkeit bestens zu danken.

Die unter solchen Bedingungen erhaltenen Resultate fassen wir in die zwei folgenden Tabellen zusammen. Wir geben die Zahlen derselben in Winkelgraden, die am Ophthalmometer abgelesen wurden, als Maß für den jeweiligen Krümmungsradius. Die Größen der Krümmungsradien ändern sich in demselben Sinne wie die Winkelgrade der Ablesung und mithin erfährt das Verhalten keine wesentliche Änderung. Um dieses allein und nicht um die absoluten Zahlen kann es sich handeln.

Tabelle I.

Herr D. (Refr. 3,5 D. M.)  
(Jede Zahl Mittel aus 16 Messungen.)

Entfernung des Fixierzeichens.	$S_0$	$S_{15}$	$S_{20}$	$S_{25}$
$C_{15}$	11.62	13.37	14.00	15.14
$C_{25}$	15.80	14.90	15.44	16.05

Tabelle II.

Hr. Dr. U. (Refr.: Schwach Hyp.)  
(Jede Zahl Mittel 16 aus Messungen.)

Entfernung des Fixierzeichens.	$S_0$	$S_{25}$	$S_{35}$	$S_{45}$
$C_{25}$	12.62	14.82	15.94	17.41
$C_{35}$	16.36	16.96	17.52	18.41
$C_{45}$	17.58	19.14	19.21	19.70

Die Tabellen sind so zusammengestellt, daß die Zeichen  $S_{25}$ ,  $S_{35}$  etc. die Entfernung des paraxial aufgestellten Objektes in 25, 35 cm etc., die Zeichen  $C_{25}$ ,  $C_{35}$  etc. die Entfernungen des axial liegenden Fixierzeichens in 25, 35 cm etc. bedeuten. Es bedeutet z. B. die Zahl 12.62, daß die Krümmung gemessen wurde bei 25 cm Entfernung des axialen Fixierzeichens, und bei zentraler Fixation — peripher war kein Objekt vorhanden. Die Zahl 14.82 bedeutet, daß das paraxial aufgestellte Objekt in 25 cm Entfernung sich befand, während das zentrale Fixierzeichen auch in 25 cm war. Analog bei anderen Zahlen. Die horizontalen Reihen geben die Änderungen der Krümmungen bei konstanter Entfernung des Fixierzeichens und einer variablen Entfernung des paraxialen Objektes, die vertikalen dagegen bei der konstanten Lage des paraxialen Objektes und variabler Änderung des axialen Fixierzeichens.

Das Ergebnis dieser Untersuchung lautet dahin, daß das Auge für die Entfernungen der peripher liegenden Objekte ähnlich wie für die zentralen Entfernungen akkommodiert. Der Grad der paraxialen Akkommodation ist jedoch nicht unabhängig von der Entfernung des zentralen Fixierzeichens. Ist das Fixierzeichen, welches die Richtung bestimmt, in einer konstanten Entfernung, so ändert sich die Krümmung der Linse, wenn ein peripheres Objekt betrachtet wird, mit der Entfernung des Objektes. Die Krümmung der Linse bleibt aber auch für eine konstante Entfernung des paraxialen Objektes nicht konstant, wenn das zentrale Fixierzeichen seine Entfernung ändert. Die Einstellung für eine paraxiale Entfernung war daher von dieser und von der Entfernung des zentralen Fixierzeichens abhängig.



Die Resultate der früheren Untersuchung<sup>1</sup> haben zwar eine konstante Zuordnung der Abflachung der Linse zu dem Winkel, unter welchem das Objekt sich befand, konstatiert. Es konnte jedoch noch fraglich bleiben, ob diese Abflachung der Linse für die Einwirkung der periphereren Strahlen von Bedeutung war; die jetzt angegebenen Resultate müssen diese Frage aufser Zweifel lassen, sie beweisen das Vorhandensein einer Akkommodation für die paraxialen Entfernungen, wenn auch die Akkommodation keine genaue, sondern eine approximative ist.<sup>2</sup> Die Wirkung dieser Akkommodation näher zu untersuchen, ist daher die nächste Aufgabe.

Der Gang der peripher einfallenden Lichtstrahlen hat, seitdem HERMANN die Frage von neuem aufgeworfen, so vielseitige Bearbeitung erfahren, daß man über Daten verfügt, die für eine physiologische Untersuchung vollkommen genügen. — Das Strahlenbündel, das von einem Punkte ausgeht und schief auf eine Linse fällt, bildet nach der Brechung ein astigmatisches Strahlensystem mit zwei Brennlinien. Zieht man nun ein unendlich dünnes Strahlenbündel in Betracht und berücksichtigt nur Strahlen, die durch das optische Zentrum der Linse gehen, so steht die erste Brennlinie senkrecht zur Einfallsebene, die zweite liegt in derselben und ist, wenn man die erste Annäherung in Betracht zieht, senkrecht zum Leitstrahl (STURM, NEUMANN, CZAPSKI). Geht man über die erste Annäherung hinaus, so ist die zweite Brennlinie, wie MATTHIESSEN nachgewiesen hat, schief zum Leitstrahl gestellt. Es wird für unsere Zwecke genügen, wenn wir nur die erste Annäherung in Betracht ziehen.

Die Größen der Brennweiten sind nach HERMANN unter diesen Bedingungen:

$$f_1 = \frac{r_2 \cos^2 \varphi_1 \left[ n r_1 \cos^2 \varphi_2 - \delta \left( \xi - \frac{r_1}{e} \cos^2 \varphi_1 \right) \right]}{n (r_1 + r_2) \xi \cos^2 \varphi_2 - \delta \xi^2 - \frac{r_1}{e} \cos^2 \varphi_1 (n r_2 \cos^2 \varphi_2 - \delta \xi)}$$

<sup>1</sup> Citierte Abhandlung S. 360.

<sup>2</sup> Ich möchte nicht unerwähnt lassen, daß die untersuchten Herren keine besondere Übung im seitlichen Sehen gehabt haben, es kann daher vermutet werden, daß bei längerer Übung die paraxiale Akkommodation an Genauigkeit zunimmt und daß sie dann nur von der Entfernung des seitlichen Objektes abhängig wird.



$$f_2 = \frac{r_2 \left[ n r_1 - \delta \left( \xi - \frac{r_1}{e} \right) \right]}{n (r_1 + r_2) \xi - \delta \xi^2 - \frac{r_1}{e} (n r_2 - \delta \xi)};$$

es bedeuten dabei:

$r_1, r_2$  — die beiden Krümmungsradien der Linse;

$\delta$  — die Dicke derselben;

$\varphi_1$  — den Einfallswinkel der Strahlen;

$\varphi_2$  — den Brechungswinkel;

$n = \frac{n_2}{n_1}$ , wo  $n_2$  den Brechungsexponent der Linse,

$n_1$  des Mediums, in welchem sich die Linse befindet, bedeuten

$$\xi = n \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 = \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} - \cos \varphi_1$$

$e$  — die Entfernung des Lichtpunktes von der Linse auf dem einfallenden Leitstrahl gemessen.

