Resultate einiger ophthalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen.

Von

Dr. M. Reich aus Petersburg.

1872 ist in einer interessanten Arbeit von Mandelstamm und Schöler*) eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Constanten des Auges veröffentlicht. Mit Hilfe dieser Methode, deren Grundzüge den Verfassern von Professor Helmholtz vorgeschlagen wurden, wird die Entfernung zwischen dem Hornhautscheitel und der vorderen Linsenfläche (Pupillarebene) einerseits und zwischen ersterem und dem Scheitel der hinteren Linsenfläche anderseits — zwei Grössen, deren Kenntniss zur Berechnung der optischen Constanten und Cardinalpunkte des Auges ebenso wichtig ist, als eine absolut genaue Bestimmung derselben schwierig war — mit Hilfe eines Mikroskops genauer, viel einfacher und rascher ausgeführt, als mit Hilfe der früheren, ebenso geistreichen, aber complicirteren Methoden von Helmholtz**). Diese neue Methode stellt in der Ophthalmo-

*) Archiv f. Ophthalm. Bd. XVIII. 2.

**) Arch. f. Ophth., Bd. I., 2; pag. 31. 51 und and. Physiologische Optik. S. 18 u. and.

metrie einen Fortschritt dar, in Folge dessen die Anwendung der letzteren auch für klinische Zwecke in manchen Hinsichten sehr wesentlich erleichtert wird. Ich erlaube mir, das Wesentliche der Bestimmungsart beider obengenannten Grössen in wenigen Worten wiederzugeben.

Bestimmung des Abstandes der Pupillarebene vom Hornhautscheitel.

Ein modificirtes Mikroskop von Liebreich (Corneamikroskop^{*)}) wird vor dem zu untersuchenden, so viel wie möglich unbeweglichen Auge so eingestellt, dass der in das Mikroskop schauende Beobachter thunlichst scharf den Pupillarrand der Iris sieht. Darauf lässt man mit Hilfe einer sehr nahe vor dem Objectivende des Mikroskopes angeschraubten, um die verticale Axe drehbaren planparallelen Glasplatte, zwischen Cornea und letztere das Luftbild einer weit entfernten Gaslampenflamme fallen.

Dieses Bild, welches nur selten hinter die Glasplatte zu stehen kommt, wird durch eine Sammellinse (deren Brennweite am besten ungefähr $3\frac{1}{2}$ Zoll ist) entworfen, welche zwischen der weit zur Seite stehenden Lampenflamme und der Glasplatte, der letzteren ziemlich nahe, aufgestellt wird. Indem man nun die Linse hin und her bewegt, gelingt es leicht, das Luftbild der Flamme in eine solche Entfernung vor der Hornhaut zu bringen, dass das Spiegelbild des Luftbildes dem Beobachter sehr klar und scharf in der Pupillarebene erscheint, und also mit dem Irisrande zugleich deutlich gesehen wird. Darauf bestimmt man, nach Entfernung des beobachteten Auges, in welcher Entfernung vom Objecte (oder irgend einem beliebigen Punkte) des Mikroskopes sich die scheinbare Pupillarebene und das Luftbild der Flamme

^{*)} Bei Paetz und Flohr in Berlin kostet das „Mikrooptometer“ [von Schoeler und Mandelstamm so genannt] 36 Thlr.

befanden; die Differenz (da das Luftbild sehr selten hinter die Glasplatte kommt) beider Entfernungen drückt die Entfernung zwischen dem Luftbild und der scheinbaren Pupillarebene aus. Wenn z. B. das Luftbild (a) 15 Mm. von irgend einem Punkte des Objectives, die Pupillarebene (b) aber in einer Entfernung von 42 Mm. von demselben steht, so ist die Entfernung ($d = ab$) zwischen Luftbild und Pupillarebene = 27 Mm. Wenn die Krümmung der Hornhaut bekannt, so findet man auch leicht die Entfernung xb zwischen der scheinbaren Pupillarebene (oder, was ungefähr dasselbe ist, der vorderen Linsenfläche) und dem Scheitel der Hornhaut. Es ist uns nämlich d bekannt, d. h. die Summe der Entfernungen des leuchtenden Gegenstandes (a) und seines Spiegelbildes in b von der spiegelnden Fläche (der Hornhaut in x), deren Lage wir eben suchen. Wir können sagen $d = f_1 + f_2$. Dann wird in der allgemeinen Formel der conjugirten Brennweiten für spiegelnde Flächen

$$-\frac{1}{r} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}^*)$$

für unseren Fall uns r (der Krümmungshalbmesser) bekannt, und $f_1 = d - f_2$ sein.

