

Ueber die Beziehung der Drucksteigerung zu der Formveränderung und der Volumzunahme am normalen menschlichen Auge, nebst einigen Bemerkungen über die Form des normalen Bulbus.

Von

Prof. W. Koster Gzn.
in Leiden.

Mit Taf. XIII und 6 Figuren im Text.

Vor Kurzem hatte ich Gelegenheit, die Methode zur Bestimmung der Form des Auges bei verschiedenen Druckhöhen in seinem Inneren, welche ich vor zwei Jahren veröffentlicht habe¹⁾, bei einem völlig frischen menschlichen Auge zu verwerthen. Ueberdies konnte ich bei demselben Bulbus mit dem Manometer bestimmen, um wie viel der intraoculare Druck jedes Mal anstieg, wenn ein gewisses Quantum Flüssigkeit in den Bulbus hinein gepresst wurde. Die Resultate dieser Experimente gebe ich im Folgenden wieder.

Das Auge stammte von einem Patienten mit einem weit fortgeschrittenen Epitheliom des unteren Lides; es hatte vor der Enucleation, welche bei der Behandlung auf der chirurgischen Abtheilung für nöthig gehalten wurde, Sehschärfe $\frac{6}{6}$, war emmetrop und von völlig normaler Beschaffenheit.

Sofort, nachdem es entfernt war, wurde mit einem Linearmesser eine Öffnung durch den Stumpf des Sehnerven bis in den Glaskörper angelegt und eine Canüle von 1,2 mm Durchmesser des Lumens sorgfältig eingebunden, und noch mittels eines Stiches mit der Nadel durch die Nervenscheide befestigt, um bei den höheren Druckstufen einer etwaigen Verschiebung vorzubeugen. Es wurde dann ziemlich viel Glaskörper unter leichtem

¹⁾ IX. Congrès internat. d'ophtalm. in Utrecht 1899. On the elasticity of the Sclera and its relation to the development of Glaucoma und v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XLIX. 3: Eine Methode zur Bestimmung der Aenderungen, welche in der Gestalt des Auges bei Aenderung des intraocularen Druckes auftreten. 1900.

Rühren mit einem Stäbchen in demselben vorsichtig ausgepresst; dann wurde der Inhalt mit 0,9 % Kochsalzlösung nachgefüllt und der Bulbus mit dem Leber'schen Filtrationsmanometer verbunden; die Spritze desselben enthielt ebenfalls 0,9 % NaCl-Lösung. Das Auge hing in der Höhe des Nullstriches, mit der Cornea nach unten, und wurde so tief in einem Gefäss mit 0,9 % NaCl-Lösung untergetaucht, dass das Niveau genau die obere Seite der Sklera berührte; wir dürfen also annehmen, dass, wenn der Druck im Manometer auf 0 gestellt wurde, der intraoculare Druck genau gleich 0 war. Mittels des Untertauchens wurde zu gleicher Zeit das äussere Volumen des Bulbus auf 8500 cmm bestimmt; es wurde dann so verfahren, dass jedes Mal der Druck mittels des Stempels am Quecksilberreservoir soviel erhöht wurde, dass das Quecksilber an der Seite des Auges 5 mm anstieg; am anderen Rohr stieg dann das Hg natürlich in stärkerer Masse; es war dann also so viel Flüssigkeit in das Auge hineingepresst, wie dem Inhalt von 5 mm Länge des Rohres entsprach; dies beträgt für mein Instrument 9 cmm. Der Unterschied im Stande der Hg-Säulen gab also jedes Mal den dazu gehörigen Druck an. Mittels der Wasserspritze wurde dann nach jeder Bestimmung das Hg in dem dem Auge zunächst gelegenen Rohre auf 0 zurückgeführt und im anderen Rohr auf die Druckhöhe gestellt, welche bei der vorigen Einpressung von Wasser im Auge gefunden worden war. Natürlich immer bei offenem Stande des Hahnes, der nach dem Auge führte.

Diese Bestimmungen mussten wegen der fortwährenden Filtration aus dem Auge sehr schnell ausgeführt werden; die Hände bewegten zur selben Zeit die Spritze und den Quecksilberstempel, und der Blick musste schnell von der einen Seite des Quecksilberniveaus zur anderen hin und her schweifen, um richtig einzustellen und sofort die Druckhöhe abzulesen.

Die Methode hat ihre Schwierigkeiten und ihre Fehler, aber sie schien mir die beste. Die Versuchsanordnung, welche Schultén¹⁾ benutzt hat, um zu untersuchen, wie viel Flüssigkeit bei der Druck-erhöhung eindringt, scheint auf den ersten Blick besser, da sie vom theoretischen Standpunkte aus den Fehler, welcher die Folge von der Filtration während der Zeit einer einzigen Bestimmung ist, zu eliminieren sucht. Dies geschieht so, dass erst der Druck mittels des Manometers mit weitem Lumen der Hg-Röhre um ein Gewisses erhöht und die Verschiebung der Luftblase im engen Rohr, welche als Indicator dient, notirt wird; nennen wir dies z. B. *a*. Dann wird das Hg wieder auf den ursprünglichen Stand zurückgeführt und wieder die Verschiebung der Luftblase notirt; sei dies z. B. *b*. Dann ist *a* die Filtration plus der Volumzunahme, und *b* die Filtration minus derselben, und durch eine kleine Rechnung ist die letztere zu finden. Wahrscheinlich hat das Schultén'sche Mano-

¹⁾ Schultén, M. W. v., Experimentelle Untersuchungen über die Circulationsverhältnisse des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. 3. 1884.

meter eine Weite der Quecksilberröhre, welche es möglich macht, die Druckänderung schnell und mit gleichmässigem Tempo auszuführen und welche dennoch keine nennenswerthe Aenderung im Hg-Niveau an der Seite des Auges eintreten lässt; bei dem Leber'schen Filtrationsmanometer fand ich, dass die Methode keine zuverlässigen Resultate gab, da die Volumzunahme im Verhältniss zur Filtration in der Zeit des Versuches zu unbedeutend wurde und die Unregelmässigkeiten der Filtration also zu grossen Einfluss gewannen. Ich habe daher wieder die vorher beschriebene Methode gewählt und also das Manometer benutzt, welches für die eigentliche Bestimmung des intraocularen Druckes angewandt ist.

Tabelle I.
Normales emmetropes menschliches Auge.

Sofort nach der Enucleation beim lebenden Menschen: Versuch mit 0,9% NaCl			24 Stunden nach der Enucleation: Versuch mit Olivenöl im Inneren des Auges		
Volum des Auges bei 0 mm Hg 6500 cmm	Drucksteigerung in mm Hg	Volum- zunahme pro mm Hg in cmm	Volumzunahme in cmm	Drucksteigerung in mm Hg	Volum- zunahme pro mm Hg in cmm
0— 9	0— 1	9	0— 9	0— 2	4,5
9— 18	1— 3	4,5	9— 18	2— 4	4,5
18— 27	3— 5	4,5	18— 27	4— 5	9
27— 36	5— 7	4,5	27— 36	5— 7	4,5
36— 45	7— 9	4,5	36— 45	7— 10	3
45— 54	9— 13	2,25	45— 54	10— 13	3
54— 63	13— 19	1,5	54— 63	13— 17	2,25
63— 72	19— 28	1,0	63— 72	17— 20	3
72— 81	28— 32	2,25	72— 81	20— 23	3
81— 90	32— 39	1,3	81— 90	23— 26	3
90— 99	39— 53	0,6	90— 99	26— 29	3
99— 108	53— 70	0,5	99— 108	29— 35	1,5
108— 117	70— 80	0,9	108— 117	35— 41	1,5
117— 126	80— 90	0,9	117— 126	41— 46	1,8
126— 135	90— 100	0,9	126— 135	46— 51	1,8
135— 144	100— 110	0,9	135— 144	51— 57	1,5
			144— 153	57— 62	1,8
			153— 162	62— 67	1,8
			162— 171	67— 73	1,5
			171— 180	73— 79	1,5
			180— 189	79— 85	1,5
			189— 198	85— 92	1,3
			198— 207	92— 104	0,75
			207— 216	104— 112	1,1
			216— 225	112— 121	1
			225— 234	121— 129	1,1
			234— 243	129— 136	1,3

Die Resultate dieser Versuchsreihe sind in der obenstehenden Tabelle I verzeichnet. Die Bestimmung nahm ungefähr eine Stunde

in Anspruch. Höher als 110 mm Hg wurde der Versuch nicht geführt, da die Filtration dabei zu viel Einfluss zu gewinnen anfing und ich überdies das Auge noch nicht den unphysiologischen Druckhöhen aussetzen wollte, um es für die nachfolgenden Versuche über die Formveränderung nicht unbrauchbar zu machen. Dann wurden die Gypsabgüsse ausgeführt, die ungefähr acht Stunden hinter einander in Anspruch nahmen; über die letzteren berichte ich sofort. Am nächsten Tage, 24 Stunden nach der Enucleation, wurde das Auge, welches vom Manometer abgenommen und in der Kälte aufbewahrt worden war, mit Olivenöl gefüllt, nachdem die Linse durch äusseren Druck ebenfalls von ihrer Stelle entfernt und zerquetscht worden war. Es wurde dann ein ähnlicher Versuch angestellt wie am vorigen Tage mit dem frischen mit 0,9 % NaCl gefüllten Auge. Ich hatte jetzt den Vortheil, dass nur eine äusserst langsame, gar nicht störende Filtration stattfand, wodurch die Bestimmungen der Volumzunahme bei den verschiedenen Druckhöhen mit Genauigkeit und in aller Ruhe ausgeführt werden konnten. Fehler konnten sich dabei nicht einschleichen, und der Versuch konnte bis 136 mm Hg weiter geführt werden. Dies schien mir für die Kenntniss der physiologischen Verhältnisse genügend hoch. Die Resultate dieser Versuchsreihe finden sich in derselben Tabelle I. In der Fig. 1 sind überdies die Resultate beider Messungen graphisch dargestellt worden.

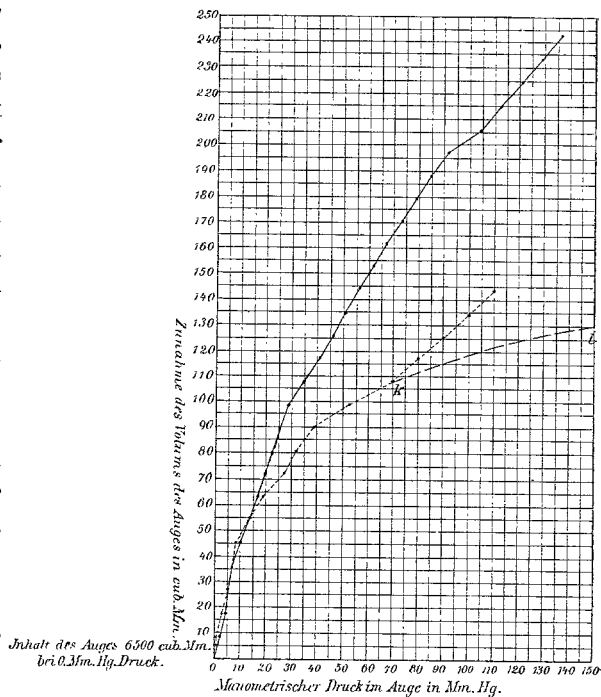


Fig. 1.

In der dritten und der sechsten Colonne der Tabelle I ist die Volumzunahme pro mm Hg, für jeden Abschnitt der Drucksteigerung

berechnet, angegeben. Bei dem Versuch mit dem Olivenöl hat diese natürlich am meisten Werth, da sich dabei keine Fehler durch Filtration eingeschlichen haben; diese Zahlenreihe habe ich in der Fig. 2 graphisch dargestellt und zwar der Uebersichtlichkeit wegen in Zehntel von cmm. Wir thun am besten, die beiden Figuren in Zusammenhang mit den Resultaten der Abgüsse zu besprechen.

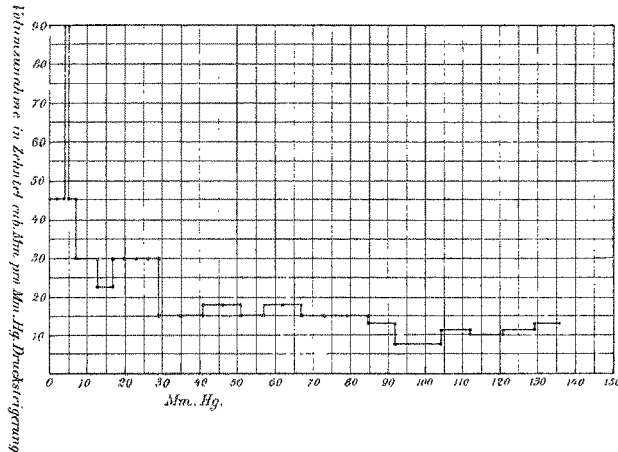


Fig. 2.

