

Ueber die geometrische Gestalt der theoretischen Retina des periskopischen schematischen Auges.

Von

Prof. Dr. Ludwig Matthiessen
in Rostock.

Durch die mathematische Theorie der Periskopie nimmt voraussichtlich die Dioptrik des Auges einen Umfang an; welcher einen verhältnissmässig viel grösseren Aufwand von analytischer Kraft und ophthalmometrischer Finesse in Anspruch nehmen muss, als es bei der durchaus elementaren Betrachtung des Hauptaxenstrahles bisher der Fall gewesen ist. In dem weiter ausgreifenden Probleme der Dioptrik schief in das Auge einfallender Strahlen nämlich ist nicht nur die ellipsoidische Gestalt der Hornhaut und vielleicht auch noch der Linsenflächen in Rechnung zu ziehen, sondern, was grössere analytische Schwierigkeiten entgegenstellt, auch noch die Verschiedenheit des Totalindex der Linsensubstanz in den verschiedenen Transversalen derselben zu berücksichtigen. In einer aus dem hiesigen physikalischen

Seminar hervorgegangenen Arbeit der Herren Rasmus*) und Wauer sind die dioptrischen Konstanten von je zehn in das Auge seitlich einfallender Lichtstrahlen sowohl für das schematische Auge A.***) als für das Auge B. veröffentlicht worden.

Aus den Resultaten derselben geht hervor, dass der von Helmholtz entworfene Meridian der Retina in dem ganzen Umfange des Gesichtsfeldes zwischen den beiden Kurven der vorderen und hinteren Brennpunkten der in einer als sphärisch gekrümmt adoptirten Linse gebrochenen und in Folge dessen astigmatischen Strahlenbündel verläuft.

Es könnte nun die mehr oder minder hervortretende Anschmiegung einer der beiden genannten Kurven an die ophthalmometrische Retina von Helmholtz oder Arlt***) zu der Meinung verleiten, als ob eine von den beiden Strahlengattungen, also entweder die Strahlenbänder des Meridionalschnittes (erster Hauptnormalschnitt) oder die des Querschnittes (zweiter Hauptnormalschnitt) besonders geeignet seien, ein deutliches Bild der Objecte hervorzubringen, wie neuerdings Fick†) dafür die zweite Gattung vindicirt hat. Es ist dies jedenfalls insofern ein Irrthum, als das Integral der Helligkeit für beide Strahlengattungen gleich ist, weil nämlich beide dieselbe Area der Pupille bestreichen. Der Ort des Bildes eines äusseren Objectes wird aber

*) W. Rasmus und A. Wauer. Mathematische Theorie der Periskopie des menschlichen Auges. Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. XX., S. 264—282. Bonn 1879.

**) Man vergl. L. Matthiessen. Die Differenzialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse; in Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiologie. Bd. XIX., S. 495, 530. Bonn 1879.

***) Arlt. Zur Anatomie des Auges. Arch. f. Ophth. III. 1857.

†) Fick. Zur Periskopie des Auges. Arch. f. d. ges. Physiol. von Pflüger. Bd. XIX., S. 145. 1879.

dorthin zu verlegen sein, wo der ganze in die Pupille eindringende Strahlenkegel in der Nähe der Retina seinen kleinsten Querschnitt hat. Diesen Ort werde ich in der Folge mit dem Namen „theoretische Retina“ bezeichnen und ich stelle mir im Folgenden die Aufgabe, die Gleichung des Meridianes der theoretischen Retina zu ermitteln und zwar bei Annahme einer ellipsoidischen Gestalt der Hornhaut und einer geschichteten Krystalllinse mit variablem Brechungsindex. Um nach dieser Richtung hin von vornherein das Interesse des Lesers für die Lösung dieses Problems zu fesseln, schicke ich voraus, dass ich versuchen werde, das folgende schöne Theorem zu erweisen:

Der Meridian der theoretischen Retina des Auges A. ist ein Kreis, dessen Centrum mit dem Mittelpunkte des Hornhautellipsoides coindirt und dessen Radius gleich dem Abstände dieses Mittelpunktes von der Macula lutea ist.

Dieser Kreis schmiegt sich, in einer Ausdehnung von etwa 75° von der Macula lutea an gerechnet, an die ophthalmometrische Retina von Arlt an, von wo ab an gegen den Aequator hin die Differenz mehr als 0,2 mm beträgt.

