Neue Untersuchungen über den Flüssigkeitswechsel des Auges.

Von

Prof. Th. Leber und Dr. A. Pilzecker
in Heidelberg. in Freiburg i. B.

Hierzu Taf. I, und 14 Figuren im Text.

I.

Stand unserer Kenntnisse und Aufgabe weiterer Untersuchung.

So divergierend auch die Ansichten über die Quellen des Kammerwassers heute noch sind, so stimmen doch fast alle Beobachter in der Annahme überein, dass eine stetige, unmerkliche Erneuerung desselben stattfindet, dass fortwährend ein Teil des Kammerinhalts durch die Venen aufgesaugt und nach aussen abgeführt und durch eine gleich grosse Menge neu abgesonderter Flüssigkeit ersetzt wird. Der sichere Nachweis dieses Flüssigkeitswechsels ist schwer zu führen, weil am intakten Auge weder eine Zufuhr, noch eine Abfuhr von Flüssigkeit zu beobachten ist. Besonders schwierig gestaltet sich der Nachweis der normalen Absonderung; die darüber angestellten Versuche sind nicht eindeutig und unterliegen noch der Kontroverse. Dagegen lässt sich das Vorkommen einer stetigen Flüssigkeitsabfuhr am frischen toten Auge leicht demonstrieren und die Menge der zum Ersatz in das Auge eintretenden Flüssigkeit messen.

Da wir nun annehmen können, dass dasselbe, was unter gleichen Bedingungen am lebensfrischen toten Auge geschieht, auch am lebenden Auge stattfinden werde, so hat seinerzeit der eine von uns¹⁾ die Messung der Filtration des Auges als ein Mittel empfohlen, um die normale Absonderung des Kammerwassers zu bestimmen, welche als innere Sekretion der direkten Messung entzogen ist. Wenn der Augendruck, wie die Beobachtung ergibt, während des Lebens eine

¹⁾ Th. Leber, Über den Flüssigkeitswechsel in der vorderen Augenkammer. Bericht üb. d. 24. Versammlung d. Ophthalm. Gesellschaft. 1895. S. 83—97.

konstante Höhe besitzt, so erschien die Annahme berechtigt, dass während einer gewissen Zeit der Zufluss durch Absonderung dem Abfluss durch Filtration genau gleich ist, so dass wir somit nur die normale Filtration zu messen brauchen, um über die Grösse der normalen Sekretion Aufschluss zu erhalten.

So einfach dieses Prinzip auch ist, so stellen sich seiner korrekten Anwendung doch zahlreiche und verschiedenartige Schwierigkeiten und Fehlerquellen entgegen, auf welche Th. Leber schon in seinem damaligen Vortrag hingewiesen hat. Da wir die Filtration nur am toten Auge messen können, so fragt es sich, ob die Verhältnisse, unter denen wir hier vorgehen, denen des lebenden Auges auch hinreichend gleich sind. Es liegt auf der Hand, dass wir bei Versuchen am toten Auge mit einer ganzen Anzahl von Umständen zu rechnen haben, die von dem Verhalten des lebenden Auges abweichen, und von denen wir nicht wissen, ob und von welcher Bedeutung sie sind. Es wurde daher schon in dem oben genannten Vortrage bemerkt, dass es noch vielfältiger Versuche bedürfen werde, bis alle möglichen hier in Betracht zu ziehenden Einflüsse herausgefunden und in ihrer Bedeutung für die Filtration erforscht seien, und bis wir damit zu einer möglichst richtigen Vorstellung über die Menge der normalen Kammerwasserabsonderung gelangen werden.

Um wenigstens zu vorläufigen Resultaten zu gelangen, wurden seinerzeit unter den einfachsten Bedingungen an ausgeschnittenen oder noch in situ befindlichen Augen von Tieren, zum Teil auch von Menschen, möglichst rasch nach dem Tode von Th. Leber und Bentzen¹⁾ mit noch unvollkommenen Vorrichtungen und dann von Niesnamoff²⁾ mit dem von Th. Leber konstruierten Filtrationsmanometer eine Anzahl von Messungen der Filtration ausgeführt. Dieselben stimmten sowohl unter sich ziemlich gut überein, als auch mit früheren, nach demselben Prinzip ausgeführten Bestimmungen von Priestley Smith am Hammelauge. Bemerkenswert ist auch, dass Leplat, welcher die Filtration nach einer ganz andern Methode am lebenden Kaninchen zu bestimmen versuchte, einen ganz ähnlichen, nur etwas geringeren Wert erhielt; allerdings erscheint es nicht sicher, ob diese Methode wirklich ganz zuverlässige Resultate gibt. Die gefundenen Werte, ungefähr 5 cmm in der Minute für das menschliche und ungefähr 7 cmm für das Kaninchenauge, sind

¹⁾ Dieses Arch. Bd. XLI. 3. S. 208—257 (1895).