Die Gypsabgüsse wurden im Grossen und Ganzen angefertigt, wie dies in meiner früheren Mittheilung beschrieben worden ist. Nur wurde jetzt anstatt des gehobenen Trichters das Filtrationsmanometer benutzt, um eine constante Druckhöhe während des Erstarrens des Gypsbreies zu unterhalten. Für die zwölf Abgüsse erwies sich als nothwendig, die gefärbten Linien dann und wann nachzufärben, um deutliche Vergleichspunkte zu erhalten. Für den niedrigsten Druck wurde mit Rücksicht auf die breiige Consistenz des Gypses nicht Null, sondern 3 mm Hg gewählt, damit der Gyps keine Eindrücke im Auge machen könnte. Ueberdies wurde in diesem Falle mehr Wasser zugefügt, derart, dass der Gyps im Anfange des Gusses beinahe wasserdünn war. Für den Druck von 100 mm Hg wurde der Gypsbrei dicker bereitet, erstens damit er etwas Filtrationswasser aus dem Auge aufsaugen könne, und zweitens damit nach fünf Minuten der Gyps so weit erstarrt war, dass ohne Gefahr für die Genauigkeit der Form der Druck im Inneren des Auges erniedrigt werden konnte. Die Filtration erwies sich auch jetzt für die Genauigkeit des Abgusses als unschädlich, nur dauerte dadurch der Erstarrungsprocess beträchtlich länger. Das Reinigen des Auges geschah jedes Mal mit einem Tüchlein mit etwas Olivenöl; vor dem neuen Abguss wurde wieder mit reinem Oel eingerieben, um dem Anhaften des Gypses möglichst vorzubeugen. Es ist begreiflich, dass, nachdem dieser Process zwölf Mal vorgenommen worden war, das Aeussere des Bulbus ziemlich gelitten hatte; dennoch waren die Abgüsse sehr brauchbar, wie die beigegebenen Umrisse zur Genüge beweisen. Wie früher ausführ-

lich mitgetheilt worden ist, erhielt ich diese auch jetzt wieder, indem der Abguss bis zu einer angemarkten Stelle abgeschliffen und der Boden des Schälchens mit dem Messer in grosser Ausdehnung entfernt wurde, worauf von innen aus mit einem harten Bleistift die Grenze auf Carton nachgezogen werden konnte.

Ich lasse jetzt erst die Tabelle II folgen, worin die Hauptmasse, welche mittels der Methode gewonnen wurden, übersichtlich zusammengestellt sind ¹⁾. Auf der Taf. XIII sind überdies die betreffenden Linien eingezeichnet worden, damit weitere Vergleichung der Schnitte für andere Zwecke immer noch möglich sei. Um die Unterschiede zwischen den verschiedenen Schnitten einer und derselben Sorte in allen Dimensionen zu ermöglichen, sind auf der Tafel XIII die Schnitte zwei zu zwei über einander gezeichnet worden, und zwar so, dass bei der Serie *A* der angemarkte temporale Punkt als Ausgangspunkt der Vergleichung diene, und bei den Serien *B* und *C* die angemarkten Grenzen der Cornea.

Aus der Tabelle II ersehen wir dann erstens, dass eine und dieselbe Dimension in zwei verschiedenen Abgüssen vorkommt. Dies ermöglicht eine sehr werthvolle Controle der Methode. Der verticale Durchmesser findet sich unter *A* und unter *B*, und wir sehen, dass derselbe an beiden Abgüssen genau gleich gross gemessen wurde bei 3 und 10 mm Hg und bei *B* nur 0,25 mm grösser bei 25 und 100 mm Hg. Dieser Unterschied fällt in das Bereich der zu erwartenden kleinen Fehler. Der optico-corneale Durchmesser findet sich unter *B* und *C* und auch hiervon dürfen wir sagen, dass die Uebereinstimmung sehr befriedigend ist; wir müssen überdies bedenken, dass diese Grösse am Abguss *C* eher etwas kleiner erwartet werden konnte, da dieser Durchschnitt unterhalb des Sehnerven liegt, während am Abguss *B* derselbe genau der Achse des Auges entspricht; dies stimmt bei 10, 25 und 100 mm Hg genau, die letzteren Masse sind alle 0,25 oder 0,5 mm länger; nur bei 3 mm Hg ist das Mass von *C* 0,5 mm länger; entweder besteht hier ein kleiner Fehler oder es liegt die Verlängerung dieser Dimension um 1 mm bei der Drucksteigerung von 3 bis 10 mm Hg sehr in der Nähe der ersteren Druckhöhe, wodurch im Falle *C*, da der Druck dort eine Spur höher gewesen sein kann, schon eine beginnende Verlängerung der Augenachse stattgefunden hat. Dass der Unterschied zwischen diesem Mass bei *B* und *C* nicht grösser ist, stimmt damit überein, dass der Radius der hinteren

¹⁾ Um nicht missverstanden zu werden, theile ich noch mit, dass die in zwei Decimalen angegebenen Zahlen nicht beanspruchen, eine damit übereinstimmende Genauigkeit zu besitzen. Die Messungen wurden an den Zeichnungen ausgeführt mittels in halben Millimetern vertheilten Stäbchen, und die Zahlen sind bis in Viertelmillimeter genau.

Tabelle II.

Masse der Gypsabgüsse eines normalen emmetropen menschlichen Auges bei verschiedenen Druckhöhen.

		bei 3 mm Hg	bei 10 mm Hg	bei 25 mm Hg	bei 100 mm Hg
A. Äquatorialer Durchschnitt	nas.-temporaler Durchmesser	26,50 mm	26,75 mm	26,50 mm	26,25 mm
	verticaler Durchmesser	26,00 mm	26,00 mm	26,00 mm	25,50 mm
B. Verticaler meridionaler Schnitt	verticaler Durchmesser	26,00 mm	26,00 mm	(26,25 mm)	(25,75 mm)
	optico-cornealer Durchmesser	24,00 mm	25,00 mm	25,25 mm	25,25 mm
	Radius der Hornhautoberfläche (vertical)	8,50 mm	8,50 mm	8,50 mm	8,50 mm
	verticale Breite der Hornhaut	12,75 mm	12,75 mm	13,00 mm	13,00 mm
C. Horizontaler meridionaler Schnitt, gerade unter dem Sehnerven	nas.-temporaler Durchmesser	26,00 mm	25,75 mm	25,75 mm	25,75 mm
	optico-cornealer Durchmesser	(24,50 mm)	(24,75 mm)	(24,75 mm)	(25,00 mm)
	Radius der Hornhautoberfläche (horizontal)	9,50 (?) mm	9,00 mm	9,00 mm	9,00 mm
	horizontale Breite der Hornhaut	14,50 (?) mm	14,25 mm	14,50 mm	14,50 mm

Die in Klammern gefassten Zahlen sind aus in dem Text entwickelten Gründen die weniger zuverlässigen.

Bulbusfläche sehr gross ist; der Mittelpunkt ist nicht weit von der Cornea entfernt. Auffallender ist der Einfluss der in leichtem Grade schiefen Lage des horizontalen Schnittes *C* bei dem nasal-temporalen Durchmesser, verglichen mit dem äquatorialen Schnitte *A*. Im letzteren Falle ist er bei 3 mm Hg 0,5 mm grösser; bei 10 mm Hg 1 mm; bei 25 mm Hg 0,75 mm und bei 100 mm Hg 0,5 mm. Verständlich wird auch dies, wenigstens theilweise, wenn wir sehen, dass bei Verschiebung der Schnittfläche nach unten in dem nahezu kreis-

förmigen äquatorialen Schnitte *A* bald eine Verkleinerung des Durchmessers bemerkbar werden muss. Dass bei allen Druckstufen der Unterschied nicht genau gleich gross ist, könnte darauf hinweisen, dass die Aenderung der Dimensionen nicht überall in gleicher Stärke stattfände und nicht immer in einem und demselben Tempo aufträte; die Messung der äquatorialen Schnitte zeigt aber, dass die Länge einer Linie in der unteren Hälfte parallel dem betreffenden Durchmesser gezogen und zwar in einer Entfernung von ca. 2,5 mm, nicht Differenzen von 0,5, 0,75 und 1 mm aufweist, sondern nur von 0,5 und höchstens von 0,75 mm; es besteht also beim Drucke von 25 mm Hg ein Fehler von 0,25 mm; dieser muss daraus erklärt werden, dass der Gyps ein bischen zu weit abgeschliffen worden ist, was an jener Stelle sofort einen Unterschied geben kann, da die äquatoriale Krümmung dort eben anfängt sich mehr bemerkbar zu machen.

Der Radius der Hornhautoberfläche in verticaler Richtung (*B*) beträgt für alle Druckstufen 8,5 mm. Natürlich gestattet die Methode nicht zu behaupten, dass absolut keine Aenderung der Corneakrümmung in dieser Richtung stattgefunden hat; ophthalmometrische Messungen sind in dieser Richtung von grösserem Werth. Werthvoll ist aber unsere Beobachtung, dass keine makroskopisch messbaren Aenderungen in der Form dieses Meridians der Hornhaut eingetreten sind, wie die Umrisse auf der Taf. XIII, wo dieselben zwei zu zwei über einander gezeichnet sind, deutlich erkennen lassen. Nur bei *B* 100 und *B* 25 ist eine Spur Ausdehnung bei dem höheren Drucke sichtbar. Aehnliche Beziehungen sehen wir (bei *C*) für den Radius der Cornea im horizontalen Meridian; derselbe beträgt überall 9 mm; nur beim Druck von 3 mm Hg ist die Messung zweifelhaft, da bei diesem Guss der letzten Serie gerade am Cornearande ein kleiner Defect besteht. Die Tafel XIII *C* zeigt wieder, dass die ganze Lage der Cornea bei den Druckänderungen sich unverändert gehalten hat.

Zu den Grössen des Hornhautradius bemerke ich, dass die Ueberlegenheit des horizontalen Meridians mit der bekannten Thatsache des physiologischen Astigmatismus, mit der grössten Brechung in verticaler Richtung, übereinstimmt. Zwar würde dem Unterschiede von 0,5 mm Radius ein ziemlich hoher Grad von Astigmatismus entsprechen, aber es sei hier wieder darauf hingewiesen, dass diese Masse die Hauptkrümmung der Hornhaut wiedergeben und keinesfalls die ophthalmometrisch gemessene Wölbung im Centrum der Cornea, welche bekanntlich etwas weniger als 8 mm beträgt. Ueberdies weisen

auch die ophthalmometrischen Befunde eine Abnahme der Krümmung nach der Peripherie der Cornea auf. Hiermit steht also unser makroskopisch mit dem Zirkel gemessener Durchschnittswerth durchaus in Einklang.

Die Breite der Hornhaut habe ich gemessen an dem Punkte, wo die Krümmung des Auges sichtbar geändert wird und die glatte Wölbung der Vorderfläche des Auges ebenfalls aufhört. Im anatomischen Sinne habe ich dieselbe also zu gross gewählt, da am Rande dieses Theiles die Beschaffenheit des Gewebes schon durchaus dem Bau der Sklera entspricht. Aber vom morphologischen Standpunkte schien mir diese Art der Messung am meisten Werth zu haben, und überdies wäre sonst die Annahme einer Grenze der Cornea ziemlich willkürlich gewesen, da am Leichenaugen noch viel schwieriger als während des Lebens am Limbus ein Punkt gewählt werden kann, der als Uebergangsstelle zwischen der Hornhaut und der Sklera betrachtet werden kann. Wir finden in der Tabelle die Breite der Cornea also viel grösser als während des Lebens, wo sie bekanntlich gewöhnlich auf 10,5 mm gemessen wird. In verticaler Richtung beträgt sie 12,75 (resp. 13) mm; im horizontalen Meridiane 14,25 (resp. 14,50) mm. Die kleinen Differenzen können als kleine Fehler beim Abzeichnen der Grenzen betrachtet werden. Der Unterschied in der Breite, welcher 1,5 mm beträgt, entspricht erstens theilweise der Differenz der Hornhautradien in den betreffenden Meridianen, aber zweitens auch einer weiteren Ausbreitung der Cornea nach der Peripherie im horizontalen Schnitte; dass dies der Fall ist, sieht man aus der grösseren Höhe des Hornhautkugelsegmentes in der Serie *C*, verglichen mit *B* (Taf. XIII). Die Hornhautbasis ist also keine Ebene, sondern eine cylindrisch gebogene, nach vorn convexe Fläche mit verticaler Achse; dass dies der Wirklichkeit entspricht, kann man vielen normalen Augen schon bei genauer Betrachtung ansehen. Es sei noch darauf hingewiesen, dass wir hier den kleinen Fehler, der aus der geringen schiefen Lage des horizontalen Schnittes erwächst, vernachlässigt haben.