Um zu einem seitlich gelegenen Objecte den Ort der theoretischen Retina zu bestimmen, genügt es, wie bereits oben bemerkt, nicht, für einen einzigen Leitstrahl die beiden Brennpunkte der astigmatischen Brechung zu berechnen. Es reicht jedoch hin, den Durchschnitt zweier genügend weit auseinander liegender Strahlen zu bestimmen. Der Calcül wird bedeutend vereinfacht, wenn man hierzu zwei Strahlen auswählt, von denen der eine den Kern, der zweite den vorderen Scheitel der Linse passirt. Letzteren hat Fick zur Berechnung gewählt, jedoch unbeachtet gelassen, dass die totalen Brechungsindices mit der Richtung des Durch-

ganges der Strahlen durch die geschichtete Krystalllinse beträchtlich variiren. Der von Helmholtz für sein neueres schematisches Auge adoptirte Totalindex ist zwar genau für Strahlen, welche das Kerncentrum nach irgend einer Richtung hin passiren, er wird aber kleiner für Strahlen, welche nur die mittleren Schichten treffen. Für Scheitelstrahlen, welche in einem Abstände von 1,3 mm im Meridionalschnitte am Kerne vorübergehen, beträgt derselbe nur 1,4187 statt 1,4371. In Folge dessen sind die Brennweiten, welche Fick berechnet hat, offenbar zu klein und es wird daraus erklärlich, dass derselbe im Gegensatz zu den Resultaten, welche Schoen, Wauer, Rasmus und ich erhalten haben, findet, dass die Oerter der hinteren Brennpunkte mit der Retina coincidiren. Andere haben, um sich der Mühe einer äusserst zeitraubenden, numerischen Rechnung zu entziehen, das reducirte Auge von Listing zur Bestimmung einer theoretischen Retina benutzt; die Resultate haben aber gar keinen wissenschaftlichen Werth und sind dem Spiele des Zufalls anheim gegeben. Wir gehen hier von ophthalmometrischen Grössen aus und wollen die Mühe nicht scheuen; der Weg ist lang und beschwerlich, aber das Ziel ist der Mühe werth.

Für die Betrachtung der Scheitelstrahlen ist es von Wichtigkeit, die Function der mittleren optischen Dichtigkeit der äusseren Linsenschichten zu kennen. Bezeichnet b den sagittalen, d den transversalen Halbmesser der vorderen Linsenhälfte des Auges A , so ist nach ophthalmometrischen Bestimmungen*) $b = 1,6$ mm, $d = 4,5$ mm. Bezeichnet ferner y den sagittalen Abstand irgend einer Schicht vom Kerncentrum, z den

*) Man vergl. L. Matthiessen, Grundriss der Dioptrik der geschichteten Linsensysteme. Leipzig 1877, S. 183.

transversalen Abstand, so ist für das menschliche Auge der absolute Index der Schicht

$$n = 1,4100 - 0,0270 \left(\frac{y}{b} \right)^2$$

oder

$$n = 1,3830 \left(1 + \zeta \frac{b^2 - y^2}{b^2} \right), \zeta = 0,01952,$$

und der Totalindex für Kernstrahlen*)

$$N = 1,3830 (1 + 2 \zeta).$$

Für die schief einfallenden Strahlen, welche das Kerncentrum nicht treffen, ist der Totalindex abhängig von dem Index der innersten Schicht; sein Werth ist

$$N = 1,3830 \left(1 + 2 \zeta \frac{d^2 - z^2}{d^2} \right).$$

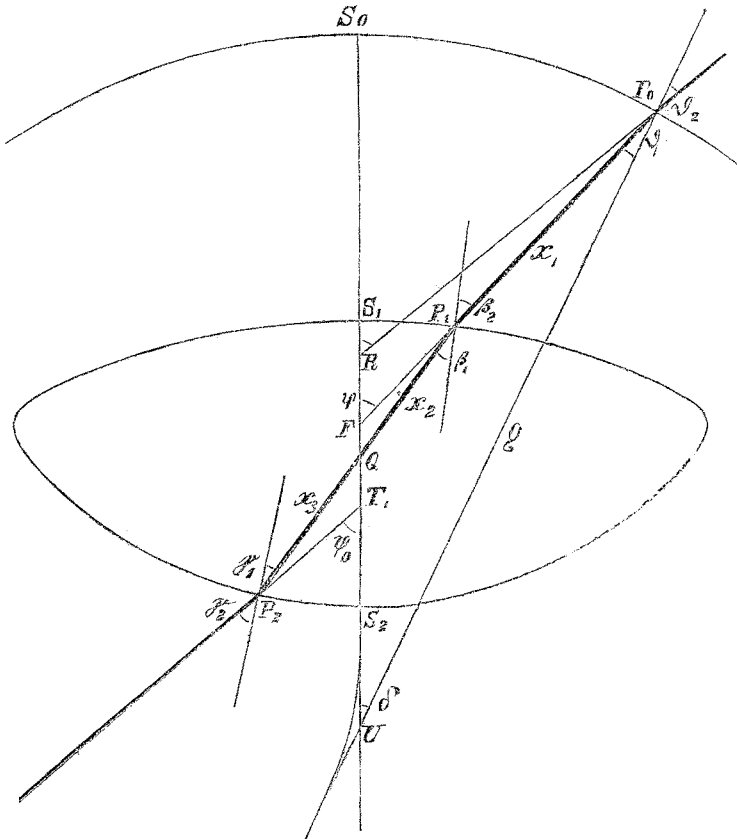
Indem ich mich auf die von Wauer und Rasmus berechneten, durchaus zuverlässigen dioptrischen Konstanten beziehe, werde ich den Weg zeigen, wie sich der Ort der theoretischen Retina bestimmen lässt und zwar zunächst für das Auge A. Die dioptrischen Konstanten der Kernstrahlen sind von den genannten Herren in der Reihenfolge berechnet, dass solche Strahlen in Betracht gezogen wurden, welche nach der Brechung in der ellipsoidischen Hornhaut gegen ihren Focus gerichtet, also homocentrisch gebrochen sind und zwar bei einem von 10° zu 10° wachsenden Polarwinkel. Es sind dann die Oerter der Brennpunkte beider Strahlengattungen bestimmt, sowie ihre Lage zur ophthalmometrischen Retina von Helmholtz**). Im Folgenden soll ausserdem die Retina des Auges von Arlt Berücksichtigung finden und es wird meine Hauptaufgabe sein, die Oerter der Durchschnitte von je zwei schief in einem Meridian des