Wir erhalten nun die Formel $-\frac{2}{r} = \frac{1}{d-f_2} + \frac{1}{f_2}$, aus welcher für f_2 ($= xb$) die nicht ganz bequeme Formel $f_2 = -\frac{d}{2} + \frac{d}{2} \sqrt{1 + \frac{r^2}{d^2}}$ erhalten wird. Letztere wird durch Annäherung, mit Hilfe des binomischen Lehrsatzes, in die zur Rechnung geeignetere Formel verwandelt:

$$f_2 = \frac{r}{2} \left(1 - \frac{r}{2d} \right).$$

($f_2 =$ scheinb. Abstand der Pupillarebene vom Hornhautscheitel).

*) Helmholtz. Physiol. Optik, pag. 45.
v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie, XX. 1.

Der wirkliche Abstand wird nun nach der bekannten Formel $\xi = \frac{x f_2}{x + f_1}$ *) berechnet.

Auf dem ophthalmologischen Congress in London (im August 1872) demonstirte Donders ein Instrument (ein Fernrohr, dessen Bewegung sehr genau abgemessen werden kann), welches gleichfalls für die Bestimmung der Tiefe der Augenkammer bestimmt ist. Das Instrument wird auf die vordere Hornhautfläche (ein Calomelkörnchen auf derselben) eingestellt; sodann ist die Bewegung, welche das Instrument anzeigt, beim Einstellen von der Hornhautoberfläche auf den Irisrand, die scheinbare Entfernung der vorderen Hornhautfläche von der vorderen Linsenfläche. Die Tiefe der Augenkammer fand sich auf diese Weise gemessen, merklich kleiner, als man bisher angenommen hatte. Um die Hornhautkrümmung zu messen, ist ausserdem noch ein kleiner Planspiegel erforderlich, welcher das Licht einer Flamme in das Auge des beobachteten Individuums reflectirt. Entfernt man das Licht hinreichend weit, so darf man annehmen, dass das Spiegelbild desselben, das von der Hornhaut entworfen wird, sich nahezu in dem Brennpunkt ihrer Krümmungsform befindet. Misst man auf die angegebene Weise die Entfernung der vorderen Hornhautfläche von diesem Hornhautspiegelbild, so findet man die Länge der Brennweite, welche mit 2 multiplicirt den Krümmungshalbmesser der Hornhaut giebt**).

Aus dieser Beschreibung sieht man, dass die neue Methode nach Helmholtz die Tiefe der vorderen Kammer zu messen, sich wesentlich von der Donders'schen unterscheidet.

*) Helmholtz. Arch. f. Ophth. Bd. I. 2, pag. 35.

**) Klinische Monatsblätter f. Augenheilk. 1872, S. 300.

Bestimmung des Ortes der hinteren Linsenfläche.

In ziemlicher Entfernung von dem untersuchten Auge, welches einen bestimmten Punkt, ungefähr in der Richtung der Axe des Mikroskopes fixirt, wird eine helle Gaslampenflamme oder das Bild der Sonne so angebracht, dass ein deutlicher Reflex (auch verdoppelt durch ein nach oben oder unten brechendes Prisma vor dem Auge) von der hinteren Linsenfläche im Centrum der Pupille erscheint. Bei unveränderter Stellung des untersuchten Auges wird nun das Objectiv des Mikroskopes so gestellt, dass der Beobachter ein scharfes Reflexbild von der Hornhaut sieht; darauf wird bestimmt, um wie viel das Objectiv aus- oder eingeschraubt werden muss, um die Reflexbilder der hinteren Linsenfläche (bei Ruhe und bei Accommodation) einzustellen. Auf diese Weise ist es nicht schwierig, auch den Abstand des Hornhautreflexbildes von dem Reflexbilde der hinteren Linsenfläche in beiden Fällen zu bestimmen. Wenn z. B. bei Einstellung des Spiegelbildes der Hornhaut das Objectiv auf 10,75 Millim. ausgeschraubt ist und, um das Reflexbild der hinteren Linsenfläche scharf einzustellen, man dasselbe ungefähr noch bis 11,5 Millim. hinausschrauben muss, so steht das Spiegelbild der Hornhaut 0,6 Mm. vor dem Reflexbild der hinteren Linsenfläche, denn $75,0 - 74,4^*) = 0,6$. Wenn im gegebenen Fall der Radius der Hornhautkrümmung gleich 7,4544 Mm. ist, so steht das Hornhautspiegelbild der Flamme 3,7272 Mm. und das der hinteren Linsenfläche $3,7272 + 0,6 = 4,3272$ Mm. hinter der Hornhautoberfläche.