²⁾ Ibid. Bd. XLII. 4. S. 1—35 (1896).

auffallend gering. Es ergab sich also, dass der Flüssigkeitswechsel in der vorderen Kammer ein äusserst langsamer ist, und dass von einer Strömung im gewöhnlichen Sinne des Wortes dabei keine Rede sein kann. Hiermit harmoniert auch die am angegebenen Orte berichtete Tatsache, dass in Fällen, wo feine Teilchen fremder Substanz im Kammerwasser suspendiert sind, an diesen keine auf Zu- und Abfluss zu beziehende Bewegung, wohl aber unregelmässige Flüssigkeitswirbel und Senkungsvorgänge wahrzunehmen sind; auch das Vorkommen einer regelmässigen Senkung des durch Diffusion aus den Gefässen der Iris in die vordere Kammer übertretenden Fluoresceins durch den Einfluss der Schwere, in Gestalt der sog. Ehrlichschen Linie, ist, wie an gleicher Stelle hervorgehoben wurde, mit der Annahme eines raschen Flüssigkeitswechsels in der vorderen Kammer unvereinbar.

Wir können mit Bezug hierauf auf dasjenige verweisen, was der eine von uns in Graefe-Saemischs Handbuch in dem Kapitel über die Cirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges (§ 96) eingehender dargelegt hat.

Auf einem völlig anderen Wege hat neuerdings Bosch¹⁾ die Grösse des normalen Flüssigkeitswechsels beim lebenden Tier zu bestimmen gesucht. Er liess durch $\frac{3}{4}$ stündige Einwirkung von 2% *LiCl*-Lösung auf die Hornhaut des lebenden Kaninchens diese Substanz in die vordere Kammer hinüberdiffundieren, entfernte alsdann den Überschuss durch Abwaschen und bestimmte zu verschiedenen Zeiten nachher die Menge des nun entleerten Kammerwassers und, auf spektroskopischem Wege, dessen Gehalt an *LiCl*. Aus je zwei Versuchen an den beiden Augen desselben Tieres wurde die zur völligen Erneuerung des Inhaltes der vorderen Kammer notwendige Zeit berechnet. Es wird dabei angenommen, dass die Abnahme des Gehaltes an *LiCl* nur durch den Flüssigkeitswechsel erfolge, und dass die gleichzeitige Abnahme durch Diffusion so gering sei, dass sie ohne merklichen Fehler vernachlässigt werden könne, was wir dahingestellt sein lassen. Das Genauere über die Methode muss im Original eingesehen werden.

Auf Grund dieser Versuche kommt Bosch gleichfalls zu dem Resultate, dass der Flüssigkeitswechsel des Auges ein sehr langsamer sein muss, nur ist er geneigt, ihn für noch viel langsamer zu halten,

¹⁾ C. F. Bosch, Bijdrage tot de Kennis van den duur der vochtverversching in de voorste Oogkamer bij het Konijn. Acad. Proefschr. Amsterdam 1904.

als ihn Th. Leber angeschlagen hatte. Die Ergebnisse seiner Versuche zeigen aber unter einander sehr grosse Differenzen; seine Zahlen für die Zeit der völligen Erneuerung des Kammerinhalts schwanken zwischen 26 und 462 Minuten. Er glaubt zwar aus bestimmten Gründen, dass die höheren Werte die richtigeren seien; doch sind die Unterschiede viel zu bedeutend, als dass diese Methode, so sinnreich sie auch ausgedacht ist, für jetzt ein besonderes Vertrauen in Anspruch nehmen könnte.