*) L. Matthiessen. Die Differenzialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse. Pfüger's Arch. XIX., S. 500, 503.

**) Man vergl. H. Helmholtz, Physiologische Optik. Atlas Fig. 1.

Aufes einfallenden Parallelstrahlen zu bestimmen, von denen der eine jedesmal den vorderen Scheitel, der andere das Kerncentrum der Linse passirt. Um hierzu die Konstanten von Wauer und Rasmus benutzen zu

Fig. 1.



können, wurde jedesmal ein Scheitelstrahl gewählt und die dioptrischen Konstanten des zugehörigen Kernstrahls durch Interpolationen gesucht. Die Resultate sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

Was die geometrischen und optischen Konstanten des schematischen Auges A. anbetrifft, so ist auf Grund der Messungen von Knapp eine rotationsellipsoidische Hornhaut von den Halbaxen $a = 11,009$ mm und $b = 9,272$ mm angenommen; ferner für die Krümmungsradien der beiden Linsenflächen die Werthe 10,0 mm und 6,0 mm, ein Sagittaldurchmesser der Linse von 3,6 mm und ein Abstand derselben vom Scheitel der Hornhaut von 3,6 mm.

Die Brechung der Strahlen innerhalb der Hornhaut blieb unberücksichtigt aus Gründen, welche ich in meiner Abhandlung über die Differenzialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse auseinandergesetzt habe; ebenso wurde der Totalindex der Linse für alle Kernstrahlen gleich 1,4371 bei den Rechnungen zu Grunde gelegt; für die Scheitelstrahlen dagegen die oben gegebene Formel.

Zur Orientirung über die eingeführten Termen muss ich auf die Figuren verweisen. In der Tabelle I. bedeutet $\varphi = S_0 F P_0$ (Fig. 1) den Polarwinkel, $r = P_0 F$ den Rad. vect. des Ellipsoides, ρ den Krümmungsradius, N die Normale des von den einfallenden Strahlen getroffenen Punktes der Hornhaut; ferner ϑ_2 den Einfallswinkel, ϑ_1 den Brechungswinkel, $x_1 = P_0 P_1$ die Tiefe der vorderen Augenkammer bis zur Vorderfläche der Linse, $\varphi_{1,1}$ und $\varphi_{1,2}$ die Brennweiten der beiden Strahlengattungen bezüglich der Hornhaut.

I. Tabelle
der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Hornhaut. (Kernstrahlen).

φ	r	ϱ	N	β_1	β_2	x_1	$\varphi_{2,1} = \varphi_{1,2}$	$R =$ $\varphi + \beta_2 - \beta_1$
	mm	mm	mm			mm	mm	
0°	5,0735	7,809	7,809	0° 0' 0''	0° 0' 0''	3,600	31,120	0° 0' 0''
10°	5,101	7,853	7,823	3° 27' 34''	4° 37' 15''	3,612	31,103	11° 9' 41''
20°	5,183	7,985	7,867	6° 58' 40''	9° 20' 12''	3,632	31,046	22° 21' 32''
30°	5,323	8,208	7,940	10° 24' 50''	13° 57' 54''	3,663	30,948	33° 33' 4''
40°	5,526	8,524	8,040	13° 46' 49''	18° 32' 30''	3,694	30,800	44° 45' 41''
50°	5,799	8,936	8,168	17° 3' 0''	23° 2' 36''	3,706	30,622	55° 59' 36''
60°	6,151	9,446	8,320	20° 11' 25''	27° 26' 30''	3,671	30,390	67° 15' 5''
70°	6,593	10,048	8,493	23° 9' 30''	31° 40' 10''	3,526	30,132	78° 30' 40''
80°	7,140	10,727	8,681	25° 53' 48''	35° 39' 40''	3,191	29,830	89° 45' 52''
90°	7,809	11,450	8,872	28° 19' 50''	39° 18' 40''	2,575	29,506	100° 58' 50''