HERMANN, an dessen Ausführungen die weiteren Erörterungen anderer Beobachter angeknüpft haben, hat zuerst diejenigen Momente in Erwägung gezogen, welche für die Einwirkung der schief einfallenden Strahlen begünstigend oder nachteilig sein können. Bei diesen Betrachtungen ist er jedoch, wie wir bereits hervorgehoben haben, von Erwägungen ausgegangen, die nicht zum Ziele führen können. HERMANN untersuchte anfangs die Brennweite, also die Gröfse  $f_2 - f_1$  und nahm an, dafs diejenigen Momente, welche die Gröfse  $f_2 - f_1$  verkleinern, als günstig für die Einwirkung des Lichtes auf die Retina zu bezeichnen sind, diejenigen, welche diesen Ausdruck vergrößern, ungünstig sind. In einer weiteren Abhandlung ändert er die untersuchte Gröfse. „Die Güte eines astigmatischen Bildes“, sagt er, „ist um so größer, je kleiner der gegenseitige Abstand beider Brennlinien, d. h. die Entfernung  $f_2 - f_1$ . Indes muß man, um vergleichbare Werte zu erhalten, auch die Gröfse des Bildes berücksichtigen, ähnlich wie bei gewöhnlichen Zerstreuungsbildern. Gleich große Zerstreuungskreise wirken um so störender, je kleiner das Bild ist. Berücksichtigt man dies, so ergibt sich, dafs man ein wirklich zuverlässiges Maß der Bildgüte erst erhält, wenn man den Wert  $\frac{f_2 - f_1}{f_2}$  aufstellt, dessen Nenner der Gröfse des Bildes proportional ist.“

Es wird wohl nicht unrichtig vermutet, wenn wir an-

nehmen, daß bei der Betrachtung der Bildgüte der optische Gesichtspunkt für HERMANN maßgebend war.

Je mehr das Bild eines Punktes sich von der Form eines Punktes entfernt, d. h. je mehr die Brennlinien voneinander entfernt liegen, desto schlechter ist das Bild — so kann die Betrachtung lauten, durch welche man zur Betrachtung der Größe  $f_2 - f_1$  als Maß der Bildgüte kommen kann. In weiterem hat HERMANN auch die Bildgröße in Betracht ziehen wollen, und wir wissen nicht, durch welche Erwägung er diese als der Größe  $f_2$  umgekehrt proportional der Thatsache nicht entsprechend gefunden hat. Der optische Gesichtspunkt kann aber mit dem physiologischen nicht verwechselt werden. Nicht die Entfernung der Bildpunkte, sondern die Bedingungen, unter welchen die Lichtstrahlen auf die Netzhaut einwirken, müssen in Betracht gezogen werden. Von Bedeutung ist daher vor allem, ob sich das Strahlenbündel mit der Retina in einer der Brennlinien, oder ob es sich in einer Zerstreuungsellipse oder einem Zerstreuungskreise schneidet. Es ist weiter die Größe der Brennlinie oder der Zerstreuungsellipse, welche in Betracht gezogen werden muß; nicht aber die etwaige Größe der Brennweite. Gesetzt den theoretischen Fall z. B., daß eine der Brennlinien zu einem Punkt wird und der Punkt auf die Retina zu liegen kommt, so haben wir dieselben günstigsten Bedingungen der Zahlen, wie bei dem zentral auffallenden Lichte, gleichgültig, wie weit die zweite Brennlinie vor oder hinter der Retina liegt, gleichgültig, ob die Brennweite groß oder klein ist. Um daher die Bedingungen der Strahlenwirkung bei schiefer Incidenz zu untersuchen, müssen wir fragen:

1. Nach der Lage der Brennlinien in Bezug auf die Retina.

2. Nach der Größe der Brennlinien.

3. Nach der Größe der Winkel, welche die Strahlen, die sich in den Brennlinien kreuzen, einschließen. Diese Winkel sind für die Größen der Zerstreuungsellipsen maßgebend.

I. Von Berechnungen, welche über die Lage der beiden Brennlinien angestellt wurden, sind diejenigen von W. RASMUS und A. WAUER am genauesten und sorgfältigsten. Wir geben hier die Hauptresultate der Berechnungen, verweisend in Bezug auf die Details auf die Originalabhandlung. Die Berechnungen geben die Lage der beiden Brennlinien von Strahlen an, die in gewöhnlicher Weise durch die Cornea und Linse

gebrochen wurden. Im Falle *A* ist die Entfernung des Objektes in Unendlichkeit und der Krümmungsradius der Linse der Akkommodationsruhe entsprechend angenommen. In dem Falle *B* ist dasselbe für den Nahepunkt berechnet. Die Entfernungen der Brennpunkte wurden bei einer Einstellung der Linse auf den zentralen Punkt bestimmt. Die Linse war als homogen angenommen. Es bedeuten  $f_1$  und  $f_2$  die Entfernungen beider Brennpunkte von der Linse auf dem Leitstrahl gemessen,  $R$  die Entfernung der Retina. Dem entsprechend sind die Größen  $(R - f_1)$  und  $(f_2 - R)$  bestimmt.  $\varphi$  ist der Einfallswinkel.

Tabelle III.

Auge *A*.

$\varphi$	$f_1$	$R$	$f_2$	$R - f_1$	$f_2 - R$
0°	15.547	15.547	15.547	0.	0.
10°	15.393	15.401	15.466	0.007	0.066
20°	14.919	15.223	15.229	0.301	0.279
30°	14.123	14.700	14.824	0.677	0.324
40°	13.010	13.851	14.248	0.840	0.398
50°	11.600	12.790	13.518	1.190	0.725
60°	9.953	15.292	12.622	1.337	1.332
70°	8.185	9.800	11.598	1.615	1.798
80°	6.491	7.670	10.459	1.179	2.789
90°	4.967	4.691	9.280	-0.227	4.590

Tabelle IV.

Auge *B*.

$\varphi$	$f_1$	$R$	$f_2$	$R - f_1$	$f_2 - R$
0°	15.547	15.547	15.547	0.	0.
10°	13.367	15.400	15.464	0.033	0.064
20°	14.813	15.120	15.234	0.305	0.114
30°	13.937	14.600	14.833	0.663	0.235
40°	12.775	13.740	14.300	0.965	0.160
50°	11.401	12.560	13.639	1.159	1.079
60°	9.914	10.960	12.857	1.046	1.897
70°	8.476	9.360	12.008	0.884	2.648
80°	7.207	6.600	11.119	-0.607	4.519
90°	6.220	4.260	10.406	-1.960	5.946



Diese Berechnungen geben daher das Resultat, „dafs der geometrische Ort der senkrecht zur Ebene der einfallenden Strahlen gelegenen Brennnlinie für beide Augen innerhalb des Glaskörpers liegt, deren Entfernung von der Retina, wenn man nur die Strahlen bis  $70^\circ$  berücksichtigt, in Minimum 0 mm, in Maximum 1.6 für das Auge *A*, und 1.2 mm für das Auge *B* beträgt. Die zweite Brennnlinie bildet eine Kurve aufserhalb der Netzhaut“.<sup>1</sup>

Die Berechnungen von RASMUS und WAUER wurden für eine homogene Linse angestellt. Über die Änderungen, welche durch die Schichtung der Linse bedingt werden, belehrt die experimentelle Untersuchung von PESCHEL. Wir entnehmen auch dieser einzelne Daten, die wir auf der Tabelle V zusammenstellen. Es stehen nebeneinander berechnete und gemessene Entfernungen der Brennnlinien.