Die Hornhautachse kann bei dem hier untersuchten Auge als die Achse des Auges betrachtet werden. Zwar werden wir sehen, dass keine Gleichheit oder Symmetrie zwischen der oberen und der unteren oder der rechten und der linken Augenhälfte nachgewiesen werden konnte, und in diesem Sinne kann also von einer eigentlichen Augenachse, da der Bulbus kein Rotationskörper ist, nicht die Rede sein. Aber wenn wir sehen, dass die Corneaachse, sowohl in dem verticalen als auch in dem horizontalen Meridian, den äquatorialen

Durchmesser des Auges in allen Abgüssen fast genau halbirt, mit Differenzen von nur 0,25 mm; und wenn wir ferner constatiren, dass der äquatoriale Durchschnitt des Auges (*A* Taf. XIII) einem Kreise ziemlich ähnlich ist, und jedenfalls die grössten naso-temporalen und verticalen Durchmesser dieser Fläche einander ebenfalls halbiren, so ist ein genügender Grund vorhanden, von einer Augennachse zu sprechen und überdies festzustellen, dass in dem vorliegenden Falle die Achse der Cornea und des Bulbus zusammenfallen.

Die Länge der Augennachse, welche wir, wie wir vorher gesehen haben, am besten an dem verticalen Schnitte *B* studiren, beträgt beim normalen intraocularen Drucke von 25 mm Hg 25,25 mm. Bei 100 mm Hg hat dieselbe sich nicht messbar geändert; nur weist die Zeichnung *B* 25 und 100 auf Taf. XIII eine kleine Verlängerung auf. Bei 10 mm Hg wird die Augennachse 0,25 mm kürzer, und bei 3 mm Hg noch 1 mm. Die einander deckenden Zeichnungen zeigen uns aber weiter, dass am nasalen hinteren Theil des Bulbus die stärkste Vergrösserung des Augeninhaltes stattfindet, da dort (siehe Taf. XIII *C*) sowohl bei der Drucksteigerung von 3 bis 10, als auch bei derjenigen von 25 bis 100 eine beträchtliche Verschiebung der Sklera nach aussen (um ungefähr 1,5 mm im Ganzen) stattgefunden hat.

Die horizontalen und verticalen äquatorialen Durchmesser zeigen das Eigenthümliche, dass die Zahlen bei höherem Druck kleiner sind, als bei niedrigerem, oder wohl unverändert bleiben; nur mit der Ausnahme von der Zunahme um 0,25 mm beim horizontalen Durchmesser bei der Erhöhung von 3 auf 10 mm Hg. Aber deutlicher noch als aus der Tabelle ersehen wir wieder aus den Zeichnungen der Taf. XIII *A*, dass die Augennachse besonders temporal oben und unten eine Tendenz hat, sich bei höherem Druck im Auge mehr nach dem Inneren des Auges hin zu bewegen. Die verticalen Masse sind alle kleiner als die horizontalen, was mit der geringeren Höhe der Cornea übereinstimmt.

Ich bemerke hier sofort, dass diese äquatorialen Durchmesser alle (um fast 1 mm oder mehr) grösser gefunden wurden als die Achse des Auges. Die Unterschiede der Augenmasse bei den verschiedenen Druckhöhen bleiben auch hier wieder klein.

Die meridionalen Schnitte zeigen noch, dass der vordere Skleraltheil des Auges nahezu unverändert bleibt. Dieser Theil ist konisch gebildet und setzt sich fast ohne merkliche Aenderung der Richtung in der Hornhaut fort. Aus den übrigen Theilen dieser Schnitte erhellt ebenfalls wieder, was an den anderen schon gefunden wurde.

Zusammenfassend können wir also sagen, dass die Bulbuswand bei Erhöhung des intraocularen Druckes nur sehr wenig nachgiebt; dass besonders der vordere, konisch gebildete Abschnitt des Auges so zu sagen keine Formveränderung erleidet; dass der Raum des Auges sich zu vergrössern sucht, indem zuerst bei den niederen Druckstufen die hintere ziemlich flache Wand etwas nach aussen verschoben wird, während bei den höheren Druckstufen diese Stelle sich noch mehr nach aussen bewegt, aber zugleich die äquatoriale Gegend, besonders die temporale obere und untere Seite, sich mehr dem Inneren des Auges nähern.

Diese Formveränderung des Auges wird durch die Ausdehnung der Sklera und durch das Bestreben des Auges, sich der Kugelgestalt zu nähern, verursacht. Es scheint wohl, dass der erste Factor beim menschlichen Auge äusserst gering ist; denn an der vorderen Hälfte des Auges, wo die Sklera bekanntlich am dünnsten ist, merken wir fast keine Aenderung der Form. Dagegen sehen wir, dass die hintere, dickere Sklera zurückweicht und zwar schon relativ beträchtlich bei geringer Drucksteigerung; diese hintere Wand ist ziemlich flach, und kann dadurch mittels einer geringen Kraft schon etwas nach aussen gebogen werden. Um diese Biegung zu ermöglichen, müssen die äusseren Schichten des Skleragewebes eine Spur gedehnt, die inneren ebenso viel zusammengepresst werden, aber für eine beträchtliche Biegung beträgt dies noch äusserst wenig; ferner ist für das Zustandekommen der Biegung nöthig, dass die Enden eines Durchschnittes dieses hinteren flachen Theiles sich einander eine Spur nähern; auch dies beträgt relativ sehr wenig und wird im Anfange kaum messbar sein. Die erste Formveränderung des Auges muss also hauptsächlich durch Erstrebung der Kugelgestalt zu Stande kommen. Auch der Einwand, der möglicherweise gemacht werden konnte, dass eine Dehnbarkeit der Sklera nur in einer Richtung, nämlich von vorn nach hinten, die Formveränderung erklären könnte, ist unhaltbar. Abgesehen davon, dass dies schon eine sehr sonderbare Eigenschaft des Gewebes sein müsste, würde dabei auch die Form des Auges bei dem höheren Drucke eine andere sein müssen, und zwar müsste die ganze hintere ziemlich flache Wand sich parallel an sich selbst nach aussen verschoben haben, und dies ist, wie ein Blick auf die Zeichnung sehen lässt, nicht der Fall. Aber auch beim weiteren Ansteigen des Druckes treten beim menschlichen Auge keine Zeichen auf, welche auf eine Ausdehnung der Sklera von einiger Bedeutung hinweisen; eine Verschiebung der Sklera nach allen Seiten hin wird

nicht wahrgenommen; im Gegentheil hält die Verlängerung des kürzesten Durchmessers an der Stelle, wo dies am leichtesten geschehen kann, d. h. an der flachen hinteren Seite, an, und eine Verkürzung von ungefähr senkrecht dazu verlaufenden längeren Durchmessern wird deutlich sichtbar. Natürlich geht dies mit einer geringen Ausdehnung des Gewebes Hand in Hand, insoweit die Dehnung an den verschiedenen Stellen dies nothwendig macht. Von regelmässiger Ausdehnung des Skleralgewebes in allen Richtungen ist sogar bei dem intraocularen Drucke von 100 mm Hg nirgends die Rede: wir dürfen also für dieses menschliche Auge sagen, dass die Formveränderung, welche bei Erhöhung des intraocularen Druckes auftritt, durch Annäherung des Auges an die Kugelgestalt verursacht wird.

Betrachten wir jetzt die Volumzunahme bei den verschiedenen Druckstufen und zwar an der Hand der Curve 1 (Fig. 1), da diese sofort nach dem Tode bestimmt worden ist und die Gypsabgüsse sogleich nach Ablauf dieser Bestimmung angefertigt wurden, und vergleichen wir sie mit unserem Befunde, dass die Ausdehnung der Sklera die Volumzunahme nicht verursacht haben kann. Die Form der Curve stimmt damit völlig überein; denn dieselbe biegt sich während der Drucksteigerung mehr und mehr um, ungefähr bis zu der Höhe von 70 mm Hg. Wäre die Ausdehnung der Sklera die Ursache der Volumzunahme, so hätten wir eine nahezu geradlinige Curve erwarten dürfen.

Um den letzteren Satz zu beweisen, ist folgende Auseinandersetzung nothwendig. In meiner vorigen Arbeit (v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XLIX. 2. S. 450) habe ich gezeigt, dass die Kraft P , womit ein Streifen der Sklera von 1 mm Breite in seiner Längsrichtung gespannt wird, wenn er sich in situ am Auge befindet, vorgestellt wird durch die Formel $P = \frac{s \times H \times R}{2}$, Milligramm (1)

worin s = spezifisches Gewicht des Hg, H den intraocularen Druck in mm Hg und R den Radius des Auges vorstellt; sei b die Breite eines Sklerastreifens, so ist für diesen die Zugkraft in der Längsrichtung $P' = \frac{s \times H \times R \times b}{2}$ Milligramm (2)

Sei ferner a die Ausdehnung eines Sklerastreifens des menschlichen Auges von 1 mm Länge und 1 mm Breite unter dem Einflusse einer Belastung von 1 Milligramm, wenn der Streifen aus dem Auge geschnitten ist. Das Auge sei kugelförmig gedacht, und möge überall

eine Dicke der Wand haben, wie sie am Aequator des Bulbus besteht. Die Ausdehnung eines Streifens der Sklera von 1 mm Breite, der einen ganzen Umkreis dieser Kugel lang ist, beträgt dann $2\pi R \times a \times P$, wenn derselbe frei gedacht wird. Wenn dieser Streifen einen Theil des Auges bildet, ist die Ausdehnung geringer, und zwar beträgt sie nur $\frac{2}{3}$ der ersteren, wie ich auf der S. 452 derselben Arbeit gezeigt habe. Nennen wir diese Letztere V , so ist

$$V = \frac{4}{3} \pi R a \times P \quad (3)$$

Die Verlängerung des Radius unserer Kugel wird also 2π -fach weniger betragen; nennen wir dieselbe v , so ist

$$v = \frac{2}{3} R \times a \times P \quad (4)$$

Hieraus berechnet sich die Volumzunahme Z des Auges unter den oben genannten Bedingungen,

$$Z = \frac{4}{3} \pi (R + v)^3 - \frac{4}{3} \pi R^3$$

also

$$Z = \frac{4}{3} \pi (3R^2v + 3Rv^2 + v^3).$$

Substituiren wir hierin den Werth für v (4), so finden wir $Z = \frac{4}{3} \pi (2R^3 \times a \times P + \frac{4}{3} R^3 \times a^2 \times P^2 + \frac{8}{27} R^3 \times a^3 \times P^3)$; und wenn wir weiter für P den Werth (1) einführen,

$$Z = \frac{4}{3} \pi R^4 \times a \times s \times H \left(1 + \frac{s \times H \times R \times a}{3} + \frac{s^2 \times H^2 \times R^2 \times a^2}{27} \right).$$

Da nun, wie wir gleich sehen werden, a eine äusserst kleine Zahl ist, dürfen wir den letzteren Theil unserer Formel vernachlässigen, und schreiben $Z = \frac{4}{3} \pi R^4 \times a \times s \times H$. (5)

Aus dieser Beziehung zwischen Z und H sehen wir, dass sie einander proportional sind, dass also die Curve der Volumzunahme, wenn sie durch Ausdehnung verursacht wurde, eine gerade Linie sein sollte.