Die mit Hilfe des Mikroskopes bestimmte Grösse (x) des Abstandes des Reflexes der hinteren Linsenfläche von der Hornhautoberfläche benutzen wir für die Be-

*) Bei den angeführten zwei Ausschraubungen des Objectives wird ein gespanntes Coconfadenkreuz in den Entfernungen 74,4 und 75,0 Mm. scharf gesehen.

rechnung des Abstandes (d) der hinteren Linsenfläche vom zweiten Hauptpunkte des Auges. Durch Rechnung (l. cit. pag. 175) finden wir die Formel

$$d = \frac{(x + q - p) F_2}{x + q - p + F_1}$$

in der F_1 und F_2 die Hauptbrennweiten des Auges, p den Abstand des ersten Hauptpunktes von der Hornhaut, q die Brennweite des spiegelnd brechenden Systems der hinteren Linsenfläche bedeutet.

Der wirkliche Abstand der hinteren Linsenfläche von der Oberfläche der Hornhaut ist $= d + p + \epsilon$, wo noch ϵ den Abstand der beiden Hauptpunkte von einander bedeutet.

Das gefundene d wird zur Berechnung des Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche, in die Formel

$$r = \frac{q (f_2 - d)^2}{\frac{1}{2} f_1 f_2 - q (f_2 - d)^*} \text{ eingeführt.}$$

Bei meinen Studien im Laboratorium des Herrn Professor Helmholtz habe ich einige detaillirte Messungen, sowohl mit dem Ophthalmometer, als auch nach der von Schoeler und Mandelstamm beschriebenen Methode ausgeführt, und erlaube mir die Resultate dieser Messungen zu veröffentlichen, da bis jetzt, so viel ich weiss, solche mit dem Mikroskop nur an zwei Augen bekannt geworden sind, und da ich auch die Gelegenheit benutzt habe, bei den Rechnungen die neuen, von Helmholtz neuerdings etwas modificirten Zahlen für die optischen Constanten und Cardinalpunkte des schematischen Auges anzuwenden. Ausserdem waren die von Schoeler und Mandelstamm zum ersten Male deutlich bewiesenen Ortsveränderungen des hinteren

*) Helmholtz Arch. f. Ophth. Bd. I, 2; Knapp ibid. Bd. VI, 2.

Linsenscheitels*) in zwei Augen bei der Accommodation so wichtig, dass eine Bestimmung derselben auch in anderen Augen wenigstens sehr interessant erschien. Endlich interessirten mich auch vergleichende Messungen mit dem Ophthalmometer und dem Mikroskop.

Ich führe die optischen Constanten und Cardinalpunkte des schematischen (accommodationslosen) Auges nach Helmholtz an:

	Mm.
Brechungsvermögen der wässrigen	
und gläsernen Feuchtigkeit . . =	1,3365
Brechungsvermögen (totales) der	
Krystalllinse =	1,4371 (statt $\frac{16}{11}$)
Krümmungsradius der Hornhaut . =	7,829 (statt 8)
Desgl. der vorderen Linsenfläche . =	10,0
Desgl. der hinteren Linsenfläche . =	6,0
Ort der vorderen Linsenfläche . . =	3,6
Ort der hinteren Linsenfläche . . =	7,2
Vordere Brennweite der Hornhaut . =	23,266
Hintere desgl. =	31,095
Brennweite der Linse =	50,671 (statt 43,707)
Abstand des vorderen Hauptpunktes	
der Linse von der vord. Fläche . =	2,12
Abstand des hinteren Hauptpunktes	
der Linse von der hint. Fläche . =	1,274
Abstand der beiden Hauptpunkte	
der Linse von einander . . . =	0,206
Hintere Brennweite des Auges . . =	20,719
Vordere Brennweite des Auges . . =	15,5025
Ort des vorderen Brennpunktes . . =	13,7525
Ort des ersten Hauptpunktes . . =	1,750

*) Bei Thieren ist ein Zurückweichen der hinteren Linsenfläche bei der Accommodation schon 1868 von Hensen und Völckers (Experimente über den Mechanismus der Accommodation. Kiel) bewiesen.