Wie wir erst kürzlich aus der Arbeit von Bosch ersehen haben, hat Venneman schon 1899 das Vorkommen eines stetigen Flüssigkeitswechsels im normalen Auge völlig in Abrede gestellt. In der uns darüber allein zugänglichen kurzen Mitteilung ist diese Behauptung nicht weiter motiviert. Wir wollen daher hier nicht nochmals alle die Gründe wiederholen, welche dafür sprechen, dass auch am lebenden Auge bei normalem Augendruck eine Filtration in ähnlicher Weise vor sich geht, wie am frisch ausgeschnittenen toten Auge. Wir begnügen uns, auf die Versuche mit Injektion von Tuschesuspension in die vordere Kammer und in den Glaskörper hinzuweisen, welche von Nuel und Benoit¹⁾ und von Asayama²⁾ an Augen von Tieren und in einzelnen Fällen von Menschen (Nuel, kurz vor Ausführung einer Enucleation) angestellt worden sind. Die injizierte Flüssigkeitsmenge war in den Versuchen von Nuel so gering, dass sie nur eine ganz unbedeutende und rasch vorübergehende Steigerung des Augendruckes bewirken konnte, so dass bei den beobachteten Vorgängen die Mitwirkung einer Drucksteigerung ausgeschlossen war. Die Tuschekörnchen wurden dabei in einer Weise in der Umgebung der abführenden Venen angehäuft, die sich nur durch die Annahme erklären lässt, dass sie bei dem Übertritt der Suspensionsflüssigkeit in das Gefässlumen von der Gefässwand zurückgehalten und grösstenteils abfiltriert wurden, während nur ein kleiner Teil derselben in das Gefässlumen hineingelangte.

Aus diesen Versuchen geht doch wohl hervor, dass auch während des Lebens die nötige Druckdifferenz zwischen vorderer Kammer und Veneninhalt, die wesentliche Bedingung für das Zustandekommen einer Filtration, vorhanden ist. Wir müssen also daraus den Schluss ableiten, dass der Druck in den abführenden Venen niedriger ist als der intraokulare. Diese Annahme begegnet auch für den Circulus

¹⁾ Arch. d'Ophtalm. Tom. XX. p. 161—228 (1899).

²⁾ Dieses Arch. Bd. LI. S. 98—114 (1900).

venosus Schlemmii und den intraskleralen Verlauf der Venae vorticosae durchaus keinen Bedenken. Bekanntlich ist die Wandung des Circulus venosus fest mit der Sklera verwachsen und dadurch vor Kompression geschützt; das Lumen bleibt in Folge dessen auf dem Durchschnitten klaffend. Eine ähnliche Einrichtung ist auch an den Venae vorticosae vorhanden. Der Druck in diesen Venen kann daher niedriger sein als der in der vorderen Kammer und im Glaskörperraum, ohne dass sie durch den intraokularen Druck zusammengepresst werden, wodurch die Möglichkeit einer Filtration in ihr Lumen hinein gegeben ist. Nicht so einfach ist die Sache bei den Wurzeln der Venae vorticosae in der Iris und im Ciliarkörper, an welchen die oben genannten Forscher ebenfalls ein auf Filtration zu beziehendes Zurückbleiben der Tuschekörnchen in der Umgebung der Gefässe beobachtet haben. Es bedarf weiterer Aufklärung, ob und wie es möglich ist, dass auch bei diesen Venen der intravaskuläre Druck hinter dem Augendruck zurückbleibt, ohne dass es zu einer Kompression ihres Lumens durch den letzteren kommt. Da uns die Höhe des intravenösen Druckes nicht bekannt ist, so lässt sich auch dessen Einfluss auf die Grösse der Filtration nicht genauer angeben. Es lässt sich nur sagen, dass die Filtration während des Lebens nicht einfach dem Druck in der vorderen Kammer, sondern der Differenz zwischen intraokularem und intravenösem Druck entsprechen muss. Nach dem Tode, wo die Blutcirkulation mangelt, wird diese Druckdifferenz und demgemäss auch die Filtration, wenigstens zunächst, grösser sein als im Leben. Sobald aber die abführenden Venen sich durch die Filtration neu gefüllt haben, wird in diesen der Druck wieder einen gewissen positiven Wert erreichen; derselbe wird nur soviel hinter dem Augendruck zurückstehen, als der bei der Filtration zu überwindende Widerstand der Gefässwand beträgt. Wenn ein Beharrungszustand eingetreten ist, sind also die Verhältnisse von denen im Leben nicht mehr so sehr verschieden, nur dass wohl die Druckdifferenz beim toten Auge noch immer grösser sein wird. Will man also die Filtration beim toten Auge auf die beim lebenden übertragen, so wird man sie im Verhältnis der in beiden Fällen wirksamen Druckdifferenzen zu reduzieren haben.