Die Constante a beträgt für die menschliche Sklera, wenn wir dieselbe an ausgeschnittenen Streifen bestimmen, 0,000002 mm¹⁾, wobei

¹⁾ Wer sich mit einfachen Apparaten von dieser Ausdehnung überzeugen will, kann in folgender Weise experimentiren. Man schneide mit der Scheere einen ganzen äquatorialen Ring aus der Sklera z. B. von 4 mm Breite, schneide den Ring auf, lege den Streifen flach aus auf einem Tische, steche das eine Ende mit einer starken Nadel auf dem Tische fest, und binde an das andere Ende einen Faden, woran man z. B. ein Gewicht von 200 g festmacht, welches über den runden Rand des Tisches herabhängen kann. Markirt man jetzt mit zwei kleinen abgebrochenen Spitzen von Nadeln, welche in die Sklera gestochen werden, zwei Stellen, welche z. B. 5 cm aus einander liegen, so kann man mit einem Massstäbchen messen, wie viel mm die Punkte aus einander gerückt sind, wenn das Gewicht zieht. Die Fläche des Tisches und die Stelle, wo der Faden drückt, kann mit Glaskörper überdies noch sehr schlüpfrig gemacht werden, so dass Reibung den Versuch nicht beeinträchtigt.

aber Variationen um das zwei- und dreifache vorkommen. Diese Constante bedeutet also, dass z. B. ein Gewicht von 100 g einen ausgeschnittenen Sklerastreifen des menschlichen Auges von 4 mm Breite und 20 mm Länge um 1 mm ausdehnt. Die Kleinheit von a lässt es also zu, unsere Formel so zu vereinfachen, wie vorher geschehen.

Obwohl a schon einen sehr kleinen Werth hat, ist derselbe, wie ich früher in der citirten Arbeit für die Ochsenklara gezeigt habe, noch viel zu gross; für das menschliche Auge ist dies nicht weniger auffallend, wenn wir auch hier wieder die Ausdehnung des ganzen äquatorialen Umkreises mittels dieses Werthes für a berechnen; unsere Formeln (3) und (1) ergeben dann, wenn $H = 100$ mm Hg, $R = 13$ mm ist,

$$V = \frac{2}{3} \pi R^2 \times a \times 13,6 \times H,$$

d. i. $V = 0,96$ mm.

Diese Verlängerung des Umkreises hätte natürlich an den Zeichnungen *A* der Taf. XIII sichtbar sein müssen. Wie wir gesehen haben, wurde aber das Gegentheil, nämlich eine Verkleinerung des äquatorialen Schnittes, gefunden.

Aber viel deutlicher zeigt es sich, dass der Werth für a viel zu gross ist, wenn wir die Volumzunahme, welche dabei auftreten müsste, nach der Formel (5) berechnen. Denn ist darin $R = 13$, $a = 0,000002$, $s = 13,6$ und $H = 100$, so finden wir

$$Z = 325,5 \text{ mm},$$

während der Versuch dafür 135 mm ergeben hat (siehe Fig. 1, Curve 2).

Kehren wir jetzt zurück zu unserem Ausgangspunkte, so ist also bewiesen, dass eine gleichmässige Ausdehnung der Sklera nach physikalischen Gesetzen die Volumzunahme des Auges nicht zu erklären vermag. Eine ungleichmässige Ausdehnung, wobei die Verlängerung bei der Zunahme der dehnenden Kräfte immer kleiner wird, wäre zwar im Stande, die Form der Curve zu erklären, und dies wäre ebenfalls in Uebereinstimmung mit der Wahrnehmung von Landois, dass viele Gewebe des menschlichen Körpers dieses Verhalten zeigen, aber die Befunde, welche bei der Betrachtung der Gypsabgüsse erhoben worden sind, können mit dieser Auffassung der Curve nicht vereinigt werden. Auf der anderen Seite steht die Form der Curve ganz mit der Beobachtung in Einklang, dass die Formveränderung nach dem Gesetz der Annäherung an die Kugelgestalt stattfindet; denn je mehr die Form des Auges sich der Kugel nähert, um so schwieriger wird es werden, noch ein gewisses Quantum Flüssigkeit in das Auge hineinzupressen. Wäre die Sklera absolut undehnbar, so würde die Curve zuletzt in einer horizontalen Linie fortlaufen. In-

soweit eine geringe Dehnbarkeit der Sklera ebenfalls einen Theil der Volumzunahme verursacht, würde die Curve in dem Augenblicke, wo die Form sich nicht weiter der Kugelgestalt nähern könnte, eine langsam ansteigende gerade Linie zeigen müssen. Dieses letzte Stadium sehen wir in unserer Figur nicht eintreten, und zwar in Folge des Einflusses der Filtration, welche bei den höheren Druckstufen zu grosse Fehler verursacht; dies war zusammen mit der Ueberlegung, dass der Bulbus noch für die Abgüsse dienen müsste, die Ursache, dass die Versuche nicht noch bei höherem Drucke weiter geführt wurden; in dem Abschnitte der Curve von 70 bis 100 mm Hg sind unzweifelbar schon Fehler dieser Art eingeschlichen; der wahrscheinliche Verlauf der Curve wird durch die Linie *kl* wiedergegeben.

Die Curve 2 in der Fig. 1, welche 24 Stunden nach dem Tode und nach der Aufnahme der ersteren bestimmt wurde, verläuft ziemlich regelmässig, was der Ausdruck dafür ist, dass durch die Füllung des Auges mit Olivenöl keine nennenswerthe Filtration die Untersuchung beeinträchtigen konnte. Sie zeigt uns aber weiter, dass die Volumzunahme bei den gleichen Druckhöhen beträchtlich zugenommen hat; im Verhältniss zu dem Volum des Auges sind die Zahlen aber noch immer klein zu nennen; eine Zunahme um 243 cmm zu einem Volumen von 6500 cmm bei einer Drucksteigerung von 0 bis 136 mm Hg ist sehr wenig. Die grössere Volumzunahme muss ohne Zweifel einer Veränderung des Gewebes der Sklera zugeschrieben werden; dasselbe wird etwas dehnbar (oder dehnbarer, wenn man will) geworden sein; es ist daher auch am wahrscheinlichsten, dass bei diesen Bestimmungen die Volumzunahme für einen beträchtlichen Theil durch Ausdehnung der Augenwand in allen Richtungen zu Stande gekommen ist; die mehr gestreckte Form der Curve weist mit grösster Wahrscheinlichkeit darauf hin, aber Gewissheit ist hierüber nicht zu erreichen gewesen, da es nicht möglich war, dieses Auge für eine neue Serie Gypsabgüsse zu verwenden.

Interessant scheint mir noch die Curve in der Fig. 2, wo die Volumzunahme pro mm Hg eingezeichnet worden ist, berechnet aus der Fig. 1, Curve 2. In dieser Weise gezeichnet, treffen wir eine verhältnissmässig grosse Unregelmässigkeit in der Abnahme der Volumzunahme bei höherem Druck. Da dieser Versuch mit Oel ausgeführt wurde und die Bestimmungen also genau stattfinden konnten, können hier nicht Versuchsfehler vorliegen; ich habe in meiner Arbeit über die Bestimmungen am Auge des Schweines und des Kaninchens früher dieselbe Erscheinung beschrieben, und ebenfalls schon die

Meinung ausgesprochen, dass dies keine zufälligen Fehler sind, da damals bei einer Wiederholung des Versuches an demselben Bulbus die gleichen Unregelmässigkeiten fast genau an derselben Stelle in der Curve auftraten. Jetzt ist es noch sicherer, dass dies ein Ausdruck für die Art und Weise, wie die Volumzunahme zu Stande kommt, ist, da bei dem Bestreben des Bulbus, sich der Kugelgestalt zu nähern, oft plötzlich ein Widerstand überwunden wird, und in jenem Moment die relative Volumzunahme also plötzlich etwas grösser wird. Wenn hauptsächlich Ausdehnung der Sklera die Volumzunahme verursachte, würde auch diese Erscheinung gewiss ausbleiben.

Die Curve für die Volumzunahme des frischen Auges zeigt uns, dass von 0 bis 25 mm Hg 69 cmm Flüssigkeit aufgenommen wird. Da nun der normale intraoculare Druck auf 25 mm Hg angenommen werden darf, heisst dies also, dass bei der Punction der vorderen Augenkammer während des Lebens 69 cmm Wasser ausfliessen müssten. Directe Messungen darüber fehlen, so weit ich weiss. Da aber der Inhalt der vorderen Augenkammer grösser ist als 69 cmm und wir bei der Punction des Auges sehen, dass (auch wenn der Lidhalter das Auge nicht drückt oder zerrt) die Kammer gänzlich oder fast gänzlich entleert wird, so muss dieser Unterschied noch erklärt werden. Der Inhalt der vorderen Kammer des normalen Auges wird von Leber¹⁾ auf 150 cmm angenommen. In einem Falle von Tuberculose der Iris, bei dem ich neulich mit einer Pravaz'schen Spritze die ganze vordere Kammer entleerte²⁾ und bei dem die Tiefe derselben ungefähr normal war, konnte ich den Inhalt ziemlich genau messen und fand einmal ca. 175, ein anderes Mal 165 cmm. Dies stimmt also mit der Schätzung Leber's ziemlich gut überein.

Warum fliesst nun während des Lebens so viel mehr Flüssigkeit aus der vorderen Kammer, als es der Fall sein würde, wenn das Auge in einer Schale mit physiologischer Kochsalzlösung läge. Die Antwort liegt auf der Hand. In der Orbita ist nicht allein das Bestreben der Sklera, ihre Gleichgewichtslage einzunehmen, die Ursache von der Verkleinerung des Inhaltes des Auges, und dadurch

¹⁾ Leber, Der gegenwärtige Stand unserer Kenntnisse vom Flüssigkeitswechsel des Auges, S. 159. Die Grösse der vorderen Kammer des Menschen ist nicht viel verschieden von derjenigen des Kaninchens.

²⁾ Die Entleerung der vorderen Kammer geschah in diesem Falle zu dem Zwecke, sofort nachher mit derselben Spritze Luft einzuführen, um die Tuberculose zur Heilung zu bringen. Ueber das Resultat dieser Behandlungsweise hoffe ich später zu berichten.

von dem Vorrücken der Linse, sondern auch der Druck des orbitalen Gewebes wird dazu beitragen. Und es wird wohl wieder die hintere Bulbuswand sein, die am leichtesten verschoben wird, da sie flach ist und da ferner wieder durch Verkürzung des kürzesten Durchmessers des Auges der Inhalt am schnellsten abnimmt. Die Verkleinerung des hinter der Hornhautbasis gelegenen Raumes bewirkt also unter dem Einflusse der Aenderung der Biegungsspannung der Sklera und des äusserlichen Druckes des Orbitalinhaltes, besonders aber des gekrümmten Sehnerven von hinten her, und der Augenmuskeln mehr von vorn her, dass die Linse nach vorn rückt und die vordere Kammer aufgehoben wird. So einfach diese Sache ist, so scheint es mir nicht überflüssig, darauf hinzuweisen, was eigentlich bei der Aufhebung der vorderen Kammer vorgeht, da meistens daran gar nicht gedacht oder der Vorgang falsch vorgestellt wird. Viele sprechen von dem Nachvornrücken der Linse in der Weise, als ob dieselbe sich einfach in dem Auge, welches im Uebrigen unverändert gedacht wird, durch den Druck im Glaskörper nach vorn bewegen konnte, sobald die Flüssigkeit an der vorderen Seite abfließen kann. Dies ist durchaus nicht der Fall. Wenn wir ein Auge bis zu dem Cornearande in Gyps einschliessen und die Conjunctiva noch darin aufnehmen; wenn ferner in dem Glaskörper eine feste Canüle, am besten durch den Sehnerven eingeführt, steckt mit einem Hahne, wodurch wir den Druck am Auge beliebig erhöhen können, so sehen wir, nachdem der Hahn geschlossen und die vordere Kammer punktiert worden ist, dass nur eine Spur oder gar keine Flüssigkeit ausfließt, jedenfalls die vordere Kammer gar nicht aufgehoben wird. Die Sklera kann dann eben ihre Form nicht ändern, die Kuppe der Cornea hat keine Neigung, nach dem Auge hin sich zu bewegen oder sich zu verkleinern, und so wird durch die Punction des Auges der Druck zwar auf Null gebracht, aber der Raum des Auges bleibt dann fast absolut unverändert. Es versteht sich, dass das Linearmesser, womit die Punction ausgeführt wird, sehr scharf sein muss, denn es darf kein Druck auf die Hornhaut ausgeübt werden. Der Versuch gelingt daher meistens noch besser, wenn auch in der vorderen Kammer und zwar am Limbus eine feine Canüle eingeführt wird, z. B. einer Pravaz'schen Spritze, und diese hart am Ende mittels eines dickwandigen Gummischlauches abgeklemmt wird. Man hat dann auch noch den Vortheil, dass die vordere Kammer wieder bis auf normale Tiefe gefüllt werden kann, ehe der Versuch anfängt. Bringt man dann den Druck z. B. auf 40 mm Hg durch die Glas-

körpercanüle, und schliesst man diese ab, so kommt aus der Vorderkammercanüle, wenn man diese sofort öffnet, nur ein Tröpfchen Wasser und die Vorderkammer bleibt tief. Man muss hierbei Sorge tragen, dass die Canüle nicht nach unten steht, denn bei dem Ochsen- und dem Schweinsauge ist das geringe Ansaugen durch die Flüssigkeitssäule in derselben genügend, um die Cornea collabiren zu lassen. Sehr schlagend ist der Versuch auch, wenn man dann die Vorderkammer durch leichten Druck auf die Hornhaut entleert und dieselbe mit Luft füllt; bei offener Vorderkammercanüle behält die Cornea dann ihre Form und die Kammer bleibt immer gleich tief. Natürlich könnte auch bei diesem Versuch eine Luftblase, welche in den Glaskörper gerathen wäre, das Auftreten der Erscheinung ganz verhindern, indem bei dem Aufheben des Druckes die Luft ein viel grösseres Volumen einnimmt. Aus demselben Grunde sind kleine Luftblasen in der vorderen Kammer zu vermeiden. Und ebenfalls soll zwischen der Sklera und dem Gyps keine Luft zurückbleiben, da in dem Falle die Sklera an jener Stelle ihre Form ändern könnte.