Tabelle V.

	$\varphi$	$f_1$ gefunden	$f_1$ berechnet	$f_2$ gefunden	$f_2$ berechnet
1. Rindslinse.	$40^\circ$	5.7	5.6301	6.6	7.3335
	$50^\circ$	4.4	4.3092	6.0	6.7394
	$60^\circ$	2.9	2.8185	5.1	5.9488
	$70^\circ$	1.6	1.3878	4.4	4.9672
2. Rindslinse.	$40^\circ$	7.5	7.8217	8.5	9.3536
	$50^\circ$	6.1	6.1354	7.6	8.4452
	$60^\circ$	4.9	4.6222	7.0	6.6793
	$70^\circ$	3.4	3.1074	6.0	6.7710
1. Kalbslinse.	$40^\circ$	6.6	6.3655	7.2	7.5901
	$50^\circ$	5.2	5.2499	6.2	7.0907
	$60^\circ$	4.2	3.1897	5.3	6.0285
	$70^\circ$	3.3	2.6748	5.0	5.8388
2. Kalbslinse	$40^\circ$	5.7	5.8813	6.4	7.0969
	$50^\circ$	5.0	4.9872	5.9	6.7313
	$60^\circ$	3.5	3.9816	5.2	6.3064
	$70^\circ$	3.1	2.8049	5.0	5.6696
Menschliche Linse bei $70^\circ$		3.3	2.9787	4.8	5.4298

<sup>1</sup> Zu ähnlichen Resultaten ist auch MATTHIESSEN auf Grund eigener Berechnungen gekommen. Abweichend von den rechnerischen Resultaten

Es wird durch die Schichtung der Linse die erste Brennlinie wenig, beinahe gar nicht in ihrer Entfernung verändert, die zweite näher gerückt.

Diese Wirkung, welche bei den Zahlen auf den Tabellen III und IV das Zurücktreten der zweiten Brennlinie vor die Netzhaut haben könnte, wird diese Verhältnisse insofern nicht ändern, als die Krümmungsradien größer genommen werden müssen, wie es diejenigen sind, welche RASMUS und WAUER ihren Untersuchungen zu Grunde gelegt haben.<sup>1</sup> Die Vergrößerung der Krümmungsradien würde die Brennweiten und Brennweiten strecken größer machen, als sie gefunden waren, die Schichtung der Linse die rechnerischen Angaben aber derart verändern, wie es das Ergebnis der Tabellen III und IV im allgemeinen fordert.

Kommen wir jetzt auf die Ergebnisse unserer Untersuchungen zurück, so zeigten dieselben, daß die Linse bei Einstellung auf das paraxiale Objekt immer flacher war,

sind diejenigen von SCHOEN und PARENT, welche mit Hilfe der Skiaskopie gefunden wurden. PARENT bestimmte bei einem Falle von Emmetropie den Grad der astigmatischen Brechung, welche schräg auffallende Strahlen erleiden. Er hat gefunden

seitlich bei	Das Auge im vert. Merid.	Das Auge im horiz. Merid.
20°	E	0.75 M.
30°	E	1.75 M.
45°	0.75 M.	2.75 M.

(Die Zahlen sind in D. ausgedrückt.) Es kann aber diesen Resultaten keine absolute Gültigkeit zugeschrieben werden, da für die schräg auf die menschliche Linse einfallenden Strahlen das Gesetz der Reziprozität sich nicht in der Form anwenden läßt, wie bei zentral einfallenden Strahlen. Es ist z. B. nicht ohne Einfluß auf die Lage der Brennlinien, ob die Strahlen zuerst auf die stärker oder schwächer gekrümmte Fläche der Linse fallen (HERMANN).

<sup>1</sup> Hier möchten wir bemerken, daß die Zahl 19 mm, die wir für den vorderen Krümmungsradius des Herrn J. U. gefunden haben (erste Abhandlung), nach unseren weiteren Erfahrungen von den Zahlen, die für normale Augen gelten, weit abweicht. Dabei muß die Linsensubstanz des Herrn U. einen sehr hohen Brechungsexponenten haben (vgl. die Mitteilung in *Gräfes Arch.*, dieser Jahrgang), wie es an der Stärke des Linsenbildes leicht zu beobachten war, wodurch erklärt wird, warum das Auge des Herrn U. nur schwach hypermetropisch ist.

als bei der Einstellung auf das in derselben Entfernung zentral liegende Objekt. Fallen die Brennpunkte bei der zentralen Akkommodation (wenn wir uns dieses Ausdruckes der Kürze halber bedienen wollen), die erste innerhalb, die zweite außerhalb der Retina, so werden sie durch die Abflachung der Linse weiter hinausgeschoben, wodurch die erste Brennpunktlinie der Retina angenähert wird. Daraus resultiert, daß das Auge paraxial auf die erste zur Einfallebene senkrechte Brennpunktlinie akkommodiert.<sup>1</sup> Das macht auch die Beobachtung erklärlich, nach welcher die Abflachung der Linse bei der paraxialen Akkommodation auf eine bestimmte Entfernung anfangs mit dem Winkel, unter welchem das Licht einfällt, zunimmt und dann von einer bestimmten Grenze an abnimmt. Vergleichen wir die Entfernungen, in welchen sich die erste Brennpunktlinie befindet, so sehen wir auch, daß in beiden Fällen (Tabelle III und IV) auch diese Entfernung anfangs zunimmt und dann kleiner wird. Man sieht auch, daß die Resultate der Berechnung und die Resultate unserer Beobachtungen ziemlich gut zusammen stimmen. Die maximale Größe für  $(R - f_1)$  liegt nach der Rechnung für das Auge *A* bei  $70^\circ$ , für das Auge *B* bei  $50^\circ$ , wir haben die maximale Abflachung der Linse bei  $50^\circ$  und  $40^\circ$  gefunden.