	Mm.
Ort des zweiten Hauptpunktes . .	= 2,115
Ort des ersten Knotenpunktes . .	= 6,966
Ort des zweiten Knotenpunktes . .	= 7,331
Ort des hinteren Brennpunktes . .	= 22,834.

Bei der Berechnung der optischen Constanten und Cardinalpunkte der von mir untersuchten Augen benutzte ich die Zahlen, welche bei Berechnung dieser Grössen für das accommodirte schematische (angeführte) Auge erhalten werden, wenn dabei für die Krümmungsradien der Linsenoberflächen 6 und 5,5 Millimeter beibehalten werden.

Die Bestimmung des Krümmungsradius der Hornhaut

führte ich ausschliesslich mit dem Ophthalmometer aus. Obgleich wohl diese Bestimmung leicht und rasch auch mit Hilfe des Mikroskopes (sowohl nach der Donders'schen, als auch nach der von Schoeler und Mandelstamm beschriebenen Methode) gemacht werden kann, so werden die durch diese mikrooptometrische Methode erhaltenen Zahlengrössen doch immer, wenn auch nur sehr unbedeutend, weniger genau sein, als die mit Hilfe des Ophthalmometers gefundenen, denn die Unabhängigkeit der Messungen von, wenn auch nur geringen, Schwankungen*) des Auges ist ein absolut unersetzlicher Vorzug des Ophthalmometers. Ausserdem wird die Mannigfaltigkeit der Anwendung des letzteren wohl nicht von dem Mikroskop erreicht werden können.

Der Krümmungsradius der Hornhaut (im horizontalen Meridian) wurde gefunden:**)

*) Zwar sind die Spiegelbilder der Hornhaut, um den Krümmungsradius zu ermitteln, nur in der Schoeler und Mandelstamm'schen Methode zu messen. Die Bestimmung des Radius nach Donders geschieht, wie wir gesehen, ohne die Messung der Spiegelbilder zu brauchen.

**) Als Mittelwerth aus mehreren Messungen.

bei Herrn H. (25 Jahre $M^{1/20}$) = 7,201 Millimeter.

bei Herrn G. (26 „ $M^{1/60}$) = 7,4544 „

bei Herrn S. (26 „ $M^{1/19}$) = 7,7939 „

Die Bestimmung des Abstandes des Hornhautscheitels von der Pupillarebene (Tiefe der vorderen Kammer) wurde sowohl mit dem Ophthalmometer (an 2 Augen bei Accommodation für die Ferne) als auch mit dem Mikroskop (an allen 3 Augen bei Accommodation für die Ferne und Nähe) ausgeführt:

Tiefe der vorderen Kammer.

Bei Ruhe		Bei Accommod.	
gemessen:		gemessen:	
	mit dem Ophth.	m. d. Mikrosk.	m. d. Ophth. m. d. Mikrosk.
H. H. {scheinb.	3,14885	3,120 (d = 27)	— 2,88 (d = 18)
{wirkliche	3,6696	3,639 *)	— 3,3924
H. G. {scheinb.	2,9091	3,1715 (d = 25)	— 2,801 (d = 15)
{wirkliche	3,636	3,708	— 3,3234
H. S. {scheinb.	—	3,0977 (d = 19)	— 2,7287 (d = 13)
{wirkliche	—	3,6516	— 3,2626

Bei den nachfolgenden Berechnungen ist die Tiefe der Kammer (Abstand der Pupillarebene von der Hornhautoberfläche) bei H. G. = 3,708 bei Ruhe und = 3,3234 bei Accommodation angenommen; denn bei mehreren Controlbestimmungen mit dem Mikroskop wurden nur ganz minimale Schwankungen erhalten, unmittelbar aufeinanderfolgende Bestimmungen mit dem Ophthalmometer ergaben relativ grosse Differenzen.