Um die Vereinigung der Sklera mit dem Gyps besonders am Limbus besser zu Stande kommen zu lassen, und zu verhüten, dass Luft von der Corneaseite zwischen der Sklera und dem Gyps eindringen könnte, ist es nützlich, beim Ochsenauge die Conjunctiva zu entfernen, und mit dem Linearmesser dort kleine Fetzen von der Sklera abzulösen, welche dann den Rand der Cornea energisch am Gyps befestigen.

Dieser Versuch beweist also, dass die Veränderung der Sklera das Wesentlichste bei der Aufhebung der vorderen Kammer ist. Denn während des Lebens sind keine anderen Factoren im Stande, so schnell den Raum für den Glaskörper zu verkleinern. Man könnte noch an den Blutdruck denken, aber die stärkere Füllung der Gefässe der Chorioidea kann doch nicht so plötzlich auftreten, wie wir das Wasser aus einer Oeffnung der Cornea hervorstürzen sehen. Und dass die Erscheinung beim lebenden Auge nicht verschieden ist von derselben beim todten Bulbus, wenn nur die vordere Kammer in gleicher Weise gefüllt und der Glaskörperdruck derselbe ist, beweist zur Genüge, dass der Blutdruck kein Factor von einiger Bedeutung bei diesem Vorgang ist.

Eine Erscheinung, welche hierher gehört und welche ich auf dem IX. internationalen Congress zu Utrecht kurz mitgetheilt habe, wurde von mir bei einem Patienten während der Cataract-extraction beobachtet. Nachdem bei dem ganz normal sich ver-

haltenden Auge mit. normal tiefer vorderer Kammer der Lappen nach oben gemacht worden war, floss fast kein Kammerwasser ab; als ich mit dem Cystitom die vordere Kapsel zerschnitt, trat etwas Luft an die Stelle von etwas ausfliessendem Wasser; und als ich die Linse ausgedrückt hatte, war der ganze vordere Abschnitt des Auges mit Luft gefüllt, welche eindrang, sobald die Cornea ihre normale Form wieder annahm. Offenbar hatte der hintere Abschnitt des Auges keine Neigung sich zu verkleinern, nachdem der Druck aufgehoben war, und dadurch konnte die Linse nicht nach vorn rücken, oder besser, sie wurde von dem Glaskörper nicht nach vorn gepresst. Denn dass dabei etwas Widerstand überwunden werden muss, ist sehr wahrscheinlich; hat doch Deutschmann festgestellt, dass im Leichenauge die vordere Kammer sich ebenfalls wieder herstellt, und dies bedeutet nichts anderes, als dass die Zonula, welche sofort nach der Punction der Kammer etwas gespannt ist, die Linse langsam in ihre Gleichgewichtsstellung zurückführt, da dann der Glaskörper etwas Flüssigkeit austreten und nach der vorderen Seite der Linse übergehen lässt. Auch die Schnelligkeit, mit der die Vorderkammer im Leben sich wieder herstellt, beruht gewiss theilweise auf derselben Spannung des Linsenseptums nach vorn. Denn wenn die Kammer wieder vorhanden ist, ist das Auge anfangs noch sehr weich, ein Beweis also, dass die Linse mit der Iris nach hinten gerückt ist, aber der Inhalt des Auges noch nicht seine frühere Grösse erreicht hat. In dem Falle unserer Cataractextraction konnte ich also constatiren, dass der hintere Abschnitt des Auges bei der Aufhebung des Druckes seine Form behielt; am wahrscheinlichsten ist eine grössere Rigidität des Skleragewebes die Ursache davon gewesen; es wäre aber auch möglich, dass eine grosse Aehnlichkeit des Auges mit der Kugelgestalt daran Schuld trüge, wiewohl hierfür weniger spricht, da dann der Druck der orbitalen Gewebe den Raum wohl hätte verkleinern können. Dass die Hornhaut in diesem Falle ihre sphärische Form so gern wieder annahm, könnte auch auf eine erhöhte Rigidität dieser Membran hinweisen.

Bei dem zweiten Auge meines Patienten ereignete sich genau dasselbe. Beide Augen heilten in der gewöhnlichen Weise und zeigten keine Abweichungen, als sie mit dem Spiegel untersucht werden konnten. Diese Beobachtung bietet auch für andere, besonders für die Glaukomfrage wichtige Anhaltspunkte, welche ich in meiner genannten Mittheilung ebenfalls gestreift habe. Viele dieser Ueberlegungen warten aber auf eine detaillirte Untersuchung.

Offenbar gehören viele von den Fällen, bei denen nach der Cataractextraction eine kleine Luftblase in die Kammer dringt, und diejenigen, bei denen, wie man sagt, die Cornea collabirt, zu derselben Abweichung, sei es auch dass die Erscheinung in geringerem Grade besteht. Denn die Luftblase würde ausgepresst werden, wenn die Linse weiter nach vorn kommen wollte, und die Einbiegung der Cornea würde aufgehoben werden, wenn der hintere Abschnitt des Auges sich weiter verkleinern könnte. Die mehr oder weniger ausgesprochene Prallheit der Cornea bestimmt in dem letzteren Fall das Bild; federt die eingedrückte Hornhaut wieder auf, so muss Luft in der sich bildenden Kammer eingesogen werden; in dem entgegengesetzten Falle bleibt der Collaps bestehen. Die gute Prognose dieser Fälle steht auch mit der hier gegebenen Erklärung in Einklang.

Zum Schlusse muss ich die Frage berühren, ob es nicht sonderbar ist, dass der Bulbus, wenn der Druck 0 geworden ist, eine Form annimmt, welche er während des Lebens nicht besitzt, und wenn das Auge gesund bleibt, auch nie einnimmt. Vom physikalischen Standpunkte ist dies sehr natürlich; diese Neigung der Augenhülle, sich in der kürzesten Richtung zu verkürzen, in dem längeren Durchmesser sich zu verlängern, ist eben die Folge von dem intraocularen Druck, der das Gegentheil zu bewirken versucht. Es ist die fortwährende Reaction gegen die Wirkung des Druckes. Gesetzt das Auge, d. h. die Sklerahülle, hätte eines Tages die Form, welche sie während so vieler Jahre beinahe unverändert eingenommen, dauernd erhalten, so würde in demselben Moment der kürzeste Durchmesser unter dem Einflusse des intraocularen Druckes wieder etwas verlängert werden, und derselbe Zustand wäre also aufs Neue eingetreten, und dies würde so weiter gehen, bis zuletzt die reine Kugelform erreicht wäre.

Die Neigung der hinteren Augenwand, etwas nach vorn zu rücken, obwohl sie niemals die Gelegenheit dazu hat, braucht uns also nicht zu wundern; was aber eine Erklärung erfordert, ist die physiologische Schwierigkeit, dass die Fibrillen der Sklera fortwährend diese Spannung nach hinten aushalten, dass also das Auge nicht wirklich allmählich die Kugelform bekommt. Dies ist nun aber eine Frage, welche hier nicht gelöst zu werden braucht. Der Hinweis möge genügen, dass wir an anderen Körpertheilen dasselbe sehen; Ligamente giebt es überall, welche das ganze Leben hindurch straff gespannt sind und welche sich stark verkürzen, so bald sie eingeschnitten werden; auch bei den Lungenbläschen besteht dasselbe — mehr oder

weniger, je nach dem Stande des Brustkorbes, bei der Inspiration oder bei der Expiration — aber immer bleiben sie gespannt; es ist gar nicht der Fall, wie man es hier und dort wohl vorstellen möchte, dass überall, wo eine bleibende Spannung gefördert wird, das Muskelgewebe eintritt; die Cornea kann es uns auch noch überzeugend genug beweisen. Ebenso ist die bleibende Spannung der Sklerafibrillen nichts Aussergewöhnliches. Die Anwesenheit von sehr vielen elastischen Fasern, worauf Sattler¹⁾ vor Kurzem die Aufmerksamkeit gelenkt hat, kann meines Erachtens diese Eigenschaft der Sklera genügend erklären.

Die Form des emmetropen Auges, wie die Abgüsse sie erkennen lassen, weicht wesentlich von den Beschreibungen und Zeichnungen, die wir bis jetzt besitzen, ab. Ich möchte nicht jetzt schon behaupten, dass das hier untersuchte Auge als Typus gelten darf; dennoch scheint es mir angezeigt, die Abweichungen hier kurz anzuführen und dadurch vielleicht zu weiteren Untersuchungen anzuregen.

Die Umrisse *A25*, *B25* und *C25* auf der Taf. XIII geben die Form des normalen Auges am besten wieder, da der intraoculare Druck von dem während des Lebens bestehenden nicht viel verschieden sein kann. Um ihr Studium zu erleichtern, habe ich sie vierfach vergrössert. In der Fig. 3 gebe ich den verticalen Schnitt, worin die kleinen Unregelmässigkeiten der ursprünglichen vergrösserten Zeichnung, welche, wie auf der Taf. XIII sichtbar ist, offenbar von kleinen Fetzen am Auge herrühren, ebenfalls fortgelassen worden sind.

Wenn wir um die Fig. 3 herum den Kreis ziehen, der dieselbe noch eben umschliessen kann, fällt uns besonders auf: erstens die Abflachung des hinteren Abschnittes, und zweitens die mehr konische Form der vorderen Hälfte; die Stellen, an denen der herumgelegte Kreis den Schnitt berührt, liegen fast genau um 120° d. h. $\frac{1}{3}$ des Umkreises aus einander; genau gemessen liegt die untere Stelle um 2° , die obere um 1° mehr nach vorn; die vordere Berührungsstelle ist, wie zu erwarten war, der Durchgangspunkt der Corneaachse: der Mittelpunkt des Kreises liegt in der vergrösserten Figur 54 mm, wirklich also 13,5 mm hinter dem Hornhautscheitel. Eigenthümlich ist es, dass wir innerhalb der äusseren Skleragrenze einen zweiten Kreis

¹⁾ H. Sattler, Ueber die elastischen Fasern der Sklera. Bericht d. Heidelberger Ophthalm. Versammlung 1896.

ziehen können, der denselben Mittelpunkt M hat und der fast genau die drei mehr nach innen gelegenen Stellen berührt, d. h. die vordere obere und untere Ciliargegend, und das hintere Ende der Augenachse; die beiden vorderen Stellen liegen um 90° aus einander; sie liegen in der Figur nicht gänzlich symmetrisch zur Augenachse, sondern um 2° nach unten verschoben. Der Radius dieses eingetragenen