Wie neu auch die Thatsache sein mag, daß das Auge ebenso für die Peripherie wie auch für das Zentrum akkommodiert, so findet man doch in der Litteratur Beobachtungen angegeben, die auf die Erscheinung hindeuten und erst mit Hilfe dieser ganz verständlich werden. Die älteste Beobachtung, welche hier in Betracht kommen kann, ist von AUBERT gemacht worden. AUBERT, der die Empfindlichkeit der Peripherie der Netzhaut untersuchte, machte die Beobachtung, daß „bei konstantem Gesichtswinkel der Zahlen kleine nahe Zahlen auf

---

<sup>1</sup> SCHOEN untersuchte beide Brennpunktlinien mikroskopisch und beschreibt die gesehene Form beider folgendermaßen: „Die erste Brennpunktlinie besteht aus einer hellen, nach unten scharf begrenzten Linie. Nach oben schließt sich an dieselbe noch ein schmaler, rasch an Intensität verlierender Saum an.“ „Die zweite Brennpunktlinie besteht aus einem Bündel heller Lichtlinien, die nach unten sich ein wenig ausfasern, umgeben von vielen schwächeren Streifen.“ In der ersten Brennpunktlinie ist die Konzentration der Strahlen viel größer, als in der zweiten, auch ist diese nach SCHOEN immer kleiner. (Vergleiche unten.)



einem größeren Teile der Netzhaut erkannt werden, als große ferne Zahlen“. Die weitere Untersuchung dieses Verhaltens, welches für AUBERT unerklärbar blieb, zeigte ihm, daß auch die Annäherung der großen Zahlen den Raumwinkel, d. h. den Winkel zur Gesichtslinie, unter welchem das Objekt unterscheidbar ist, vergrößerte. Einige in der folgenden Tabelle VI zusammengestellte Daten geben Aufschluß über die Untersuchungsergebnisse von AUBERT.

Tabelle VI.

Bei einer Entfernung von	Werden noch unter folgenden Winkeln distinkt gesehen		
	zwei Quadrate von 20 mm Seitenlänge und Distanz	zwei Quadrate von 8 mm Seitenlänge und Distanz	zwei Quadrate von 4 mm Seitenlänge und Distanz
1000 mm	46°	22°	13° 30'
800 „	49°	35°	16°
600 „	58°	45°	27°
400 „	76°	57°	43°
200 „	100°	82°	67°

Erst auf Grund der von uns gefundenen Daten sind die Ergebnisse, zu welchen AUBERT gelangte, vollkommen klar. Wir haben gefunden, daß die Akkommodation des Auges auf die peripheren Objekte sich darin von der Akkommodation auf die zentralen Objekte unterscheidet, daß die Linse für dieselbe Entfernung flacher wird. Es muß daher die Akkommodationsbreite für die Peripherie geringer sein, weiter aber auch die Erkennbarkeit desto geringer, je größer der Winkel ist, unter welchem das Objekt sich befindet.<sup>1</sup> Wir sehen auch auf der Tabelle II, daß in der

<sup>1</sup> Dieses Ergebnis ist auch längst bekannt. So hat MATTHIESSEN den Fernpunkt für verschiedene Winkel, unter welchen das indirekt gesehene Objekt sich befand, untersucht und dabei gefunden, daß „die Maximaldistanz distinkt gesehener Punkte, welche in horizontalem Meridian gesehen sind, bei einer Incidenz von 90° lateralwärts, also am Rande des Gesichtsfeldes, beispielsweise für Emmetropen ca. 5 cm, für einen Myopen ca. 2.5 cm ist. Es folgt hieraus, daß für eine äußerst schiefe Incidenz der von einem Objekte ausgehenden Lichtstrahlen in das Auge, dieses als excessiv myopisch zu betrachten ist“. Für das eine Augenpaar war das Sehfeld zwischen 45°–90° nahezu von

letzten Reihe, die nicht über die Entfernung von 45 cm hinausgeht, die Linse schon in dem Zustande der kleinsten Krümmung sich befindet. Berücksichtigt man dies alles, so ist vor allem klar, warum die kleineren Ziffern in kleinerer Entfernung viel weiter in der Peripherie erkannt werden können, als die größeren Ziffern in der größeren Entfernung. Das Auge konnte auf die kleinen Ziffern noch akkommodieren, die größeren befanden sich außerhalb der Akkommodationsbreite. Die Bedeutung der Größe der Objekte bleibt dabei natürlich in voller Gültigkeit. Diese Bedeutung offenbart sich in dem Umstande, daß bei derselben Entfernung der großen und kleinen Objekte die großen viel weiter distinkt gesehen werden können, als die kleinen. Die horizontalen Reihen der Tabelle VI geben diesbezügliche Zahlen.

II. Die zweite nächstliegende Frage, die in Betracht gezogen werden muß, ist die nach der Größe der Brennlinien. Von dieser hängt in erster Linie die Deutlichkeit des Eindruckes ab, in weiterem auch die Stärke desselben.

Es sei  $MB_1$  (Fig. 1) der Leitstrahl eines unendlich dünnen Strahlenbündels,  $MA_1$  ein benachbarter Strahl in der Einfallsebene, so gehen die beiden Strahlen nach der Brechung in der Richtung  $B_2N_2$  und  $A_2M_2$ . Die erste Brennlinie  $M_1N_1$  steht senkrecht zu der Einfallsebene, die zweite ist  $M_2N_2$

ist  $\sphericalangle A_2M_1B_2 = d\vartheta$   $A_2B_2 = ds_2$   $A_1B_1 = ds_1$  und  $M_2N_2 = da_2$ ,

$$\text{so ist } da_2 = (f_2 - f_1) d\vartheta,$$

$$d\vartheta = \frac{B_2C_2}{f_1}$$

$$\text{im } \triangle A_2C_2B_2 \text{ ist } \sphericalangle C_2B_2A_2 = \varphi_1$$

$$B_2C_2 = ds_2 \cos \varphi_1;$$

---

einer Ellipse begrenzt. Analoge Resultate wie AUBERT hat auch PESCHEL gefunden. — Auch eine andere von PESCHEL und sehr eingehend von BUTZ untersuchte Beobachtung findet jetzt ihre natürliche Erklärung. Beide haben nämlich gefunden, daß die Grenzen distinkter Wahrnehmbarkeit für parallele Linien sich ändern, je nachdem man diesen eine horizontale oder vertikale Stellung giebt. Bei horizontaler Stellung der Linien (und für horizontalen Meridian) werden diese Grenzen ausgedehnter, bei vertikaler enger. Die Erklärung ergibt sich von selbst, wenn man berücksichtigt, daß in diesen Fällen auch die erste Brennlinie horizontal liegt.

da aber  $ds_1 : ds_2 = r_1 : r_2$  und  $ds_2 = \frac{r_2 ds_1}{r_1}$ ,

$$\text{so ist } da_2 = \frac{(f_2 - f_1) \cos \varphi_1}{f_1} \cdot \frac{r_2}{r_1} ds_1.$$

Die Lage der ersten Brennlinie erhalten wir, wenn wir den unendlich nahen Strahl in Betracht ziehen, der in einer senkrechten Ebene zu der Ebene  $A_1 M B_1$  liegt. Nach der