Bosch hat bemängelt, dass Th. Leber in seinem Lehrbuch den in Rede stehenden, von ihm früher ausdrücklich hervorgehobenen Unterschied zwischen lebendem und totem Auge nicht berücksichtigt und die beim toten Auge gefundene Filtration einfach auf das lebende Auge übertragen habe. Es ist zuzugeben, dass dieser Umstand hätte

scharfer hervorgehoben werden können; doch findet dies darin eine Entschuldigung, dass es sich zunächst um Näherungswerte handelte, und dass der Druck in den Venen der Orbita wohl so niedrig ist, dass der in Rede stehende Unterschied kaum sehr erheblich sein kann. Mag aber die Filtration des lebenden Auges aus dem angegebenen Grunde um eine gewisse Quote niedriger sein, als die des toten unter sonst gleichen Bedingungen, das Vorkommen einer Filtration und eines stetigen Flüssigkeitswechsels am lebenden Auge darf deshalb nicht in Abrede gestellt werden.

Aus den vorhergehenden Darlegungen ergibt sich, dass weitere Untersuchungen über die normale Filtration des Auges erforderlich sind. Wir wurden zur Wiederaufnahme derselben veranlasst, als der eine von uns (Dr. Pilzecker) begonnen hatte, sich mit der Pathogenese der experimentellen Hypotonie zu beschäftigen. Die dabei hervortretende Unsicherheit über die Grösse der normalen Filtration machte es notwendig, den Ursachen der beobachteten Schwankungen nachzugehen, um dadurch bessere Anhaltspunkte für die Beurteilung der pathologischen Verhältnisse zu gewinnen. Inzwischen waren aber auch gegen die von Th. Leber ausgearbeitete Methode, die Filtration zu messen, von Uribe y Troncoso¹⁾ Bedenken und Einwände erhoben worden, deren Prüfung uns ebenfalls zu neuen Versuchen Anlass gab. Soweit sich diese Einwände auf das auch von uns zu den vorliegenden Untersuchungen benutzte Filtrationsmanometer beziehen, sind sie von dem einen von uns schon an anderer Stelle widerlegt worden. Es wurde dort²⁾ gezeigt, dass die gegen diesen Apparat erhobenen Bedenken nicht begründet sind, und dass derselbe bei korrekter Ausführung und sachgemässer Benutzung sehr genaue Resultate liefert. Auch sonst können wir in verschiedenen Punkten nicht mit den Ansichten von Uribe y Troncoso übereinstimmen, erkennen aber gerne die Förderung an, welche unsere Kenntnis der Filtrationsverhältnisse des Auges durch seine Arbeit erfahren hat. Wir werden auf die übrigen von ihm erhobenen Einwände in der vorliegenden Arbeit, soweit es für den Zweck derselben nötig ist, an den gehörigen Orten einzugehen und die Beweise für unsere Ansichten zu erbringen haben. Inzwischen haben sie zu

¹⁾ Uribe y Troncoso, Recherches expérimentales sur la filtration de liquides salins et albumineux à travers la chambre antérieure et son rôle dans la genèse du glaucome. Ann. d'Ocul. Tom. CXXXIII. Janv. 1905.

²⁾ Th. Leber, Sur la filtration de l'oeil et sur son rôle dans la pathogénie du glaucome. Ann. d'Ocul. Tom. CXXXIII. Juin 1905.

einer Fortsetzung der Kontroverse¹⁾ in der citierten Zeitschrift geführt, in welcher aber von uns nur die allgemeinen Resultate unserer Versuche mitgeteilt worden sind.