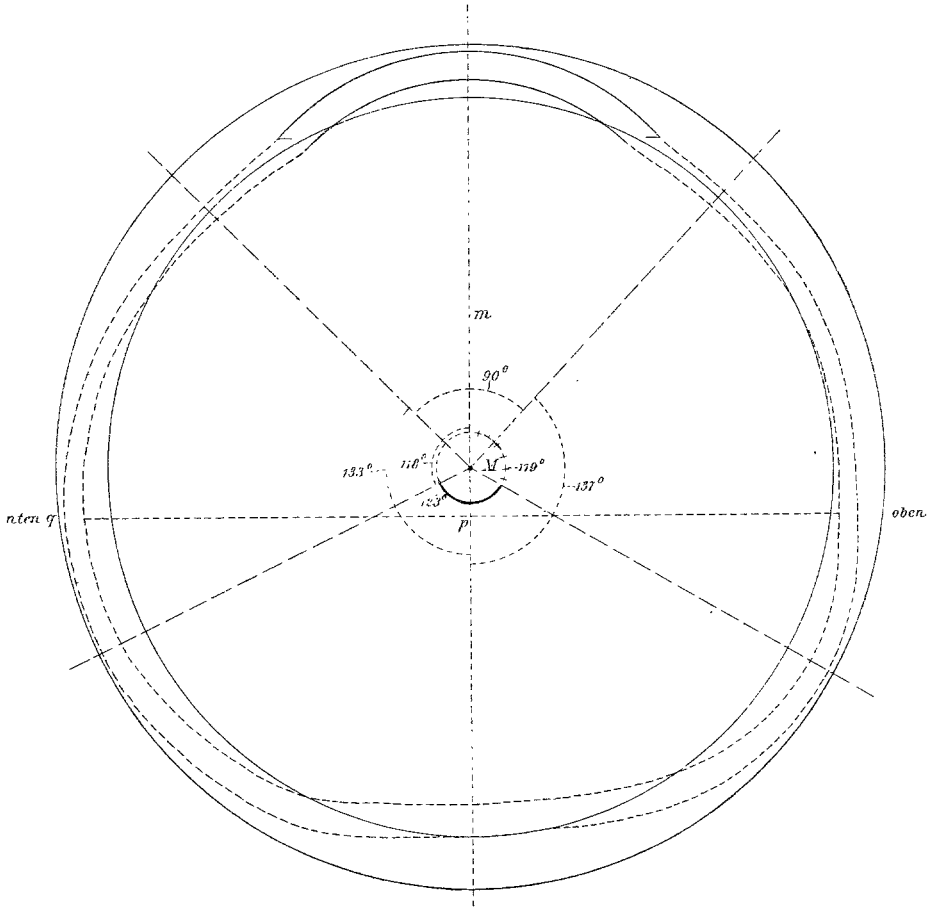


Fig. 3.

Kreises beträgt in der Zeichnung 48 mm, wirklich also 12 mm. Mit Hilfe dieser einfachen Daten, zusammen mit den Zahlen der Tabelle II, sind wir im Stande diesen Schnitt ziemlich genau zu construiren: wie man sehen kann, resultirt aus dieser Construction für die Achsenlänge des Auges 25 mm, was mit dem gemessenen fast genau übereinstimmt.

Es muss auffallen, dass der Mittelpunkt dieser Kreise genau so weit hinter dem Scheitel der Cornea liegt, wie der Drehpunkt beim normalsichtigen Auge (nach den Bestimmungen von Donders und Doyer beträgt diese 13,557 mm, und der erstere Abstand wurde auf 13,5 mm gemessen). Vorher wurde schon festgestellt, dass die Corneaachse mit der Augenachse zusammenfällt.

Um das hier gewonnene Resultat weiter zu controliren, suchte ich in meinen mikroskopischen Präparaten nach Schnitten von völlig normalen Augen. Die Fig. 4 stellt einen Totalschnitt eines Auges vor, welches völlig gesund war, und welches sofort nach der Enucleation, die wegen eines grossen Tumors in seiner Nähe nothwendig war, gehärtet werden konnte. Ob das Auge emmetrop war, ist nicht mehr aufzufinden. Jedenfalls hatte es niemals Beschwerden gemacht.

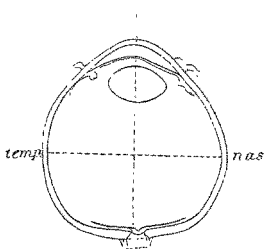


Fig. 4.

Wahrscheinlich hat der Schnitt das Auge ein bisschen nasalwärts getroffen, wie die Anwesenheit des Sehnerven und das Fehlen der Pupille anzudeuten scheinen; oder es ist wohl ein nahezu horizontaler Schnitt, der die Hornhaut nicht in der Mitte geschnitten hat. Aus der genau abgezeichneten Form ist aber deutlich ersichtlich, dass die Form sehr viel Ähnlichkeit mit dem Umriss meiner Gypsabgüsse hat: besonders fallen die flache Hinterwand und die konische Form vorn auf.

Der äquatoriale Durchmesser ist in der Fig. 5 vierfach vergrößert dargestellt; wir wissen schon, dass der horizontale und der verticale Durchmesser einander halbiren. Wenn wir aussen um die Figur wieder einen Kreis ziehen, und zwar mit dem Abstände pq der Fig. 3 als Radius und dem Schnittpunkte M' der Augenachse als Mittelpunkt, so sehen wir, dass die Form wenig von einem Kreise abweicht; nur ist das Auge oben und unten an der temporalen Seite etwas abgeflacht. Der Abstand pq ist als Radius genommen, damit die Fig. 5 einen kleinen Kreis vorstellen kann von der Kugel, die um das ganze Auge herum mit demselben Radius der Fig. 3 gezogen werden kann.

Die vierfache Vergrößerung des horizontalen Schnittes konnte nicht ohne Weiteres hier abgedruckt werden; wie ich oben zeigte, war der optico-corneale Durchmesser in dieser Zeichnung 0,5 mm kürzer, und ebenfalls der äquatoriale Durchmesser um 0,75 mm. Die Erklärung dafür siehe oben. Um diesen Schnitt ebenfalls mit

der Kugel vergleichen zu können, sind die kleinen Differenzen in der Weise ausgeglichen, dass die Lage der Hornhaut und der Augennachse unverändert blieben, also die hintere Wand etwas weiter zurückgezeichnet wurde und das Auge nach beiden Seiten eine Spur an Breite zunahm. Mit dieser Berücksichtigung ist die Fig. 6 eine genaue Reproduction des horizontalen Schnittes, nur ist sie zur bequemeren Ver-

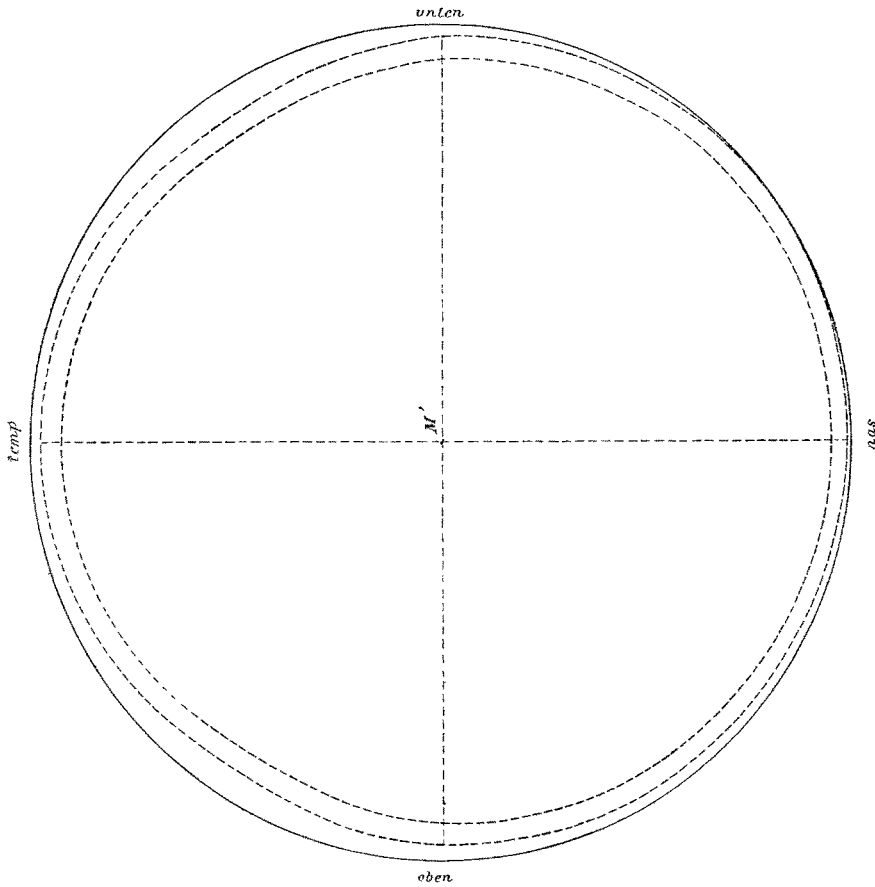


Fig. 5.

gleichung mit dem anderen meridionalen Schnitt hier im Spiegelbild gezeichnet worden. Wenn wir auch hier wieder den Kugelschnitt, den um die Figur gelegten Kreis anbringen, sehen wir, dass nur ein sehr kleiner Theil an der hinteren temporalen Seite von 1 mm Höhe, also wirklich von 0,25 mm keinen Platz in der Kugel finden kann; die nasale Seite passt genau, wenn der Hornhautscheitel den Kreis berührt und der Mittelpunkt der Kugel in der Augennachse gelegen

ist. Die Berührungsstellen liegen hinten wieder um ungefähr $\frac{1}{3}$ des Kreises aus einander (genau 118°), nur liegen dieselben jetzt nicht, wie bei dem verticalen Schnitte, fast symmetrisch in Bezug auf die Augenachse, sondern sie sind um 6° nach der nasalen Seite verschoben; die nasale Berührungsstelle liegt nämlich 115° , die temporale 127° von dem vorderen Theile der Augenachse entfernt. Der

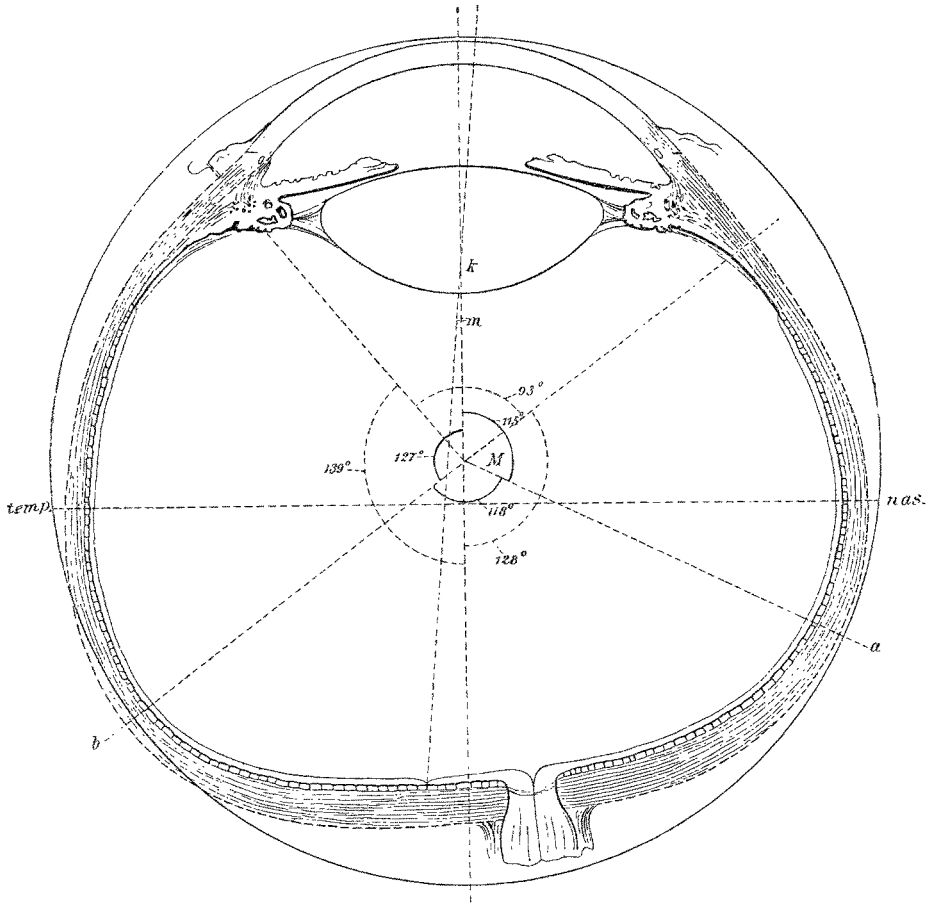


Fig. 6.

mit demselben Radius, wie in der Fig. 3, eingetragene Kreis (in der Zeichnung sind, um dieselbe nicht zu überladen, nur die Linien der Winkel theilweise angegeben) berührt die hintere Wand fast genau in der Augenachse (nur etwas nach dem Sehnerven hin), ebenfalls die nasale Ciliargegendwand, und die temporale Wand beinahe; es bleibt ungefähr 0,75 mm dazwischen, in Wirklichkeit also noch nicht 0,25 mm. Der Abstand dieser beiden vorderen Berührungsstellen misst wieder

ungefähr 90° (genau 93°), nur ist jetzt dieser Winkel unsymmetrisch in seiner Beziehung zur Augenachse gelegen; er ist um 4° (genau $5\frac{1}{2}^{\circ}$) nach der nasalen Seite verschoben; die nasale Stelle liegt nämlich 128° , die temporale 139° von dem hinteren Theile der Augenachse entfernt. Der gemeinsame Mittelpunkt dieser Kreise liegt natürlich wieder um 13,5 mm hinter dem Corneascheitel, da dies der Mittelpunkt der Kugel ist, welche, wie wir uns vorstellen, das Auge so nahe wie möglich umfasst.