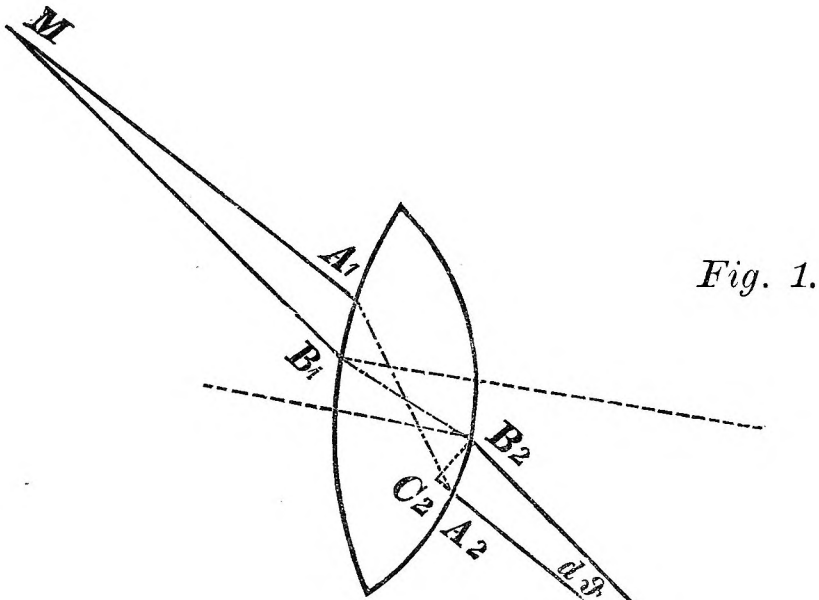


Fig. 1.

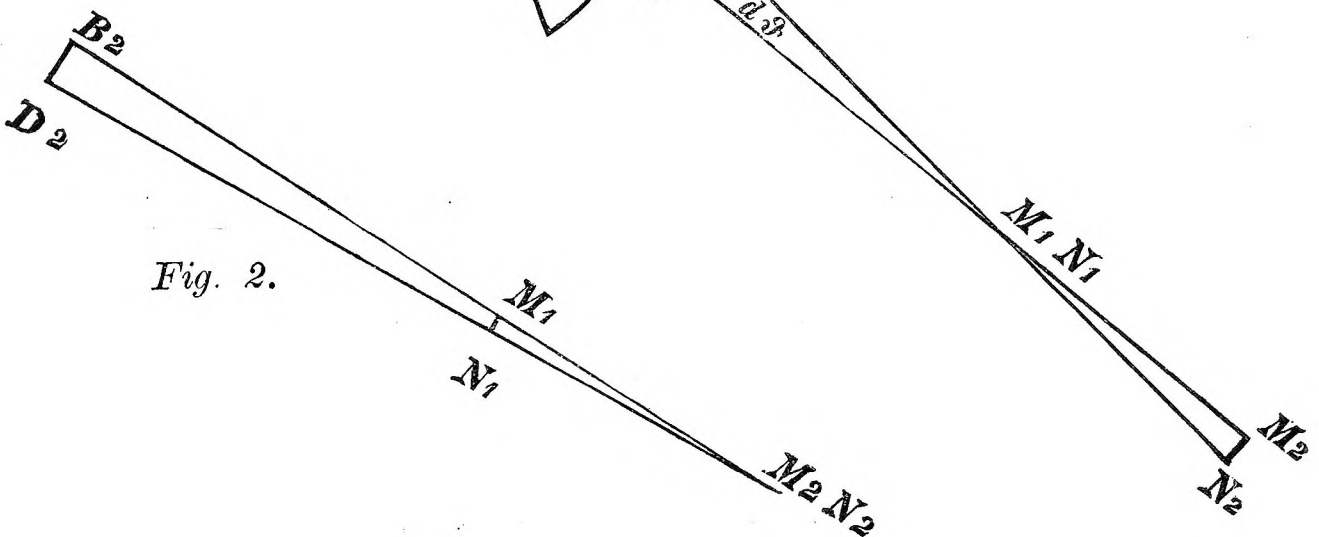


Fig. 2.

Brechung liegt der Strahl in einer Ebene senkrecht zu der Ebene  $A_2 M_2 N_2 B_2$  und durch  $M_2$  hindurchgehend. In dieser Ebene ist (Fig. 2)  $B_2 D_2$  ein Bogenelement der Linse, welches senkrecht steht auf dem Leitstrahl;  $M_1 N_1$  die erste und  $M_2 N_2$  die zweite Brennlinie. Ist ferner  $B_2 D_2 = d\sigma_2$ ,

so ist

$$M_1 N_1 = da_1 = \frac{f_2 - f_1}{f_2} d\sigma_2,$$

und da  $d\sigma_2 = \frac{r_2}{r_1} d\sigma_1$ , wo  $d\sigma_1$  ein Bogenelement auf der ersten



Linsenfläche bedeutet, so ist

$$da_1 = \frac{f_2 - f_1}{f_2} \frac{r_2}{r_1} d\sigma_1.$$

Die erste Brennlinie ändert sich dem Ausdrücke  $\frac{f_2 - f_1}{f_2}$  proportional; die zweite dem Ausdrücke  $\frac{f_2 - f_1}{f_1} \cos \varphi_1$ . Es ist daher, wie bereits hervorgehoben, von HERMANN unrichtig angenommen worden, daß die Bildgröße dem Werte  $\frac{1}{f_2}$  proportional ist. Die Untersuchung des Wertes  $\frac{f_2 - f_1}{f_2}$  in seiner Abhängigkeit vom Winkel  $\varphi_1$  hat bereits HERMANN für diejenigen Werte von  $\varphi_1$ , wo die vierte Potenz vom Sinus vernachlässigt worden ist, angegeben und gefunden, daß

$$\frac{f_2 - f_1}{f_2} = A \sin^2 \varphi_1, \text{ wo } A \text{ ein konstanter Faktor ist.}$$

Die erste Brennlinie wächst daher mit dem Einfallswinkel im Verhältnisse des Quadrates des Sinus.

Für die zweite Brennlinie findet man bei derselben Annäherung

$$da_2 = \frac{\frac{A}{2} \sin 2\varphi_1 \sin \varphi_1 r_2 ds_1}{(1 - A \sin^2 \varphi_1) r_1}$$

diese wächst daher dem Werte von  $\frac{\frac{A}{2} \sin 2\varphi_1 \sin \varphi_1}{1 - A \sin^2 \varphi_1}$  proportional.

Das Verhältniß der beiden Brennlinien endlich ist

$$\frac{da_2}{da_1} = \frac{\cos \varphi_1 ds_1}{1 - A \sin^2 \varphi_1 d\sigma_1}.$$

Experimentell hat SCHOEN die Abhängigkeit der Größe der Brennlinien von dem Einfallswinkel untersucht und gefunden:

Die Längen der Brennnlinien in mm.		
Einfallswinkel:	I. Brennnlinie:	II. Brennnlinie:
20° 8'	0.044	0.046
46° 30'	0.19	0.22
70°	0.45	0.65,

es ist daher nach dieser Bestimmung  $\frac{da_2}{da_1} > 1$ .