In der nächstfolgenden Tabelle bezeichnet α den Neigungswinkel des Leitstrahles gegen die optische Axe innerhalb der Linse, β_2 den Einfallswinkel, β_1 den Brechungswinkel, $x_2 = P_1 Q$ den vorderen Theil der schiefen Linsenaxe, $\varphi_{2,1}$ und $\varphi_{2,2}$ die Bildweiten der beiden Strahlengattungen in der Linsensubstanz.

II. Tabelle
der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Vorderfläche der Linse. (Kernstrahlen).

φ	β_1	β_2	α	x_2	$\varphi_{2,1}$	$\varphi_{2,2}$	$F Q$
				mm	mm	mm	mm
0°	0° 0' 0''	0° 0' 0''	0° 0' 0''	1,569	24,471	24,471	0,095
10°	7° 54' 19''	8° 30' 52''	9° 23' 27''	1,585	24,395	24,404	0,097
20°	15° 43' 4''	16° 57' 18''	18° 45' 46''	1,649	24,125	24,218	0,104
30°	23° 19' 48''	25° 14' 3''	28° 5' 45''	1,762	23,649	23,901	0,117
40°	30° 36' 20''	33° 14' 3''	37° 22' 17''	1,940	22,905	23,453	0,138
50°	37° 21' 20''	40° 46' 48''	46° 34' 32''	2,207	21,835	22,904	0,172
60°	43° 18' 35''	47° 35' 44''	55° 42' 51''	2,600	20,423	22,278	0,224
70°	48° 5' 53''	53° 14' 46''	64° 51' 7''	3,184	18,822	21,686	0,304
80°	51° 15' 46''	57° 6' 23''	74° 9' 23''	4,043	17,475	21,279	0,418
90°	52° 22' 40''	58° 29' 58''	83° 52' 41''	5,264	16,722	21,279	0,561

In der Tabelle III. bezeichnen γ_1 und γ_2 beziehlich den Einfall- und Brechungswinkel des Leitstrahles an der Hinterfläche der Linse, und $x_3 = P_2 Q$ den hinteren Theil der schiefen Linsenaxe.

III. Tabelle
der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Hinterfläche. (Kernstrahlen).

φ	γ_1	γ_2	x_3	$\varphi_{3,1}$	$\varphi_{3,2}$	$P_2 T_1$	$Q T_1$
			mm	mm	mm	mm	mm
0°	0° 0' 0''	0° 0' 0''	2,031	15,547	15,547	1,931	0,103
10°	6° 11' 41''	6° 40' 18''	2,050	15,393	15,466	1,952	0,105
20°	12° 17' 1''	13° 14' 22''	2,105	14,919	15,229	2,007	0,109
30°	18° 8' 59''	19° 35' 32''	2,200	14,123	14,824	2,102	0,118
40°	23° 40' 14''	25° 36' 22''	2,341	13,010	14,248	2,243	0,130
50°	28° 42' 40''	31° 8' 23''	2,534	11,600	13,515	2,439	0,148
60°	33° 7' 39''	36° 2' 10''	2,789	9,953	12,622	2,699	0,171
70°	36° 46' 49''	40° 7' 50''	3,119	8,185	11,598	3,041	0,201
80°	39° 31' 1''	43° 14' 0''	3,545	6,491	10,459	3,488	0,239
90°	41° 7' 19''	45° 4' 11''	4,097	4,967	9,280	4,076	0,284

In der Tabelle IV. bedeutet ψ_0 den Winkel, welchen der im Glaskörper verlaufende Strahl mit der optischen Axe bildet, $\varphi_{3,1}$ und $\varphi_{3,2}$ die beiden Hauptbrennlinien, R_A und R_H die entsprechenden Oerter der ophthalmometrischen Retina von Arlt und Helmholtz, welche letztere ich nach eigenen sorgfältigen Messungen der Tafeln von denen der Herren Rasmus und Wauer abweichend gefunden habe.