Schon bei den früheren, gemeinschaftlich mit Bentzen ausgeführten Filtrationsversuchen hatte sich das eigentümliche Verhalten herausgestellt, welches uns auch jetzt immer wieder begegnete, dass die Grösse des Einlaufs in das Auge im Verlauf der Zeit zuerst rasch und später langsamer abnahm und dass es deshalb bis zu einem gewissen Grade unsicher blieb, welchen Wert man als den richtigen, der Filtration entsprechenden, annehmen sollte. Es war von vornherein klar, dass die in der ersten Zeit erhaltenen Werte des Einlaufs nicht der normalen Filtration entsprechen. Lassen wir in ein noch so frisches enucleiertes oder noch in dem soeben getöteten Tiere befindliches Auge Flüssigkeit unter konstantem Druck einfliessen, so wird der bei weitem grössere Teil derselben dazu dienen, das durch das Aufhören des Blutzufusses entspannte und bis zu einem gewissen Grade collabierte Auge wieder zu füllen und in demselben den im Manometer herrschenden Druck herzustellen; nur ein kleiner Teil derselben wird gleichzeitig durch Filtration nach aussen gehen. Es wird dabei eine der Druckzunahme entsprechende Dehnung der Augenhüllen erfolgen, zugleich aber auch eine Annäherung an die Kugelform, infolge deren das Auge auch bei gleicher Grösse der Oberfläche noch Flüssigkeit aufnehmen kann²⁾. Ist aber der entsprechende Füllungsgrad eingetreten und hat sich der Druck im Inneren des Auges auf die im Manometer herrschende Höhe erhoben, was nach sehr kurzer Zeit erfolgt sein muss, so sollte man erwarten, dass von da ab in einer gegebenen Zeit so viel Flüssigkeit in das Auge eintreten würde, als durch Filtration aus demselben austritt; man sollte denken, dass nun der Einlauf in das Auge ein Mass für die Filtration abgeben würde. Es zeigt sich aber sehr oft, dass der Einlauf

¹⁾ Th. Leber, Encore quelques mots à propos de la mensuration de la filtration de l'oeil. Ibid. Tom. CXXXIV. Sept. 1905.

Uribe y Troncoso, Sur la filtration de l'oeil et son rôle dans la pathogénie du glaucome. Rectifications à propos d'un article de critique du prof. Th. Leber. Ibid. Oct. 1905.

Th. Leber, Nouvelles recherches sur la pression et la filtration de l'oeil, à propos des questions soulevées par M. Uribe y Troncoso. Ibid. Tom. CXXXV. Avril 1906.

²⁾ Bentzen u. Th. Leber, Über die Filtration aus der vorderen Kammer bei normalen und glaukomatösen Augen. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XLI. 3. S. 219 (1895).

zwar anfangs rasch abnimmt, dass aber diese Abnahme nicht bald ihr Ende erreicht, sondern dass die einflussende Menge sich noch weiterhin und zwar sehr lange Zeit hindurch, wenn auch äusserst langsam, vermindert; sie nähert sich auf diese Art einem Grenzwerte, aber ohne denselben in absehbarer Zeit, selbst nach ein bis zwei Stunden, wirklich zu erreichen.

Zur Erklärung wurde schon damals darauf hingewiesen, dass bei organischen Substanzen immer auf einen gewissen Grad von elastischer Nachwirkung gerechnet werden muss, in Folge deren die Dehnung nicht mit einem Male aufhört, sondern in allmählich abnehmendem Masse noch eine Weile fortdauert. Die Vermutung, dass im Anfang, wenn die Gefässe noch leer sind, die Filtration rascher erfolgen werde als später, wo die Gefässe schon Flüssigkeit enthalten, hat sich bei unsern jetzigen Versuchen nicht bestätigt. Auch die Besorgnis, dass bei zu langem Zuwarten der Zustand des Auges sich inzwischen verändern könnte, oder dass vielleicht durch den Versuch selber, z. B. durch Quellung der Gewebe, in Folge der fortgesetzten Irrigation mit $\frac{3}{4}\%$ *NaCl*-Lösung, die Filtration mit der Zeit verringert werden möchte, ist durch dieselben, bei Verwendung von isotonischer (1%) *NaCl*-Lösung als unbegründet erwiesen worden, da wir zeigen konnten, dass die Filtration im Gegenteil im Verlauf des Versuches zunimmt (vgl. Abschnitt X).