Die Vergrößerung der Bildlinien bedingt die Vergrößerung der Undeutlichkeit des Bildes, welches durch das astigmatiscbe Strahlenbündel entworfen wird, es muß auch infolge dieses Umstandes die Deutlichkeit des Bildes gegen die Peripherie hin kleiner werden. Da von der Deutlichkeit des Bildes die Erkennbarkeit desselben in erster Linie abhängig ist, so werden die Buchstaben von konstanter Gröfse gegen die Peripherie hin näher gerückt werden müssen, wenn sie erkannt werden sollen. Dies bestätigen auch die Untersuchungen von MATTHIESSEN. Die Entfernung, in welcher die Objekte erkennbar waren, nahm, wie bereits hervorgehoben, immer ab, weil auch die Akkommodationsbreite für die Peripherie anfangs abnimmt und vor dem Winkel etwa 50° zunimmt, wie unsere Untersuchung gezeigt hat.

Um die Veränderungen der Gröfse der Brennnlinien von den Änderungen der Krümmungsradien zu untersuchen, setzen wir  $r_2 = kr_1$  und  $\delta = \frac{\lambda}{r_1}$ , was mit ziemlich grofser Annäherung möglich ist, da  $r_2$  mit  $r_1$  gleichzeitig wächst und  $\delta$  mit wachsendem  $r_1$  sich gleichzeitig verkleinert. Dann ist der Ausdruck für die Gröfse der ersten Brennnlinie von  $\frac{f_2 - f_1}{f_2} = 1 - \frac{f_1}{f_2}$  abhängig, wobei

$$f_1 = \frac{r_1 \left( kn \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2 r_1^2 + \frac{k\lambda}{e} \cos^4 \varphi_1 r_1 - k\lambda \xi \cos^2 \varphi_1 \right)}{-\frac{n}{e} k \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2 r_1^3 + n(1+k) \xi \cos^2 \varphi_2 r_1^2 + \frac{\lambda}{e} \xi \cos^2 \varphi_1 r_1 - \lambda \xi^2}$$

$$f_2 = \frac{r_1 \left( nkr_1^2 + \frac{k\lambda}{e} r_1 - k\lambda \xi \right)}{-\frac{n}{e} kr_1^3 + n(1+k) \xi r_1^2 + \frac{\lambda}{e} \xi r_1 - \lambda \xi^2}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \left[ -\frac{k^2 n^2}{e} \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2 r_1^5 + kn \left\{ (1+k) n \xi \cos^2 \varphi_2 - \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{k}{e^2} \lambda \cos^2 \varphi_1 \} \cos^2 \varphi_1 r_1^4 + kn \lambda \xi \left\{ \frac{1+k}{e} \cos^2 \varphi_1 + \right. \\
& + \frac{k}{e} + \frac{\cos^2 \varphi_2}{e} \left. \right\} \cos^2 \varphi_1 r_1^3 + k \lambda \xi \left\{ \frac{\lambda}{e^2} \cos^2 \varphi_1 - n(1+k) \xi - \right. \\
& - \xi n \cos^2 \varphi_2 \left. \right\} \cos^2 \varphi_1 r_1^2 - \frac{k \lambda^2 \xi^2}{e} (1 + \cos^2 \varphi_1) \cos^2 \varphi_1 r_1 + \\
& + k \lambda^2 \xi^3 \cos^2 \varphi_1 \left. \right] : \left[ - \frac{k^2 n^2}{e} \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2 r_1^5 + kn \left\{ n(1+k) \xi - \right. \right. \\
& - \frac{k \lambda}{e^2} \cos^2 \varphi_1 \left. \right\} \cos^2 \varphi_2 r_1^4 + k \lambda n \xi \left\{ \frac{1+k}{e} \cos^2 \varphi_2 + \frac{\cos^2 \varphi_1}{e} + \right. \\
& + \frac{k}{e} \cos^2 \varphi_2 \cos^2 \varphi_1 \left. \right\} r_1^3 + k \lambda \xi \left\{ \frac{\lambda}{e^2} \cos^2 \varphi_1 - n \xi - \right. \\
& - n \xi (1+k) \cos^2 \varphi_2 \left. \right\} r_1^2 - \frac{k \lambda^2 \xi^2}{e} (1 + \cos^2 \varphi_1) r_1 + k \lambda^2 \xi^3 \left. \right]
\end{aligned}$$

Bezeichnen wir zur Abkürzung die Koeffizienten der Reihe nach mit  $A, B, C, D, E, F, A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1$ .

Um die Änderung des Ausdruckes  $1 - \frac{f_1}{f_2}$  mit wachsendem  $r_1$  zu finden, erwägen wir, daß dieser Ausdruck eine positive Gröfse ist, der erste Differentialquotient desselben

$$\begin{aligned}
\frac{d\left(1 - \frac{f_1}{f_2}\right)}{dr_1} &= [(AB_1 - A_1 B) r_1^8 + 2(AC_1 - A_1 C) r_1^7 + \{3(AD_1 - A_1 D \\
& + (B_1 C - B C_1)\} r_1^6 + \{4(A_1 E - A E_1) + 2(B_1 D - B D_1)\} r_1^5 \\
& + \{5(A F_1 - A_1 F) + 3(B E_1 - E B_1) + (C_1 D - C D_1)\} r_1^4 \\
& + \{4(B_1 F - B F_1) + 2(C E_1 - C_1 E)\} r_1^3 + \{3(C_1 F - F_1 C) \\
& + (D E_1 - D_1 E)\} r_1^2 + 2(D_1 F - F_1 D) r] : \\
& [- A_1 r_1^5 + B_1 r_1^4 + C_1 r_1^3 + D_1 r_1^2 - E_1 r_1 + F_1]^2
\end{aligned}$$



auch eine positive Gröfse, wie man sich leicht überzeugen kann, so wächst  $1 - \frac{f_1}{f_2}$  bei wachsendem  $r_1$ . Was besagt, dafs infolge der Akkommodation auf einen paraxialen Punkt die Brennlinien derselben etwas gröfser werden, als sie sein würden, wenn die Linse im Zustande der Anpassung auf einen axialen Punkt in derselben Entfernung bliebe. Man ersieht aber gleichzeitig aus der Gröfse des Differentialquotienten, dafs diese Vergrößerung verschwindend klein ist.

III. Von Bedeutung ist ferner noch der Winkel, den die gebrochenen Strahlen einschliessen, und die Veränderungen desselben in allen Fällen, wo die Akkommodation keine genaue ist; wir haben auch bei unseren Untersuchungen eine ungenaue Akkommodation gefunden, und bilden diese Winkel ein Mafs für die Gröfse der Zerstreuungskreise resp. der Zerstreuungsellipsen. Von Bedeutung ist nur der Winkel  $d\vartheta$  (Fig. 1), da, wie hervorgehoben, nur die erste Brennlinie in Betracht gezogen werden mufs.