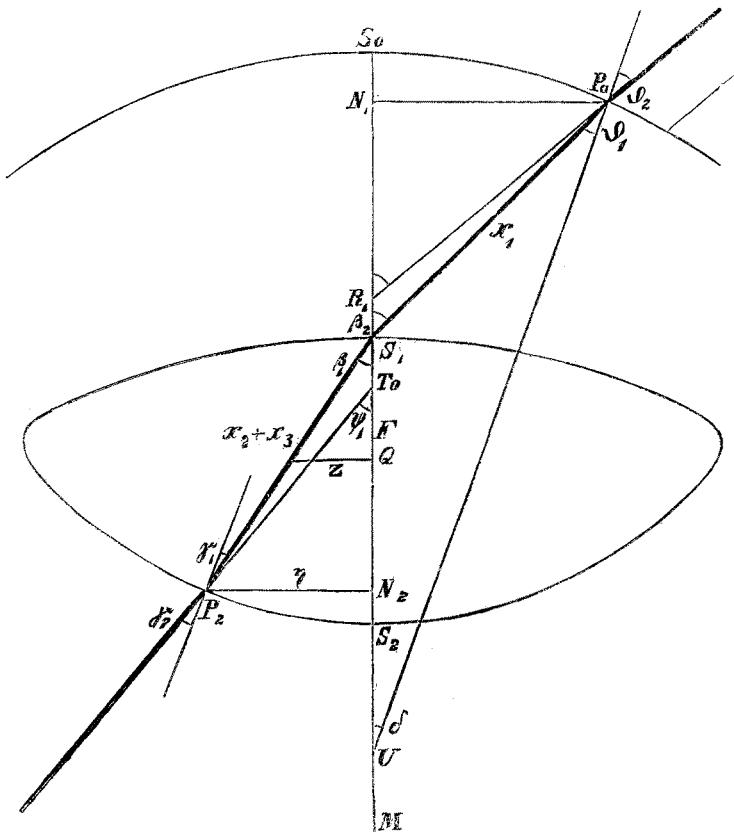
IV. Tabelle
der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Retina. (Kernstrahlen).

φ	ψ_0	$\varphi + \varphi_2 - \varphi_1$	$F T_1$	$\varphi_{3,1} T_1$	R_A	R_H	$\varphi_{3,2} T_1$
			mm	mm	mm	mm	mm
0°	0° 0' 0''	0° 0' 0''	0,198	17,667	17,667	17,667	17,667
10°	9° 52' 4''	11° 9' 41''	0,202	17,335	17,345	17,368	17,418
20°	19° 43' 7''	22° 21' 32''	0,213	16,926	16,956	17,126	17,236
30°	29° 32' 18''	33° 33' 4''	0,235	16,225	16,325	16,775	16,926

φ	ψ_0	$\varphi + \vartheta_2 - \vartheta_1$	$F T_1$	$\Phi_{3,1} T_1$	R_A	R_H	$\Phi_{3,2} T_1$
			mm	mm	mm	mm	mm
40°	39° 18' 25"	44° 45' 41"	0,269	15,253	15,578	16,230	16,491
50°	49° 0' 15"	55° 59' 36"	0,320	14,039	14,614	15,189	15,954
60°	58° 37' 22"	67° 15' 5"	0,396	12,652	13,452	13,902	15,321
70°	68° 12' 8"	78° 30' 40"	0,505	11,226	12,176	12,626	14,639
80°	77° 52' 22"	89° 45' 52"	0,657	9,979	10,629	10,829	13,947
90°	87° 49' 34"	100° 58' 50"	0,845	9,043	9,643	9,643	13,356

In den folgenden Tabellen sind die Werthe der Konstanten von Strahlen enthalten, welche in denselben Punkten

Fig. 2.



wie früher in die Hornhaut eintreten, jedoch aus einer solchen Richtung, dass sie nach ihrer Brechung den Scheitel der Vorderfläche der Linse treffen. Demzufolge behalten φ , r , q und N ihre früheren Werthe, wogegen die übrigen Elemente sich ändern müssen. Der Winkel φ_0 ist der entsprechende Werth von φ derjenigen Kernstrahlen, welche mit den Scheitelstrahlen parallel in die Hornhaut eintreten. Man vergleiche Fig. 2.

V a. Tabelle
der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Hornhaut (Scheitelstrahlen).

φ	φ_0	ϑ_1	ϑ_2	x_1	$P_0 N_1$
				mm	mm
0°	0° 0' 0"	0° 0' 0"	0° 0' 0"	3,600	0,000
10°	14° 48' 35"	7° 30' 30"	10° 2' 50"	3,659	0,886
20°	29° 8' 34"	14° 31' 50"	19° 34' 10"	3,832	1,773
30°	42° 34' 0"	20° 38' 0"	28° 3' 40"	4,122	2,661
40°	55° 14' 40"	25° 54' 20"	35° 40' 50"	4,500	3,552
50°	66° 49' 54"	30° 7' 20"	42° 3' 50"	4,983	4,442
60°	77° 42' 50"	33° 27' 13"	47° 23' 10"	5,562	5,327

V b. Tabelle.