Der Grad der Ungenauigkeit der Bestimmung der Tiefe der Augenkammer vermitteltst des Ophthalmometers und die bedingenden Ursachen dieser Ungenauigkeit sind schon von Knapp**) und Schoeler***)

*) Bei der folgenden Berechnung ist, als Mittel 3,654 angenommen.

**) Ueber die Lage und Krümmung der Oberfläche der menschlichen Krystalllinse etc. Arch. f. Ophth. Bd. VI. 2.

***) L. cit. S. 159.

besprochen. Die sehr genaue Bestimmung der Tiefe der Kammer mittelst des Mikroskopes ist schon daraus zu ersehen, dass bei Controlbestimmungen nur sehr geringe Abweichungen vorkommen. Die Schärfe oder Undeutlichkeit des Spiegelbildes in der Pupillarebene ist leicht zu controliren. Wenn z. B. gefunden wird $d = 27$, bei einem Krümmungsradius der Hornhaut $= 8,148$, so ist die scheinbare Tiefe $= 3,4593$. Wenn bei Controlbestimmungen d wenig grösser oder wenig kleiner gefunden wird, so wird dadurch die Grösse für die Tiefe verhältnissmässig wenig beeinflusst. Wenn $d = 27$, ist die scheinbare Tiefe $= 3,4593$; bei $d = 26$ ist $T. = 3,4356$; bei $d = 28$ ist $T. = 3,4812$; bei $d = 29$ ist $T. = 3,5016$. Die Schwankungen von d müssen auch gewöhnlich, wenn sie vorkommen, nicht mehr als 1 oder 2 Millimeter ausmachen. Je kleiner aber d ist (z. B. bei Accommodation des Auges), einen desto grösseren Einfluss haben natürlich dieselben Schwankungsgrössen auf die berechnete Grösse der Augenkammertiefe.

Die Messungen der Krümmung der vorderen Linsenfläche wurden grösstentheils mittelst des Ophthalmometers ausgeführt (mit Anwendung von Sonnenlicht)*), da jeder der nicht ganz scharf begrenzten Reflexe von dieser Fläche bei der starken Vergrösserung durch das Mikroskop im Sehfelde eine so grosse Ausdehnung hatte, dass eine sehr genaue Bestimmung (Abmessung) der Entfernung derselben mit dem Mikrometer, besonders im nicht accommodirten Auge, mir unmöglich war. Dazu gesellten sich noch einige Schwankungen des Auges, welche die Abmessung auch nur erschweren konnten. Eine grössere Entfernung der Reflexe von ein-

*) Von Rosow (Petersburg) zuerst, dann von Woinow, Adamük, Schoeler angewendet.

ander (eine Vergrößerung des gespiegelten Objectes also) mit der Absicht, den Abmessungsfehler zu verringern, würde aber das Resultat der Berechnung des Krümmungshalbmessers der Linsenfläche merklich beeinflussen.

Zur Messung der Spiegelbilder der vorderen Linsenfläche ziehe ich überhaupt das Ophthalmometer entschieden vor; die Sonnenreflexe von derselben waren nur in einem Auge etwas schwächer und verwaschen, waren aber überhaupt völlig lichtstark genug, auch bei Verdoppelung derselben durch die Ophthalmometerplatten.

Von der vorderen Linsenfläche wurden, nach der Angabe von Helmholtz zwei Reflexe entworfen: der eine von einem directen Sonnenbilde (im Focus einer Convexlinse, welche die vom Spiegel des Heliostaten reflectirten Sonnenstrahlen sammelte), der andere vermittelt eines Prismas, welches in einiger Entfernung vom Auge mit der brechenden Kante nach unten oder oben aufgestellt wurde. Aus der Grösse des Bildes (β), der des Gegenstandes, (des Abstandes b zwischen den beiden Sonnenbildern) und der Entfernung a des letzteren vom Auge wurde auf die übliche Weise die Brennweite q des katoptrisch dioptrischen Systems vor der vorderen Linsenfläche berechnet. Nach Berechnung von q wurde der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche nach der üblichen Formel

$$r = - \frac{q (f_2 - d)^2}{\frac{1}{2} f_1 f_2 + q (f_2 - d)^*}$$

berechnet. Bei der Messung der Spiegelbilder im accommodirten Auge wurde das Fixationszeichen entsprechend genähert.