Die Abhängigkeit des Winkels  $d\vartheta$  von den Krümmungsradien der Linse ist klar. Durch die Vergrößerung der Krümmungsradien vergrößert sich auch  $f_1$ , mithin wird sich, wenn  $d\sigma_1$  unverändert bleibt, der Winkel  $d\vartheta$  verkleinern.

Um die Änderungen des Winkels  $d\vartheta$  von den Änderungen des Winkels  $\varphi_1$  zu ermitteln, drücken wir  $\cos \varphi_1$   $\cos \varphi_2$  als Funktionen von  $\xi$  aus. Es wird

$$\cos \varphi_1 = \frac{(n^2 - 1) - \xi^2}{2 \xi}$$

$$\cos^2 \varphi_2 = \frac{\{(n^2 - 1) + \xi^2\}^2}{4 n^2 \xi^2}$$

wobei  $\varphi_1$  mit  $\xi$  wächst und  $\xi$  zwischen den Grenzen

$$\sqrt{n^2 - 1} < \xi < n - 1$$

liegt. Da aber der Wert von  $n$  für das menschliche Auge den Wert von etwa  $\frac{14}{13}$  hat, so können wir, ohne einen Fehler zu

machen, die Potenzen von  $\xi$  von der fünften aufwärts weglassen, dann bekommen wir für den Wert  $\frac{\cos \varphi_1}{f_1}$  welchem  $d\vartheta$  proportional ist,

$$\frac{\cos \varphi_1}{f_1} = \frac{2 \frac{r_1 r_2}{e} \xi^4 + 4 \left\{ r_1 + r_2 \frac{r_1 n \delta}{e} (n^2 - 1) \right\} \xi^3 - \frac{r_1 r_2 (n^2 - 1)^3}{e}}{r_1 r_2 (n^2 - 1)^2 \left( 2 + \frac{n}{e} \right) \xi + r_1 r_2 \left( 2 - 3 \frac{n}{e} \right) \xi^3 - 8 n r_2 \delta \xi^4}$$

und wenn wir die Koeffizienten mit  $a, b, c, a_1, b_1, c_1$  bezeichnen für den ersten Differentialquotient.

$$\frac{d \frac{\cos \varphi_1}{f_1}}{d \xi} = \frac{[(a b_1 + b c_1) \xi^6 + 3 a a_1 \xi^4 + 2 (a_1 b - 2 c_1 c) \xi^3 + 3 b_1 c \xi^2 + a_1 c] : [a_1 \xi + b_1 \xi^3 - c_1 \xi^4]^2}{}$$

und dies hat alle Glieder des Zählers positiv, und wird mithin auch im ganzen positiv sein, und da  $\frac{\cos \varphi_1}{f_1}$  positiv ist, so nimmt  $d\vartheta$  mit dem zunehmenden Einfallswinkel zu.

Fassen wir die gefundenen Resultate zusammen, so lauten diese folgendermaßen:

1. Das Auge besitzt im allgemeinen die Fähigkeit, auf Entfernungen paraxial liegender Objekte zu akkomodieren.

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

3. Die paraxiale Akkommodation hat zur Folge das Zusammenfallen der ersten (auf die Einfallebene senkrechten) Brennlinie mit der Retina.

4. Die paraxiale Akkommodationsbreite ist geringer als die axiale; nach den Bestimmungen der Krümmungsänderungen ist man zu dem Schlusse berechtigt, daß sie anfangs abnimmt und dann von einem gewissen Winkel an ( $40^\circ - 60^\circ$ ) zunimmt.

5. Die Brennlinien nehmen mit dem Einfallswinkel und mit der Zunahme der Krümmungsradien der Linse an Größe zu. Der erste Umstand bedingt die

mit dem Einfallswinkel abnehmende Sehschärfe mit, der zweite ist infolge der verschwindenden Kleinheit der Änderung von untergeordneter Bedeutung.

6. Der Winkel, unter welchem die gebrochenen Strahlen konvergieren, nimmt mit dem zunehmenden Radius der Linse ab, mit dem Einfallswinkel dagegen zu. Auch der erste Umstand muß zu den für die Lichtwirkung bei paraxialer Akkommodation günstigen gerechnet werden, da dadurch bei nicht ganz vollkommener Akkommodation die Zerstreuellipsen verkleinert werden.

Psychologisches Interesse war es, welches uns zu den Untersuchungen veranlaßt hat. Die Untersuchungen haben unsere Erwartungen in Bezug auf das Auge vollkommen befriedigt. Auch die ergänzenden Resultate bestätigten in vollem Umfange das bereits Gesagte: daß nicht die Aufmerksamkeit es ist, welche von den Eindrücken einige nach Belieben wählt, sondern daß die physiologischen Bedingungen sich dergestalt verändern, daß das eine Mal die Einwirkung der Reize begünstigt wird und in Abhängigkeit davon die Eindrücke bemerkt resp. deutlicher werden. Daß die zentrale Fixation die Einwirkung des Reizes auf die Peripherie der Netzhaut stark herabsetzt, ist nach allem Dargelegten klar. Unmittelbar demonstriert dies eine sehr schöne von HAAB gemachte Beobachtung.<sup>1</sup> „Wenn man in einem dunklen Raume, der bloß durch eine Lampen- oder

---

<sup>1</sup> Als ich meine Untersuchungen von den Änderungen an der Pupille veröffentlichte, habe ich von der Beobachtung des Herrn Professor HAAB keine Kenntnis gehabt. Erst dicht vor dem Erscheinen meiner Arbeit wurde ich auf diese aufmerksam gemacht und teilte daher dem Herrn Professor HAAB mit, daß ich in der nächsten Arbeit auf seine Beobachtung zurückkommen werde. Etwas später hat auch Herr Dr. ARTHUR ALLIN die Güte gehabt, mich auf diese von neuem aufmerksam zu machen, und hat auch nachträglich bei der Besprechung meiner ersten Arbeit auf diese hingewiesen. (*The American Journ. of Psychol.* Bd. VII. S. 430.) Der scheinbare Widerspruch zwischen meiner Beobachtung und der Beobachtung des Herrn Professor HAAB löst sich sehr einfach (siehe Text). Ich ändere immerhin dabei die Deutung, welche Professor HAAB seiner Beobachtung gegeben hat. Zu jener Deutung kam Professor HAAB auch nur deswegen, weil er, auf die allgemeine Ansicht gestützt, die Voraussetzung machen mußte, daß sich an der Akkommodation nichts ändert. — Diese Voraussetzung hat sich als unberechtigt erwiesen.



Kerzenflamme beleuchtet wird, die Flamme so vor sich hinstellt, daß sie etwas seitwärts steht und man an ihr vorbei den Blick ins Dunkle richtet, so kann man, sobald, bei gleichbleibender Blickrichtung, die Aufmerksamkeit auf die Flamme gelenkt wird, eine kräftige Kontraktion der Pupille beider Augen beobachten. Kann man, ohne die Fixation der dunklen Wand im mindesten zu ändern, seine Aufmerksamkeit recht nachhaltig in indirektem Sehen weiter dem Flammenbilde zuwenden, so bleibt die Pupille ebenso lang verengt. Sobald dagegen die Aufmerksamkeit sich dem Fixationspunkt widmet (einer dunklen Stelle der Wand etc.), so dilatiert sich die Pupille wieder“ . . . .