Später hat Niesnamoff¹⁾ bei Versuchen mit dem inzwischen konstruierten Filtrationsmanometer gefunden, dass man konstantere Werte des Einlaufs erhält, wenn man zu den Versuchen sehr sorgfältig filtrierte indifferente Flüssigkeit benutzt. Er kam zu der Überzeugung, dass die allmähliche Abnahme des Einlaufs nicht so sehr von Quellung der Gewebe, als vielmehr von zunehmender Verstopfung der Poren der Wände des Circulus venosus herrühre. Bei seinen ersten Versuchen mit nicht oder ungenügend filtrierten Lösungen hatte er inkonstante Resultate erhalten und den Einlauf während des Versuches abnehmen sehen; erst bei Verwendung mehrfach filtrierter Lösungen wurde der Einlauf rasch konstant und blieb so während der übrigen Zeit des Versuches. Zur weiteren Bestätigung seiner Ansicht führt er noch an, dass bei Verwendung filtrierter Tusche-suspensionen (die nur äusserst feine Körnchen enthalten) der Einlauf trotz wiederholter bedeutender Steigerung des Filtrationsdruckes immer wieder stetig abnahm.

¹⁾ Über die quantitativen Verhältnisse der Filtration und Sekretion im Kammerwinkel. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XLII. 4 (1896.)

Der von ihm angeführte Versuch an einem Schweinsauge ergibt in der Tat, dass bei einem Druck von 25 mm *Hg* die Filtration nach 11 Minuten den Wert von 11 cmm in der Minute erreichte und sich auf diesem, von minimalen Schwankungen abgesehen, 20 Minuten lang unverändert erhielt. Doch bleibt hier dahingestellt, ob nicht bei noch längerer Dauer des Versuchs eine langsame Abnahme eingetreten wäre.

Unsere jetzigen Versuche wurden fast alle mit wiederholt filtrierter 1% *NaCl*-Lösung angestellt, welche mit dem Humor aqueus isotonisch ist. Wir haben dabei in manchen Fällen ganz dasselbe beobachtet, wie Niesnamoff, indem auch bei noch weit längerer Fortsetzung der Versuche die Filtration völlig konstant blieb. Als Beispiel führen wir folgenden Versuch an, der gleichfalls an einem völlig frischen Schweinsauge angestellt wurde. Die geringen Druckdifferenzen, welche im Verlauf desselben vorkamen, erklären sich, wie oben gezeigt wurde, durch das bei der Dauer des Versuchs nicht ganz ausreichende Kaliber des weiten Manometerrohrs. Man kann die Werte des Einlaufs auf gleichen Druck umrechnen (vgl. Kol. 5), wobei sich ergibt, dass diese Druckschwankungen ohne wesentlichen Einfluss waren.

Versuch vom 8. VI. 1905 (Protokoll-Nr. XV).

Frisches Schweinsauge:

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Stand der Luft- blase	In das Auge eingelaufene Flüssigkeit in cmm	Einlauf auf 26 mm <i>Hg</i> -Druck reduziert	Zimmer- temperatur	Bemerkungen
5 Uhr 50	26	73,5			20,3° C.	
— 51		207,5	13,4			
— 52		218,5	11,0			
— 53		227,5	9,0			
— 54		235	7,5			
— 55		242,5	7,5			
— 56		249	6,5			
— 57		255	6,0			
— 58		261,5	6,5			
— 59		267,5	6,0			
6 Uhr 00	—	273	5,5			
— 01	—	279	6,0			
— 02	—	284,5	5,5			
— 03		290	5,5			
— 04		295	5,0			
— 05		300,5	5,5			
— 06		306	5,5			
— 07		311	5,0			
— 08		316,5	5,5			
— 09		321,5	5,0			
— 10	25	327	5,5	5,7		

Zeit	Druck in mm Hg	Stand der Luft- blase	In das Auge eingelaufene Flüssigkeit in cmm	Einlauf auf 26 mm Hg-Druck reduziert	Zimmer- temperatur	Bemerkungen
6 Uhr 11		332	5,0			
— 12		337	5,0			
— 13		342	5,0			
— 14		347,5	5,5			
— 15		352,5	5,0			
— 16		357,5	5,0			
— 17		362,5	5,0			
— 18		367,5	5,0			
— 19		373	5,5			
— 20		378	5,0			
— 21		383	5,0			
— 22	27	41			20,6° C.	Die Luftblase wird jetzt durch Ein- pressen von Flüssig- keit in die Nähe des Anfangs der Skala zurückgebracht, wo- durch der Druck auf 27 mm steigt.
— 23		47	6,0	5,8		
— 24		53	6,0			
— 25		58,5	5,5			
— 26		64,5	6,0			
— 27		70	5,5			
— 28		76,5	6,5			
— 29		82	5,5			
— 30		88,5	6,5			
— 31		94,5	6,0			
— 32		100,5	6,0			
— 33		106,5	6,0			
— 34		112,5	6,0			
— 35		118,5	6,0			
— 36		124,5	6,0			
— 37		131	6,5			
— 38		137	6,0			
— 39	26	143	6,0			
— 40		149	6,0			
— 41		155	6,0			
— 42		161	6,0			
— 43		167	6,0			
— 44		173	6,0			
— 45		179	6,0			
— 46		185	6,0			
— 47		191	6,0			
— 48		197	6,0			
— 49		203	6,0			
— 50		209	6,0			
— 51		215	6,0			