*) Knapp. l. cit. pag 33; Helmholtz. Archiv für Ophth. Bd. I., 2, pag. 49.

Tabelle (II) zur Bestimmung des Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche.*)

		H. H.	H. G.	H. S.	
		Ophth. Mikr.	Ophth. Mikr.	Ophth. Mikr.	
bei Ruhe. f. d. Nahe- punkt.	Bildgrösse B =	1,4034	1,4181	1,544 1,7?	
	q =	8,7835	8,7238	9,1267 9,28	1,7 × 2510
		$\frac{1,4043 \times 2660}{425}$	$\frac{1,4181 \times 2190}{356}$	$\frac{B \times 2660}{450}$	$\frac{460}{460}$
	r =	10,408	10,565	11,197	
	B =	0,59742	0,62872	0,902 0,95	
	q =	3,7392	4,8726	5,45 5,19?	
			$\frac{B \times 2480}{320}$		
	r =	5,9358	7,3822	8,2047	

Bei den weiteren Berechnungen wurden nur die mit dem Ophthalmometer gewonnenen Zahlen für B benutzt, da eine genaue Messung mit dem Mikrometer, wie oben angegeben, mir ziemlich schwierig war. (S. die letzte Rubrik der Tabelle.)

Die zur Berechnung des Krümmungshalbmessers der hinteren Linsenfläche nöthigen Messungen wurden sowohl mit dem Ophthalmometer als auch mit dem Mikroskop ausgeführt, wobei Sonnenreflexe benutzt wurden.

Zur Bestimmung des Ortes des hinteren Linsenscheitels bediente ich mich ausschliesslich des Mikroskops. Bei Anwendung des letzteren benutzte ich, (wenn die Sonne nicht da war) auch die helle Flamme einer Gaslampe; das Licht der letzteren erweist sich stark genug für das Zustandekommen deutlicher und scharfer Reflexe von der hinteren Linsenfläche.

*) In die Tabelle wurden für die Bildgrösse (B) Mittelwerthe aus mehreren Beobachtungen eingeführt.

Aus der Bildgrösse, der Objectgrösse und der Entfernung des Objectes vom Auge wurde q berechnet — die Brennweite des katoptrisch-dioptrischen Systems von der hinteren Linsenfläche. Nach Berechnung von q wurde der Radius der hinteren Linsenfläche nach der Formel $r = \frac{q (f_2 - d)^2}{\frac{1}{2} f_1 f_2 - q (f_2 - d)^*}$ berechnet, in der f_1 und f_2 die Brennweiten des Auges (aus dem schematischen Auge genommen) und d den Abstand der hinteren Linsenfläche vom zweiten Hauptpunkt des Auges (siehe die Einleitung) bedeuten.

Tabelle (III.) zur Bestimmung des Ortes und des Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche.

		H. H.		H. G.		H. S.	
		Ophth.	Mikr.	Ophth.	Mikr.	Ophth.	Mikr.
bei Ruhe.	Bildgrösse B =	0,53922	0,55	0,43995	0,4	0,4873	0,55
	$q =$	3,1993	3,286	2,7535	2,873	3,0572	3,001
		B. 2670		0,4 . 970		0,55 . 2,510	
		450		135		460	
	$x =$	4,2		4,3272		4,2969	
	$d =$	5,5324		5,3014		5,3182	
	$d + p + \varepsilon =$	7,6474		7,4164		7,4332	
	$r =$	6,5875		5,5373		6,2229	
	B =	0,45958	0,5	0,39401	0,35	0,4175	0,5
	$q =$	2,7269	2,988	2,466	2,51	2,6998	2,7391
bei Accommod. für d. Nahpunkt.		B. 2670					
		450					
	$y =$	5		4,8272		4,6969	
	$d =$	5,5256		5,2318		5,33	
	$d + p + \varepsilon =$	7,7817		7,4879		7,5861	
	$r =$	4,9872		4,5825		5,1976	

Bei den Berechnungen des Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche und des Abstandes (d) der letzteren vom zweiten Hauptpunkte des Auges benutzte ich (mit Ausnahme des Auges von H. S., für welches die mit dem Mikroskop gewonnenen Grössen benutzt wur-

*) Helmholtz. Arch. f. Ophth. Bd. I. 2, pag. 49.