„Es läßt sich die Pupillenveränderung auch hervorrufen, wenn man die Flamme nach oben oder nach unten oder an irgend einen anderen beliebigen Ort des Gesichtsfeldes bringt. Ich kann an mir selbst den Reflex noch deutlich, wenn auch nicht ganz stark sehen, falls ich die Flamme in  $80^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  temporalwärts vom Fixationspunkt aufstelle.“ Aus dieser Beobachtung muß ich erschließen, daß in dem Momente, wo das Auge auf die Flamme akkommodiert, die Reizwirkung derart an Stärke zunimmt, daß sie eine Lichtreaktion der Pupille bewirkt. Diese Reaktion verschwindet, wenn das Auge die Akkommodation für die Flamme verliert, was bei genauer zentraler Akkommodation der Fall ist. Damit löst sich auch der Widerspruch, der zwischen dieser und meinen Beobachtungen zu bestehen scheint. Wie bei den Untersuchungen über die Größe der Pupille bei Akkommodationsveränderungen die konstante Beleuchtung als Voraussetzung angenommen werden muß, denn sonst treten Lichtreflexe der Pupille ein, welche die etwaige Vergrößerung oder Verkleinerung negativ machen können, so gilt dasselbe auch für die Peripherie. Infolgedessen, daß die Flamme als Objekt genommen wird, auf welches das Auge akkommodiert, tritt ein Pupillenreflex ein, der die Vergrößerung, welche infolge der Abspannung der Akkommodation eintreten sollte, aufhebt und in eine Kontraktion umwandelt.

Im gewöhnlichen Leben kommt der Mensch selten dazu, die Objekte mit der Peripherie anschauen zu müssen. Tritt ein stärkerer peripherer Reiz ein, so verändert sich die Blickrichtung und das Objekt gelangt ins Zentrum des Sehfeldes. Infolgedessen akkommodiert das Auge paraxial selten, die Peri-



perie der Netzhaut wird mehr diffusem Lichte ausgesetzt. Es muß dabei auch die Peripherie weniger ermüdet sein, als das Zentrum. Diese Schlußfolgerung ist auch experimentell bestätigt (ERDMANN). Man beobachtet, daß die Peripherie sich viel rascher in der Dunkelheit adaptiert, als das Zentrum, und ein Reiz, der in dem Zentrum der Netzhaut noch keine Wirkung ausübt, bei Einwirkung auf die Peripherie schon bemerkt wird.

Ich habe bereits die Beobachtungen über die Labilität der Akkommodation beschrieben, und die Schlußfolgerungen, die für das Erklären der Erscheinungen der sog. „Schwankungen der Aufmerksamkeit“ wichtig sind, gezogen. Auch jetzt hat sich die Gelegenheit geboten, die gemachte Wahrnehmung wiederholt zu machen. In einer brieflichen Mitteilung teilte mir Professor Dr. H. MÜNSTERBERG mit, er müsse die Ansicht beibehalten, daß das absichtliche tiefe Einatmen eine solche Schwankung mit sich bringe. Ich habe die Gelegenheit benutzt, um die etwaige Änderung der Linsenkrümmung bei tiefem Einatmen zu kontrollieren, und gefunden, daß sich auch hier eine Vergrößerung der Krümmungsradien beobachten läßt. Man kann dies übrigens auch leicht an der eigenen Pupille beobachten, wenn man diese im Spiegel betrachtet. Auch diese Beobachtung läßt sich daher unter die von mir ausgesprochene Anschauung subsumieren. Funktionell wird diese Beobachtung zu der bereits von mir beschriebenen Abspannung der Akkommodation zu rechnen sein, welche eintritt, wenn man durch nicht optische Eindrücke in Anspruch genommen wird, nicht aber die beschriebene Labilität des Akkommodationszustandes zur Ursache haben. Es tritt in diesem Falle mehr eine „Abwendung“ als eine „Schwankung der Aufmerksamkeit“ ein.

Mit der vorliegenden Abhandlung verlasse ich das Gebiet der Gesichtseindrücke, um zu untersuchen, inwiefern sich die für das Auge gefundenen Prinzipien auch auf andere Sinnesorgane übertragen lassen.

---

## Benützte Litteratur.

AUBERT. *Physiologie der Netzhaut*. Breslau 1865.

— *Moleschott's Untersuchungen*. Bd. IV.

BUTZ. *Untersuchungen über die physiologische Funktion der Netzhaut-peripherie*. Dorpat 1883.

ERDMANN. Über ungleiche Ermüdung zentraler und peripherer Teile der Netzhaut. *Centralbl. f. prakt. Augenheilkde.* 1884. (Citiert nach den physiologischen Jahresberichten.)

GARTENSCHLÄGER. *Über die Abbildung des astigmatischen Objektes durch eine Linse*. München 1888.

GLEICHEN. *Die Hapterscheinungen der Brechung und Reflexion des Lichtes*. Leipzig 1889. Auch *Pogg. Ann.* XXXV.

HAAAB. *Der Hirnrindenreflex der Pupille*. Zürich 1891. (S.-A.)

HERMANN. *Über die Brechung eines unendlich dünnen Strahlenbüschels bei schiefer Incidenz*. Zürich 1874. Ferner *Pflügers Arch.* Bd. XVIII, XX, XXVII.

MATTHIESSEN. Über die geometrische Gestalt der theoretischen Retina. *Arch. f. Ophthalm.* XXV.

— Über die Form eines unendlich dünnen Strahlenbündels. *K. bayr. Akad. Sitzgsber.* 1883.

— Über die radiale Ausdehnung des Sehfeldes. *Arch. f. Ophthalm.* XXX.

— Untersuchungen über die Periskopie und Aplanatismus der Krystalllinse. *Pflügers Arch.* XXI. Ferner Abhandlung in *Pflügers Arch.* XIX, XXV, XXXII.

NEUMANN. Über die Brechung eines unendlich dünnen Strahlenbündels. *Ber. d. sächs. Ges.* 1880.

PARENT. Comment sont réfractés les rayons tombants obliquement sur l'oeil. *Rec. d'Ophthalm.* 1882. (Citiert nach den physiologischen Jahresberichten.)

PESCHEL. Über die Periskopie der Krystalllinse. *Pflügers Arch.* Bd. XVIII, XX.

RASMUS und WAUER. Mathematische Theorie der Periskopie der Krystalllinse. *Pflügers Arch.* Bd. XX.

SCHOEN. Bemerkungen über die Dioptrik und Periskopie des Auges. *Arch. v. du Bois-Reymond*, 1879.

— *Beiträge zur Dioptrik*. Leipzig 1889.