Wie man sieht, war hier der Einlauf schon nach dem Ende der 6. oder 7. Minute im wesentlichen konstant; die geringe Abnahme bis zum Ablauf der ersten 31 Minuten ist auf die allmähliche Druckerniedrigung zu beziehen; nach Zurückführung des Druckes auf die frühere Höhe (anfangs etwas darüber) bleibt der Einlauf von da ab bis zum Schluss des Versuches eine weitere halbe Stunde lang so gut wie konstant.

Dem gegenüber stehen aber andere Versuche, bei welchen auch

nach sehr langer Zeit der Einlauf keinen konstanten Wert annahm. So verhielt es sich u. a. in folgendem Versuch an einem frischen Kaninchenauge.

Versuch vom 27. Okt. 1904, angestellt von Dr. Pilzecker.

Augendruck während des Lebens bestimmt, betrug 15 mm *Hg*. Tier gleich darauf getötet und zunächst eine Stunde lang die Filtration durch Injektion in die vordere Kammer unter niedrigem Druck von 11 mm *Hg* unterhalten, wobei der Einlauf allmählich und stetig von 3 bis 1,5 cmm abnahm. Hierauf wird der Manometerdruck auf die normale Höhe von 15 mm *Hg* gebracht und die Filtration weiter fortgesetzt:

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Stand der Luftblase	Einlauf in das Auge
7 Uhr 12	15	171	
— 13	„	173,75	2,75
— 14	„	176,5	2,75
— 15	„	178,75	2,25
— 16	„	181	2,25
— 17	„	183	2,0
— 18	„	185	2,0
— 19	„	187	2,0
— 20	„	189	2,0
— 21	„	191	2,0
— 22	„	193	2,0
— 23	„	195	2,0
— 24	„	197	2,0
— 25	„	199	2,0
— 26	„	201	2,0
— 27	„	202,75	1,75
— 28	„	204,5	1,75
— 29	„	206,25	1,75
— 30	„	208,25	2,0
— 31	„	210	1,75
— 32	„	211,75	1,75
— 33	„	213,5	1,75
— 34	„	215,25	1,75
— 35	„	217	1,75
— 36	„	218,5	1,5
— 37	„	220,25	1,75
— 38	„	221,75	1,5
— 39	„	223,25	1,5
— 40	„	224,75	1,5
— 41	„	226,0	1,25
— 42	„	227,5	1,5
— 43	„	229	1,5
— 44	„	230,5	1,5
— 45	„	231,75	1,25
— 46	„	233	1,25
— 47	„	234,25	1,25
— 48	„	235,5	1,25
— 49	„	236,75	1,25
— 50	„	238	1,25
— 51	„	239,25	1,25
— 52	„	240,5	1,25

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Stand der Luftblase	Einlauf in das Auge
7 Uhr 53	15	241,75	1,25
— 54	„	243	1,25
— 55	„	244,25	1,25
— 56	„	245,5	1,25
— 57	„	246,5	1,0
— 58	„	247,75	1,25
— 59	„	248,75	1,0
8 Uhr 00	„	249,75	1,0

Ein Beispiel für diese allmähliche Abnahme gibt auch der erste Teil des im VII. Abschnitt mitgeteilten Versuches am menschlichen Auge, wo der Einlauf nach mehr als einer Stunde noch deutlich in Abnahme begriffen war.

In anderen Fällen kann man natürlich auch nach längerer Fortsetzung des Versuches im Zweifel bleiben, ob noch eine weitere, sehr langsame Abnahme des Einlaufs erfolgt, oder ob schon ein konstanter Wert erreicht ist.