den) für q eine Grösse, die aus ophthalmometrischen Daten gewonnen wurde, da für letztere mehr Controlmessungen gemacht waren, und da die Sonnenreflexe der hinteren Linsenfläche immer scharf und lichtstark, auch bei der Verdoppelung durch die Ophthalmometerplatten, erschienen. Ausserdem hatte eine absolut genaue Messung der Reflexbilder mit dem Mikrometer, bei einiger Beweglichkeit derselben und bei der noch nicht ganz genügenden Theilung des Mikrometers für mich doch einige Schwierigkeiten; so dass im gegebenen Falle diejenigen Zahlengrössen für q , welche mit Hilfe des Ophthalmometers gewonnen sind, wohl noch genauer sind.

In der nächstfolgenden Tabelle sind die optischen Constanten und Cardinalpunkte der von mir untersuchten Augen zusammengestellt, mit Zugrundenahme bei der Berechnung der oben angeführten Zahlen des Helmholtz'schen schematischen Auges.

(Tabelle IV.) Optische Constanten und Cardinalpunkte dreier Augen bei Ruhe und Accommodation.

	H. H.		D. G.		H. S.	
	Ruhe	Accom.	Ruhe	Accom.	Ruhe	Accom.
Krümmungs-Radius der Hornhaut(i. horiz. Mer.) =	7,201	—	7,4544	—	7,7939	—
Krümmungs-Radius der vorderen Linsenfläche =	10,408	5,9358	10,5650	7,3822	11,197	8,2047
Krümmungs-Radius der hinteren Linsenfläche =	6,5875	4,9872	5,5373	4,5825	6,2229	5,1976
Ort der Pupillarebene =	3,654	3,3924	3,708	3,3234	3,6516	3,2626
Ort der hinteren Linsenfläche =	7,6474	7,7817	7,4164	7,4879	7,4332	7,5861
Dicke der Linse . . . =	3,9934	4,3893	3,7084	4,1645	3,7816	4,3435
Grösse der Verdickung der Linse	0,3959		0,4561		0,5619	
Vordere Brennweite der Hornhaut (Φ_1) =	21,397		22,152		23,162	
Hinterere Brennweite der Hornhaut (Φ_2) =	28,596		29,607		30,956	
Brennweite der Linse (φ) =	54,492	37,048	49,063	38,502	53,959	43,254
Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von der vord. Fläche (h_1) =	2,3124	2,2825	2,3001	2,4493	2,2953	2,5303
Abstand des hinteren Hauptpunktes der Linse von der hint. Fläche (h_2) =	1,4635	1,9177	1,2055	1,5204	1,2757	1,6029
Abstand der beid. Hauptpunkte der Linse von einander =	0,2175	0,1891	0,2028	0,1948	0,2106	0,2103
Hinterere Brennweite des Auges (F_2) =	20,203	17,664	19,991	18,287	21,153	19,571
Vordere Brennweite des Auges (F_1) =	15,119	13,219	14,958	13,683	15,827	14,643
Ort des vorderen Brennpunktes (B_1) =	13,464	11,195	13,127	11,632	14,081	12,682
Ort des ersten Hauptpunktes (H_1) =	1,6554	2,0249	1,8317	2,0515	1,7461	1,9611
Ort des zweiten Hauptpunktes (H_2) =	1,9679	2,3579	2,1541	2,4019	2,0896	2,3209
Ort des ersten Knotenpunktes (K_1) =	6,7394	6,4699	6,8647	6,6555	7,0721	6,8891
Ort des zweiten Knotenpunktes (K_2) =	7,0519	6,8029	7,1871	7,0059	7,4156	7,2489
Ort des hinteren Brennpunktes (B_2) =	22,1709	20,0219	22,1451	20,6889	23,2426	21,8919
Abstand d. Hauptpunkte (resp. Knotenpunkte) des Auges =	0,3125	0,3330	0,3224	0,3504	0,3435	0,3598