φ	$F R_1$	d	$R_1 = d + \vartheta_2$	$\varphi_{1,1}$	$\varphi_{1,2}$
	mm			mm	mm
0°	2,021	0° 0' 0"	0° 0' 0"	31,120	31,120
10°	2,042	6° 30' 0"	16° 32' 50"	30,415	30,816
20°	2,098	13° 1' 20"	32° 35' 30"	28,532	29,998
30°	2,182	19° 35' 0"	47° 38' 40"	26,150	28,883
40°	2,339	26° 13' 0"	61° 53' 50"	23,694	27,621
50°	2,540	32° 56' 20"	75° 0' 10"	21,647	26,448
60°	2,814	39° 48' 30"	87° 11' 40"	20,096	25,430

Die nächstfolgende Tabelle VI. enthält die Konstanten der Brechung der Scheitelstrahlen in der Linsensubstanz. Die Bedeutung von n und z ist aus dem Vorhergehenden bekannt.

VI. Tabelle

der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
vorderen Linsenfläche (Scheitelstrahlen).

φ	β_1	β_2	$P_2 \delta_1 =$ $x_2 + x_3$	z	n	$\varphi_{2,1}$	$\varphi_{2,2}$
			mm	mm		mm	mm
0°	0° 0' 0"	0° 0' 0"	3,600	0,000	1,4371	24,471	24,471
10°	13° 0' 0"	14° 0' 30"	3,637	0,389	1,4366	23,760	24,106
20°	25° 29' 10"	27° 33' 10"	3,744	0,810	1,4352	21,791	23,070
30°	36° 59' 30"	40° 13' 10"	3,907	1,281	1,4326	19,112	21,574
40°	47° 32' 50"	52° 7' 20"	4,113	1,823	1,4281	16,011	19,792
50°	57° 1' 20"	63° 3' 40"	4,346	2,618	1,4187	12,665	17,972
60°	65° 35' 30"	73° 15' 43"	4,596	3,521	1,4039	8,820	16,181

VII. Tabelle

der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Hinterfläche (Scheitelstrahlen).

φ	γ_1	γ_2	$P_2 N_2$	$F T_0$	$P_2 T_0$	$\varphi_{3,1}$	$\varphi_{3,2}$
			mm				
0°	0° 0' 0"	0° 0' 0"	0,000	1,3666	3,493	15,547	15,547
10°	5° 9' 45"	5° 33' 30"	0,818	1,3650	3,532	15,059	15,314
20°	9° 54' 40"	10° 39' 50"	1,611	1,3622	3,644	13,777	14,720
30°	13° 55' 40"	14° 58' 0"	2,350	1,3585	3,815	11,804	13,639
40°	17° 10' 0"	18° 24' 20"	3,034	1,3553	4,034	9,549	12,433
50°	19° 36' 20"	20° 53' 30"	3,646	1,3589	4,284	7,011	11,221
60°	21° 21' 40"	22° 31' 22"	4,185	1,3721	4,555	3,789	9,995

In der folgenden Tabelle bedeutet ψ_1 den Winkel, welchen der im Glaskörper verlaufende Strahl mit der optischen Axe bildet, $\varphi_{3,1}$ und $\varphi_{3,2}$ die beiden Hauptbrennlinien, R_A und R_H die entsprechenden Oerter der ophthalmometrischen Retina von Arlt und Helmholtz.

VII. Tabelle
der geometrischen und dioptrischen Konstanten der
Retina. (Scheitelstrahlen.)

φ	ψ_1	$\delta + \vartheta_2$	$\Phi_{3,1} T_0$	R_A	R_H	$\Phi_{3,2} T_0$
			mm	mm	mm	mm
0°	0° 0' 0"	0° 0' 0"	19,040	19,040	19,040	19,040
10°	13° 23' 45"	16° 32' 50"	18,591	18,641	18,753	18,846
20°	26° 14' 20"	32° 35' 30"	17,421	17,696	18,146	18,364
30°	38° 1' 50"	47° 38' 40"	15,619	16,419	17,044	17,455
40°	48° 47' 10"	61° 53' 50"	13,583	14,908	15,433	16,467
50°	58° 18' 30"	75° 0' 10"	11,295	13,095	13,525	15,505
60°	66° 45' 12"	87° 11' 40"	8,344	11,144	11,394	14,550

Berechnet man nun zu ψ_1 die entsprechenden Werthe ψ_0 des Kernstrahles, sowie die Werthe von $F T_1$, so ergibt sich aus dem $\Delta T_0 T_1 \Phi$ der Werth $T_0 \Phi$, d. i. der Ort der theoretischen Retina. (S. Fig. 3 umstehend.) Wenn man daraus dann weiter die Abstände derselben von M , dem Mittelpunkt des Hornhautellipsoides berechnet, so findet man, wie aus der folgenden und letzten Tabelle ersichtlich ist, einen nahezu constanten Werth, welches der Radius vector der theoretischen Retina sein wird, wobei λ den Winkelabstand von der optischen Axe bedeutet. $M S_0$ ist die halbe grosse, $M U$ die halbe kleine Axe des Ellipsoides.