Diese Kugel würde also an der vorderen Seite nur vom Hornhautscheitel berührt werden, und ferner an der hinteren Seite von einer geschlossenen Linie der Sklera, und zwar in der Weise, dass die Berührungslinie nicht genau kreisförmig wäre mit der Augenachse als Mittelpunkt, sondern so, dass die temporale Seite etwas abgeflacht und die nasale etwas zugespitzt aussehen würde, also etwa birnförmig mit dem Stiele nach der nasalen Seite gewendet; der Radius des Kreises auf dieser Kugel würde etwa 13,5 mm betragen (in Wirklichkeit). Dabei ist ausser Acht gelassen, dass die temporale Seite eine Spur über die gedachte Kugelwand hinausreichen würde.

Innerhalb der äusseren Begrenzungsfläche des Auges würde ferner eine zweite Kugel Platz finden können, die hinten nur in der Augenachse diese Fläche berühren und überdies an der vorderen Seite wieder mit einer geschlossenen Linie mit der äusseren Wand zusammentreffen würde; diese Linie würde auch wieder nicht genau einen Kreis mit dem Corneascheitel als Mittelpunkt bilden, sondern nur nahezu, und zwar einen solchen, der auch wieder an der nasalen Seite zugespitzt und an der temporalen abgeflacht erscheinen würde; der Radius dieses Kreises auf dieser Kugel würde etwa 9 mm betragen. Die beiden Kugeln würden genau denselben Mittelpunkt haben, und dieser Punkt würde mit dem Drehpunkt des Auges zusammenfallen.

Die Radien der Kugeln betragen 12 und 13,5 mm.

Die Form des Auges würde also eigentlich besser mit einer Birne als mit einem Apfel verglichen werden können; der Sehnerv kann dann aber nicht den Stiel der Birne vorstellen, derselbe wäre an dem Hornhautscheitel zu denken.

Bei dieser Beschreibung der Form des Auges habe ich angenommen, dass die Unterschiede zwischen dem horizontalen und dem verticalen Meridian allmählich in einander übergehen, was gewiss der Fall ist, denn wir sehen keine localen Ausdehnungen oder Einsenkungen der Oberfläche. Besser wäre es aber gewiss, auch noch Abgüsse der

Meridiane, welche um 45° gedreht sind, zu untersuchen, oder an einem Abguss des ganzen Auges diese Voraussetzung zu controliren.

Es schien mir interessant, in der Fig. 6 auch die Umrisse der übrigen Theile des Augeninneren schematisch einzuzichnen. Für den Ciliarkörpertheil habe ich die schöne Abbildung des normalen Auges auf der S. 274 (6. Aufl.) aus dem Lehrbuche von Fuchs gewählt, wobei allerdings kleine Aenderungen in der Lage, entsprechend dem Unterschiede in der Richtung der Cornea, angebracht werden müssen. Die Dicke der Hornhaut ist auf 0,9 mm angenommen, die Dicke der Sklera nach der Zeichnung von Fuchs vorn = 0,8 mm, und beim Ciliarkörper eine Spur dicker; am hinteren Abschnitte des Bulbus nahm ich die Dicke der Sklera in Uebereinstimmung mit den älteren Angaben zu 1 mm an. Die Messungen dieser Theile an dem hier untersuchten Auge konnten natürlich erst ausgeführt werden, als die Gewebe viel gelitten hatten; dieselben haben daher nur relativen Werth; ich mass für die Sklera am Aequator 0,7 mm, am Ciliartheil 0,65 mm; daher habe ich in Abweichung von der Zeichnung von Merkel¹⁾ die Dicke vom Aequator an nur noch unmerklich abnehmen lassen. Für den Abstand der vorderen Hornhautfläche von der vorderen Linsenkapsel und für die Dicke der Linse wurden die bekannten Werthe von 4 mm gebraucht; ebenso für die Radien der Linsenkrümmung 10 und 6 mm; die Breite der Linse resultirt aus der Zeichnung auf 9,25 mm, was mit dem Werth von 9 mm, der dafür gewöhnlich genannt wird, gut übereinstimmt. Die Mitte des Sehnerven lag an dem von mir untersuchten Auge 2 mm von der Augenachse entfernt, für die Breite der Papilla nervi optici nahm ich nach mikroskopischen Präparaten 1,5 mm an, und für die Breite des Sehnerven 3,5 mm. Für die Bestimmung der Lage der Fovea wurde Winkel $\alpha = 4^\circ$ angenommen, eine Grösse, die viel vorkommt. Der Patient, von dem das Auge stammt, ist leider bald gestorben, so dass am anderen Auge dieser Factor und andere Factoren nicht weiter bestimmt werden konnten. Die Lamina cribrosa und die Dicke der Retina und der Chorioidea zusammen genommen wurden nach dem normalen Auge der Fig. 4 eingezeichnet.

Eine Vergleichung des hier aufgeführten Schemas mit demjenigen von Merkel lässt erstens den Unterschied erkennen, dass bei dem letzteren die Augenachse länger ist als der Querdurchmesser (24,3 und 23,6 mm), während bei dem ersteren ein umgekehrtes Ver-

¹⁾ Fr. Merkel, Makroskopische Anatomie. Fig. 21: Tabelle der Augenmasse auf S. 44 u. 45. v. Graefe u. Saemisch. Bd. I. S. 43.

halten besteht (Achse = 25,25, Querdurchmesser = 26,50 mm). Zweitens ist die Abweichung des hinteren Abschnittes, welcher bei Merkel kugelförmig und hier in einer Ausdehnung etwa concentrisch mit dem Sehnerven beträchtlich abgeflacht ist, auffallend. Drittens ist bei meinem Schema die konische Form des vorderen Abschnittes deutlich ausgesprochen; bei beiden Figuren ist die Thatsache zu beobachten, worauf Merkel hinwies, dass die Hornhaut nicht wie ein Uhrglas einer Kugel aufsitzt, sondern dass der Hornhautscheitel innerhalb der Kugeloberfläche liegt und durch eine Einschnürung der Kugel gebildet wird.

Es stimmt weiter auch die hier gemessene Achsenlänge des Auges mit der von Mauthner¹⁾, nach Messungen an aphakischen Augen beim lebenden Menschen, berechneten Länge der Totalachse sehr gut überein; dieselbe betrug 25,1 bis 25,4 mm.

Directe Messungen der Totalachse bei emmetropischen Augen liegen nur sehr wenig in der Literatur vor. Der erste publicirte Fall von L. Weiss²⁾ giebt für die innere Achse 23 mm, was für die Totalachse also 24,3 mm ergibt. Aber diese Messung geschah an einem Verticalschnitt des gehärteten Auges, während die richtige Länge nur bei einem intraocularen Druck von 25 mm Hg bestimmt werden kann. Nach späteren Messungen fand Leop. Weiss³⁾ als Mittel aus fünf Augen 23,85 mm für die Totallänge. Auch hier wurde auf den intraocularen Druck nicht geachtet und an in Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Präparaten gemessen. Schnabel und Herrnhaiser⁴⁾ massen die Achsenlänge bei *E* Augen und fanden Varietäten von 22 bis 25 mm. Der intraoculare Druck wurde hier ebenfalls nicht dem normalen gleich gemacht bei der Messung, wenigstens ist über die Methode überhaupt nichts angegeben. Um genaue Werthe zu erlangen ist es nothwendig dies zu thun, denn nach Allem was oben gesagt ist wird es einleuchten, dass je mehr Flüssigkeit das Auge durch Filtration und Verdunstung verliert, um so kleiner muss gerade die Achse des Bulbus werden; der intraoculare Druck könnte durch den letzteren Factor sogar unter Null sinken, ohne dass die Gestalt des Auges dies verrathen würde.

Wenn der Inhalt des Auges durch Filtration und Verdunstung noch mehr abnimmt, kommt natürlich bald der Augenblick, an dem der negative Druck im Auge beträchtlich wird und die Cornea oder

¹⁾ Nach Nagel, in Graefe-Saemisch. S. 285. Bd. VI.

²⁾ v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. 1. S. 130.

³⁾ Anatom. Hefte. 1897. S. 212.

⁴⁾ Zeitschr. f. Heilk. 1895.

die Sklera sich faltet; dadurch wird der intraoculare Druck natürlich wieder weniger von dem atmosphärischen verschieden; aber es geht nicht an, wie Sappey¹⁾ dies gethan hat, in solchen Fällen den Bulbus in verticaler Richtung mit dem Finger zu comprimiren und dann, wenn durch eine „pression modérée“ eine „tension normale“ erreicht ist, welche nur nach der Form des Auges im horizontalen Meridian beurtheilt wurde, an dem verzernten Bulbus die Länge der Augenachse zu messen. Zwar giebt Sappey an, dass er durch eine vergleichende Messung 3 Stunden und dann 24 Stunden nach dem Tode festgestellt hat, dass die Achsenlänge bei der digitalen Compression genau gleich derjenigen beim frischen Auge gefunden wurde, aber diese Controle bietet sehr wenig Garantie für die Genauigkeit der Methode, denn wenn man eine Spur mehr oder weniger drückt, wird das frühere Mass wieder erreicht oder überschritten werden. Auch das zum Messen benutzte Instrument, welches den Bulbus zwischen zwei durch eine starke Schraube sich nähernde Spitzen fasste, kann in diesem Falle nicht als sehr geeignet betrachtet werden. Ich weise auf diese Einwände gegen die Methode hin, da gerade die Messungen von Sappey¹⁾, wiewohl die Refraction der Augen nicht bekannt ist, meistens als die zuverlässigsten für das normale Auge angeführt werden, wie neuerdings noch das grosse Werk von Norris und Olliver²⁾ dies gethan hat. Bei anderen Autoren, welche über die Achsenlänge berichten, wird die Methode der Messung überhaupt nicht angegeben; die älteren Messungen sind unzweifelhaft an gefrorenen Schnitten ausgeführt worden; Krause³⁾ spricht darüber bei den Augenmassen aber gar nicht; und dennoch ist wichtig es zu wissen, da die Methode der Gefrierung, ebenso wie die der Härtung, wie sie für makroskopische Zwecke gebraucht wird, keine Sicherheit für das Unverändertsein der Verhältnisse liefern kann⁴⁾.

So weit ich in der Literatur habe nachsehen können, ist das hier gemessene Auge das einzige, von dem während des Lebens die Emmetropie festgestellt worden war und welches ganz frisch und bei einem intraocularen Druck, welcher dem des Lebens gleich zu setzen ist, zur Untersuchung kam.

¹⁾ Sappey, Dr. C., Gazette médic. de Paris. p. 408 et 423. 1855.

²⁾ Norris and Olliver, System of diseases of the eye. Vol. I. p. 113. 1897.

³⁾ Krause, C. F. Th., Der Bulbus oculi. Handb. d. menschl. Anat. S. 520. 1842.

⁴⁾ Der Vorwurf von Sappey, dass Krause mit einer scheinbaren Genauigkeit gross thut, indem er die Masse sogar bis in Tausendstel von mm angiebt, trifft nicht diesen Autor, sondern den, der das alte Pariser Mass in mm umgerechnet hat. Krause giebt für die Länge der äusseren Achse $10\frac{1}{2}'''$ bis $11'''$.

Die *E*-Augen, welche Weiss¹⁾ in gehärtetem Zustande untersucht hat, haben wahrscheinlich durch die Behandlung etwas an Grösse eingebüsst, aber die Masse haben gewiss einen relativen Werth, da eben durch die Contraction der Augenhäute die Spannung des Auges etwas zugenommen haben muss und die Form dadurch der normalen sehr wahrscheinlich ähnlich geworden sein wird. Leider giebt Weiss nur Mittelwerthe aus seinen fünf *E*-Augen (3 von Männern, 2 von Frauen). Es folgen hier unsere Werthe neben einander:

vertical	= 23,70 mm	= 26 mm
horizontal	= 24,43	= 26,50
sagittal	= 23,85	= 25,25
Mittelwerthe von Weiss aus Messungen an 5 gehärteten <i>E</i> -Augen.		Masse des frisch untersuchten <i>E</i> -Auges bei 25 mm Hg.