	H. H.		D. G.		H. S.	
	Ruhe	Accom.	Ruhe	Accom.	Ruhe	Accom.
Abstand des zweiten Knotenpunktes d. Auges von dem hinteren Linsenscheitel nach vorn =	0,5955	0,9788	0,2293	0,4828	0,0226	0,3372
Grösse der Vorrückung des zweiten Knotenpunktes =	0,2490		0,1812		0,1667	
Abstand des zweiten Knotenpunktes v. Krümmungscentrum der Cornea im horizontalen Meridiane =	0,150	0,399	0,2673	0,4485	0,3783	0,5450
Grösse der Verschiebung des hinteren Linsenscheitels =	0,1343		0,0715		0,1529	

Aus dieser Tabelle ist ausser einigen Befunden (grösserer Brennweite und beträchtlicherer Dicke der Linse, grösserem Abstand des Ortes der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut, weniger starkem Vorrücken des zweiten Knotenpunktes des Auges), welche wohl keiner ausführlicheren Besprechung bedürfen, der Umstand ersichtlich, dass auch in den von mir untersuchten Augen, so wie in den Augen von Schoeler und Mandelstamm, die hintere Linsenfläche bei der Accommodation ihren Ort verändert, und zwar nach hinten zurückweicht (alle untersuchten Augen waren mehr oder weniger myopisch.) Die Grössen der Verschiebung (0,1343 — 0,0715 — 0,1529 Millim.) sind etwas kleiner, als in den Augen von Schoeler (0,3188 vorwärts) und Mandelstamm (0,3268 rückwärts); in dem nur sehr schwach myopischen Auge (M. $\frac{1}{60}$) von H. G. fand ich nach der Berechnung die Grössen der Verschiebung (0,0715 Millim.) am geringsten, so dass man sagen kann, dass in diesem Auge der Ort der hinteren Linsenfläche sich fast gar nicht verändert hatte.

Weiter ersieht man, dass sich der Krümmungs-

radius der hinteren Linsenfläche bei äusserst angestrengter Accommodation ziemlich bedeutend verkürzt; eine Verkürzung dieses Radius in solchem Grade kommt also, wie schon Schoeler und Mandelstamm mit Recht bemerken, wohl nicht ausschliesslich bei Presbyopen*) vor. Uebrigens finden wir eine verhältnissmässig bedeutende Zunahme der Krümmung der hinteren Linsenfläche auch schon in der von Woinow angegebenen Tabelle**), die sich nicht auf presbyopische Augen bezieht.

Ich habe Berechnungen angeführt, für welche sehr wichtige Daten (Abstände zwischen den brechenden Flächen) mittelst eines neuen Instrumentes gewonnen sind. Diese Daten sind genauer, als die durch frühere Methoden bestimmten, und ersetzen theilweise solche Grössen, die man gewöhnlich aus dem schematischen Auge nahm; und dies ist auch ein Fortschritt der Ophthalmometrie. — Was nun überhaupt die Vorzüge der neuen (mikrooptometrischen) Untersuchungsmethode vor der ophthalmometrischen betrifft, so sind dieselben von Schoeler und Mandelstamm ziemlich ausführlich besprochen. Meinerseits habe ich, wie aus den oben angeführten Bemerkungen schon zu ersehen ist, mich überzeugt, dass zur genauen und verhältnissmässig raschen Bestimmung der Lage der Pupillarebene und des Ortes der hinteren Linsenfläche wir im Mikrooptometer ein ganz unersetzliches Instrument besitzen, welches wohl bald auch bei klinischen Untersuchungen Verwerthung finden wird. Es bleiben nur immer eine absolut unbewegliche Aufstellung und einige technische Verbesserungen des Instrumentes zu wünschen.

Was aber die möglichst genaue Messung der von

*) Adamük und Woinow. Ueber die Accommodation der Presbyopen. Arch. f. Ophth. Bd. XVI. 1.

**) Klinische Monatsblätter f. Augenheilk. 1866, S. 474.

den spiegelnden Flächen des Auges entworfenen Bilder betrifft, so muss bei der Schärfe und Helligkeit der Reflexe bei Anwendung von Sonnenlicht und hauptsächlich bei der Unabhängigkeit der Messung von den beständigen, wenn auch nur sehr geringen Schwankungen des Auges — natürlich das Ophthalmometer vorgezogen werden.

Herrn Professor Helmholtz sage ich für die freundliche Belehrung und den vielfachen Rath, die mir von ihm während meiner Beschäftigung in seinem Laboratorium zu Theil wurden, meinen aufrichtigsten Dank.

Berlin, Ende Februar 1874.