IX. Tabelle
der Polarcoordinaten der theoretischen Retina.

φ	ψ_0 entsprech. ψ_1	$F T_1$	$T_0 \Phi$	$M \Phi$	λ
		mm	mm	mm	
0°	0° 0' 0"	0,1981	19,040	11,738	0° 0' 0"
10°	14° 36' 19"	0,2072	18,782	11,802	21° 38' 7"
20°	28° 41' 49"	0,2329	17,859	11,764	42° 9' 29"
30°	41° 47' 45"	0,2819	16,648	11,793	60° 25' 30"
40°	54° 2' 55"	0,3596	15,136	11,698	76° 44' 25"
50°	65° 10' 0"	0,4706	13,904	11,831	89° 37' 10"
60°	75° 39' 43"	0,6223	12,478	11,710	101° 44' 30"

Controle entziehen mussten. Um den Grad der Anschmiegung der theoretischen Retina an die ophthalmometrische Retina von Helmholtz und Arlt zu übersehen, stellen wir zum Schluss die Werthe von ϕT_0 mit den Werthen von R_A und R_H aus der vorhergehenden Tabellen zusammen und suchen ihre Differenzen. Die Figur 3 stellt das Auge in fünffacher Vergrößerung dar.

X. Tabelle

der Congruenzen der theoretischen und ophthalmometrischen Retina.

ϕT_0	R_A	Δ	R_H	Δ
mm	mm	mm	mm	mm
19,040	19,040	0,000	19,040	0,000
18,782	18,641	-0,141	18,753	-0,029
17,859	17,696	-0,163	18,146	+0,287
16,648	16,419	-0,229	17,044	+0,396
15,136	14,908	-0,228	15,433	+0,297
13,904	13,095	-0,809	13,525	-0,379
12,478	11,144	-1,334	11,394	-1,084

Aus vorstehender Tabelle erkennt man deutlich genug, wie zweckmässig das Auge auch für das periphere Sehen construirt ist. Es muss aber ausdrücklich betont werden, dass diese Zweckmässigkeit sich nicht blos darauf beschränkt, dass das Bild der seitlich gelegenen Objecte auf der Retina zu Stande kommt, sondern dass die theoretische Retina eine mit der Sclerotica nahezu concentrische Kugelfläche bildet. Zweckmässig ist diese Brennfläche offenbar insofern gewählt, als sie sich nach den Gesetzen des intraoculären, hydrostatischen Druckes naturgemäss am leichtesten bildet. Aus der X. Tabelle geht endlich hervor, dass am Aequator und darüber hinaus die wirk-

liche Retina hypermetropisch eingestellt ist, was durch die Beobachtungen von Stammeshaus bestätigt worden ist.

Am Ende seiner Dioptrik (S. 240) drückt Stammeshaus sich folgendermassen über seine ophthalmoskopischen Versuche aus:

„Die ganz peripherisch gelegenen Parthien muss ich ausschliessen, da es fast zu schwer ist, hier ein sicheres Urtheil zu gewinnen wegen des immer schmalen werden des Gesichtsfeldes. Ich glaube aber, dass die Homocentricität hier nicht mehr gewahrt ist; die meridional verlaufenden Gefässe erscheinen gegen die Ora serrata hin gestreckt, strichförmig, wie wenn man Linien durch eine schiefgehaltene Glaslinie betrachtet.“

Auch über die letzte Erscheinung giebt unsere Figur 3 genügenden Aufschluss; die wahre Retina R_A oder R_H muss nämlich auch ausserhalb des Auges astigmatische Bilder geben, die je nach der Lage des beobachtenden Auges meridionale oder äquatoriale Verzerrungen erleiden.

Was den Winkel λ der Tabelle IX. betrifft, so giebt dieser den halben Durchmesser des Gesichtsfeldes an. Für dieses ist zum Theil das Vortreten der vorderen Linsenfläche durch die Pupillenebene, besonders aber die Weite der Pupillenöffnung massgebend. Setzen wir für die Accommodationsruhe eine Pupillenweite von 5,5 mm voraus und lassen die peripherische Grenze der empfindenden Netzhautschaale ausser Acht, so würde nach Tabelle V. a φ_0 etwa 70° , φ ungefähr 55° betragen, also von der Fovea centralis aus gerechnet die Ausdehnung etwa 95° betragen. Förster fand durch Messungen mittels des Perimeters die Ausdehnung des Gesichtsfeldes für das rechte Auge meines verehrten

Collegen Professor Aubert im Maximum gleich 95^0 *). Diese Zahlen bezeichnen zugleich die Grenze, über welche hinaus die schief einfallenden Strahlen, die noch das Kerncentrum der Linse treffen, vom Pupillenrande und vom Rande der Hornhaut abgeschnitten werden.