Weiss fügt noch hinzu: „in allen Fällen war der horizontale Durchmesser am grössten, in drei Fällen waren verticaler und sagittaler Durchmesser gleich.“ Dies ist wichtig, denn dies stimmt mit den Messungen Krause's²⁾, der ebenfalls den horizontalen Querdurchmesser grösser fand (an normalen Augen unbekannter Refraction), und ebenfalls mit meinem Befunde überein; und der Zweifel Sappey's³⁾ an der Zuverlässigkeit der Messungen Krause's wegen dieser Eigenthümlichkeit erscheint hierdurch also als gänzlich unberechtigt. Bei meinem Auge ist ferner der verticale Durchmesser ebenfalls grösser als die Achse, obwohl auch wieder, wie bei Weiss, kleiner als der horizontale.

Um ferner zu controliren, ob die Formen der von Weiss gemessenen Augen in anderen Dimensionen nicht wesentlich von dem hier Geschriebenen abweichen, habe ich das Product der drei Masse genommen; es müssen nämlich, wenn die Formen dieselben sind, die Volumina der Augen sich wie diese Zahlen verhalten, d. i. wie 17397 zu 13809, oder wie $87:69=1,26$. Den Mittelwerth des Volumens bestimmte Weiss auf 7180 cmm; 1,26fach diese Zahl = 9046, während von mir 8500 cmm gemessen wurde (in beiden Fällen ohne den Sehnerven). Die Uebereinstimmung dieser Zahlen ist der Art, dass ich sagen darf, dass zwischen den *E*-Augen von Weiss und dem hier beschriebenen kein wesentlicher Unterschied in der Form bestanden haben wird.

Die Vortheile eines Baues des Bulbus, wie ich ihn gefunden

¹⁾ Weiss, loc. cit.

²⁾ Krause, loc. cit.

³⁾ Sappey, loc. cit.

habe, springen ins Auge; durch die abgeplattete Form hinten hat das Auge über einer viel grösseren Ausbreitung überall dieselbe Refraction, und ist dadurch als photographische Camera brauchbarer. Nach der nasalen Seite im Gesichtsfelde nimmt dann durch die Form des Bulbus die Refraction bald zu, nach der temporalen Seite bleibt diese lange, bis über 45° , genau gleich der centralen Brechung des Auges. Ob dies in jeder Hinsicht ein Vorthail ist, möchte ich nicht behaupten; es folgt aber aus der nasalwärts bestehenden Myopie, dass Alles, was sich zwischen den beiden Gesichtslinien befindet, bei der Fixation eines Gegenstandes ziemlich scharf gesehen werden kann, was besonders bei der Arbeit in der Nähe wichtig ist, weil dadurch feinere Gegenstände zu gleicher Zeit scharf gesehen werden können. Ich möchte aber hierüber vorläufig nicht zu weit gehende Betrachtungen anstellen.

Dass das Auge sich um den Mittelpunkt der inneren und der äusseren Kugel dreht, ist gewiss ein Vorthail, denn dies wird wohl auch ungefähr der Schwerpunkt des Auges sein, während die Bewegung des Bulbus in der Orbita dabei auch am leichtesten stattfinden kann. Anfänglich schien mir für die Bewegung die hintere Abflachung ein Nachtheil, denn, wie es die herrschende Ansicht auslegt, könne eine Kugeloberfläche am leichtesten rotiren und als Ganzes ihre Stelle behalten. Nachher sah ich ein, dass die Anwesenheit des Sehnerven und der Muskeln die Sache doch etwas ändert. Der erstere, dieser schlaffe, wahrscheinlich S-förmig gekrümmte Verbindungsstrang des Bulbus mit dem Foramen opticum würde das Auge vielmehr in seiner Beweglichkeit hindern, wenn die hintere Begrenzungsfläche kugelförmig wäre. Denn in dem Falle müssten bei der Verschiebung des Sehnerven in dem Raum zwischen den geraden Augenmuskeln immer lockeres Fett und Bindegewebe von der einen Seite desselben nach der anderen verschoben werden, da die Gewebe nicht comprimierbar sind und nirgendwo ausweichen können, und es versteht sich, dass dies eigentlich nicht gut möglich ist, und mithin ein grosser Widerstand sich der Bewegung des Nerven und des Bulbus entgegenstellen würde. Sehr einfach hat die Natur diese Schwierigkeit überwunden und es möglich gemacht, in dem seitlich vollständig abgeschlossenen Orbitalraume die Verschiebung des Sehnerven ohne Aufwand von Kraft zu Stande kommen zu lassen. Sobald der Bulbus von der Form, wie Fig. 6 sie zeigt, anfängt sich zu drehen, wenn z. B. der Blick nasalwärts gewendet wird, beginnt der Theil α das retrobulbäre Gewebe an der nasalen Seite vom Sehnerven zu drücken.

und da dieses sonst nirgendwo ausweichen kann als nach der temporalen Seite, wo der Sehnerv eben Platz machen will, erfolgt das eine und das andere ohne viel Zerrung; an der temporalen Seite geschieht das Entgegengesetzte: hier würde die Drehung des Bulbus theiles *b* ein Ansaugen in dem retrobulbären Gewebe zur Folge haben müssen, aber da der Sehnerv ebenfalls folgt, finden die beiden Bewegungen ohne viel Widerstand statt; es braucht dabei also gar kein Verschieben von Gewebetheilen in zwei einander gerade entgegengesetzte Richtungen stattzufinden, wie der kugelförmige Bulbus dies erheischen würde; was geschieht ist nichts Anderes, als dass an der Seite, wohin der Nerv sich bewegt, die Fettmasse in der Richtung des Nerven länger und in transversaler Richtung schmaler wird, und umgekehrt an der anderen Seite.

Die konische Form an der vorderen Seite erfüllt einen derartigen Zweck; denn der Raum, welcher entstehen würde, wenn z. B. der abgeflachte nasale Theil tiefer in der Orbita gedreht wird und den Platz von *a* einnimmt, bietet Gelegenheit, den Muskelbauch des contrahirten Rectus internus aufzunehmen, und an der temporalen Seite wird die Verdrängung des Gewebes durch *b* bei der Rotation wieder compensirt durch die Verdünnung des Muskels bei der Ausdehnung.

Auf diese Weise ist die seitliche Verschiebung des Bulbus durch den Druck der Muskelbäuche in bewundernswürdiger Weise verhütet worden. In dem retrobulbären Raum wird ebenfalls die Contraction des Muskels an der Verschiebung des Sehnerven nach der Seite der Rotation noch mitwirken. Für den optischen Bau des Auges ist die konische Form an der vorderen Seite ebenso ausreichend, wie die sphärische, während für die Wirkung der Augenmuskeln die erstere Form vortheilhafter ist, indem dabei viel weniger Druck auf das Auge ausgeübt wird.

Schliesslich weise ich noch darauf hin, dass auch aus meiner Abbildung hervorgeht, dass die laterale Hälfte des Auges ein bischen grösser erscheint als die mediale.

Wie oben mitgetheilt, wurde das äussere Volumen des Auges auf 8500 cmm gemessen. Ich habe daraus für den Inhalt des Auges 6500 cmm berechnet, indem ich annahm, dass diese Grössen sich als 13^3 zu $12,3^3$ verhalten würden, d. i. als 110 zu 93. Für Iris und Ciliarkörper wurde dann noch, um eine runde Zahl zu erhalten, 68 cmm abgezogen. Um die Kleinheit der Volumzunahme beurtheilen zu können, schien es mir nothwendig, eine Zahl zu haben, welche den Inhalt des Auges wenigstens annähernd ausdrückt.

Ich verhehle mir nicht, dass es wünschenswerth ist, die hier angeführten Untersuchungen auf eine grössere Zahl von Augen auszudehnen. Ohne Zweifel wird dann bestätigt werden, was Helmholtz als seine Meinung aussprach, dass die individuellen Verschiedenheiten des menschlichen Auges zu gross sind, um mit viel Recht Durchschnittsmasse annehmen zu dürfen. Aber die Gesetze, nach denen jeder Bulbus gebaut ist, können bei kleinen Verschiedenheiten der Form und der Grösse dennoch die gleichen sein. Daher sollen die Messungen sich über viele Bulbi erstrecken. Aber einerseits glaube ich, dass Untersuchungen an Leichenaugen, welche frühestens 24 Stunden nach dem Tode zur Präparation gelangen, keine grosse Sicherheit bieten können, um über normale Verhältnisse zu urtheilen, und andererseits bin ich nicht oft genug in der Lage, ein ganz frisches, so zu sagen lebendes, normales menschliches Auge zu untersuchen, um nicht fürchten zu müssen, dass, wenn ich mit der Veröffentlichung dieser Versuche darauf warten wollte, diese Arbeit ganz in den Hintergrund gerathen würde.

Während ich bis jetzt also selber vor Verallgemeinerung meiner Resultate warnen muss, glaube ich, dass die mitgetheilten Zahlen und Daten bei anderen Untersuchungen von einigem Nutzen sein können.

Erklärung der Abbildungen auf Taf. XIII.

I.

A 3 und 10. Die Gypsabgüsse der äquatorialen Ebene bei einem intra-oculareren Druck von 3 und von 10 mm Hg über einander abgezeichnet. *e* Stückchen Gyps ausgefallen.

A 10 und 25. Ebenso diejenigen bei einem Drucke von 10 und 25 mm Hg.

A 25 und 100. Ebenso diejenigen bei einem Drucke von 25 und 100 mm Hg. (Da es ein linkes Auge ist, werden die Schnitte *A* in der Zeichnung von vorn gesehen.)

B 3 und 10. Die Gypsabgüsse der verticalen meridionalen Ebene bei einem Drucke von 3 und von 10 mm Hg über einander abgezeichnet.

B 10 und 25. Ebenso diejenigen bei einem Drucke von 10 und 25 mm Hg.

B 25 und 100. Ebenso diejenigen bei einem Drucke von 25 und 100 mm Hg. (Diese Schnitte *B* werden also von der linken Seite des Patienten gesehen.)

C 3 und 10. Die Gypsabgüsse der horizontalen meridionalen Ebene bei einem Drucke von 3 und von 10 mm Hg über einander abgezeichnet. Bei *a* und *c* ist ein Stückchen Gyps ausgebröckelt.

C 10 und 25. Diejenigen bei einem Drucke von 10 und 25 mm Hg. Bei *c* und *b* sind Stückchen ausgebröckelt.

C 25 und 100. Ebenso diejenigen bei einem Drucke von 25 und 100 mm Hg. Bei *d* ist ein Stückchen ausgefallen.

(Die Schnitte *C* werden in der Zeichnung gesehen, als ob man das Auge von unten herab betrachtet, sie liegen durch die Mitte der Cornea, und gerade unter dem Sehnerven.)

II.

- A3, A10, A25 und A100.* Die Gypsabgüsse der äquatorialen Ebene bei einem intraocularen Drucke von 3, 10, 25 und 100 mm Hg; mit den grössten horizontalen und verticalen Durchmessern, welche sich nahezu in gleiche Hälften theilen, wiewohl der Umkreis gar kein Zirkel ist. In der Zeichnung von vorn gesehen. Bei *e* ein Stückchen Gyps ausgefallen.
- B3, B10, B25 und B100.* Die Gypsabgüsse der verticalen meridionalen Ebene bei einem intraocularen Druck von 3, 10, 25 und 100 mm Hg, *r* = Radius der Cornea; *m* = Krümmungsmittelpunkt; die Corneaachse geht überall fast genau durch die Mitte des äquatorialen Durchmessers. Die Projection des Sehnerven auf die Fläche der Zeichnung ist durch eine gestichelte Linie angegeben.
- C3, C10, C25 und C100.* Die Gypsabgüsse der horizontalen meridionalen Ebene bei einem intraocularen Druck von 3, 10, 25 und 100 mm Hg; *r* und *m* wie oben; auch hier geht die Corneaachse fast genau durch die Mitte des horizontalen, äquatorialen Durchmessers. Bei *a, b, c* und *d* sind Stückchen des Gypses ausgebröckelt. Die Projection des Sehnerven auf der Fläche der Zeichnung ist gestichelt angegeben; *s* ist die Mitte der eingebundenen Canüle.
-