Fassen wir noch einmal genauer die Verhältnisse der astigmatischen Refraction in der Nähe der Retina in's Auge, so lässt sich ohne Zweifel noch eine experimentelle Untersuchung anstellen, ob es möglich ist, durch eine passende Combination sphärischer und cylindrischer Brillengläser die Wahrnehmung distincter Punkte beim indirecten Sehen (Nebenaugen) zu vervollkommen.

Es könnte dies jedenfalls mit Hülfe des Aubert'schen Perimeters bewerkstelligt werden, wobei man sich vorläufig auf die Untersuchung des horizontalen Meridians eines emmetropischen Auges zu beschränken hätte. Die Correction des astigmatischen Brillen Auges ist eingehend behandelt von Professor v. Hasner**). Wir entnehmen hier kurz dem Werke des genannten Physiologen die Correctionen, durch welche der Astigmatismus der seitlich gelegenen Parthien der Retina von Arlt gehoben werden kann und beziehen uns dabei auf die Figur 9 (S. 79). Die genannte Retina liegt in der Ebene der mit 2 und 3 bezeichneten Punkte zwischen denselben; von der Fovea centralis gegen den Aequator fortschreitend, nähert sie sich von 3 allmählig gegen 2 bis auf halbe Distanz dieser beiden Punkte. Das Nebenaugen ist mithin für den ersten Hauptnormalschnitt des Cornealmeridians myopisch, für den zweiten

*) Aubert, Physiologische Optik. S. 592—593.

**) v. Hasner. Das mittlere Auge in seinen physiologischen und pathologischen Beziehungen. § 31. Prag 1879.

hyperopisch eingestellt — gemischter Astigmatismus. Man kann nun entweder den Astigmatismus corrigiren durch eine cylindrische Collectivlinse, deren Axe senkrecht gegen den Meridian gerichtet ist und die Myopie durch eine sphärische Dispersivlinse; oder man kann auch den Astigmatismus corrigiren durch eine cylindrische Dispersivlinse, deren Axe parallel mit dem Meridian gelegen ist und die Hyperopie durch eine sphärische Collectivlinse. Dann wird bei geeigneter Wahl der Brillengläser, welche zusammen eine ellipsoidische vertreten, die normale Refraction hergestellt sein.

Der Astigmatismus des seitlich in die Pupille einfallenden ganzen Strahlenkegels ist ein ziemlich complicirter; denn es tritt

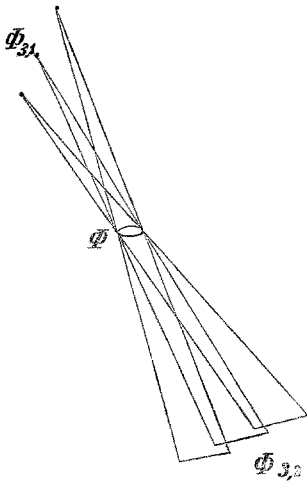


Fig. 4.

zu dem totalen Astigmatismus des Strahlenbüschels von endlichem Querschnitt noch ein partieller Astigmatismus der Strahlenbüschel von unendlich kleinem Querschnitt hinzu, in Folge dessen die beiden Brennlinien $\Phi_{3,1}$ und $\Phi_{3,2}$ (Figur 4) eines in der Meridionalebene in das Auge einfallenden Strahlenbandes sich in Lamellen verzerren, von denen die erstere $\Phi_{3,1}$

auf der Meridionalebene senkrecht steht, die zweite $\Phi_{3,2}$ in derselben gelegen ist. Sämmtliche, die Area der Pupille bestreichende, unendlich dünne Strahlenkegel haben eine Umhüllungsfläche, deren Minimalquerschnitt

ungefähr in mitten zwischen $\Phi_{3,1}$ und $\Phi_{3,2}$ gelegen ist, und ein Flächenelement Φ der theoretischen Retina bilden. Dieses ellipsenähnliche Flächenelement würde das Bild eines leuchtenden, seitlich in der Entfernung des fixirten Objectes gelegenen Punktes repräsentiren. Aber selbst dann, wenn sich bei vollkommener Homocentricität des gebrochenen Strahlenbündels jener Minimalquerschnitt auf einen Punkt reduciren sollte, würden doch schliesslich die Durchmesser der Empfindungskreise der Retina*) für die distincte räumliche Wahrnehmung ausgedehnter Objecte noch massgebend bleiben. Wir dürfen aber erwarten, dass in nicht ferner Zeit die vereinigten Kräfte der Physiologie und der Mathematik eine befriedigende Theorie der Periskopie des Linsen-
 auges schaffen werden, denn „der eroberte Besitz ist nur ein sehr unbeträchtlicher Theil von dem, was bei fortschreitender Thätigkeit und gemeinsamer Ausbildung die freie Menschheit in den kommenden Jahrhunderten erringen wird.“ (Kosmos).

Rostock, im Juli 1879.

*) Aubert, a. a. O., § 55, S. 589.