Da die benutzten Lösungen immer gut filtriert waren, so konnte in unsern Versuchen die von Niesnamoff betonte Verstopfung der Poren der Filtrationswege, deren Bedeutung wir übrigens vollkommen anerkennen, nicht als Ursache der in Rede stehenden Erscheinung betrachtet werden. Sie war aber auch nicht wohl auf Quellung der Gewebe zu beziehen, da eine solche bei Verwendung der mit dem Kammerwasser isotonischen 1% *NaCl*-Lösung nicht zu befürchten stand oder jedenfalls erst bei langer Fortsetzung der Versuche hätte eintreten können, während die Abnahme des Einlaufs nicht erst in späteren Stadien der Versuche, sondern gleich von Anfang an auftrat und weiterhin im Gegenteil stetig geringer wurde. Es musste daher an einen Einfluss gedacht werden, der im Verlauf des Versuches allmählich abnahm. Hiernach erschien es uns notwendig, die Wirkung derjenigen Umstände gesondert in Betracht zu ziehen, in Bezug auf welche sich unsere bis dahin angestellten Versuche von dem Verhalten des lebenden Auges unterschieden. Es hat sich daraus eine ziemlich umfangreiche Untersuchungsreihe entwickelt, in welcher wir die verschiedenen Faktoren, denen ein Einfluss auf die normale Filtration zukommt, daraufhin geprüft haben.

Es wurden der Untersuchung unterzogen: Der Ort der Injektion (ob vordere Kammer oder Glaskörperraum), die Art der Injektionsflüssigkeit, die Temperatur derselben, die vorhergegangene Entspannung des Auges, die elastische Nachdehnung der Augenkapsel, das Verhältnis zwischen

der Grösse der Filtration und des Einlaufs; hieran schlossen sich dann Versuche zur Ermittlung des vitalen Wertes der Filtration an¹⁾.

Zur richtigen Deutung der Ergebnisse waren überdies Untersuchungen über das Verhältnis zwischen dem den Einlauf unterhaltenden Manometerdruck und der Höhe des dadurch in den beiden Räumen des Auges unterhaltenen Druckes notwendig, mit deren Mitteilung wir am zweckmässigsten beginnen.

Wir halten es aber für nützlich, zunächst noch eine genaue Anweisung zur Arbeit mit dem Filtrationsmanometer vorzuschicken. Es liegt in der Natur der vorliegenden Versuche, dass dabei vielerlei Umstände zu berücksichtigen sind, wovon die Erlangung richtiger Resultate abhängt. Wie wir aus eigener Erfahrung wissen, werden die zu beobachtenden Regeln, so selbstverständlich sie auch sind, selbst bei der grössten Aufmerksamkeit leicht übersehen oder vergessen, was das Misslingen des Versuches zur Folge haben kann. Bei Befolgung dieser Regeln lässt sich aber mit unserem Apparate sehr bequem und exakt arbeiten; derselbe stellt in seiner jetzigen Ausführung ein wirkliches Präzisionsinstrument dar, das zum Gebrauch stets bereit ist und keiner umständlichen Herrichtung bedarf.

II.

Anweisung zur Arbeit mit dem Filtrationsmanometer.

Das Filtrationsmanometer (Taf. I und Fig. 1 auf S. 14) ist hauptsächlich bestimmt zur Messung der Flüssigkeitsmengen, welche durch einen konstanten Druck in der Zeiteinheit in das Auge eingetrieben werden, oder während dessen Wirkung aus dem lebenden Auge (durch Sekretion) austreten. Es dient aber auch zur Messung des intraokularen Druckes, dessen Kenntnis ja bei Filtrations- oder Sekretionsversuchen am lebenden Auge notwendig ist.

Zur Druckmessung am lebenden Auge wird ausschliesslich das enge Manometer *B* benutzt, welches durch den Metallhahn *a* und den zwischen *C* und *A* befindlichen Glashahn *f* von dem weiten Manometer abgeschlossen und durch die Hähne *b* und *d* mit dem zum Auge gehenden Metallrohr *H* in Verbindung gesetzt wird. Das weite Manometer muss ausgeschaltet werden, weil ja sonst der darin herrschende Druck den Augendruck beeinflussen würde. Auf die Ausführung der Druckmessung gehen wir, als hinreichend bekannt²⁾, hier

¹⁾ Eine Mitteilung über die hauptsächlichsten Ergebnisse findet sich im Bericht über die 32. Vers. der Ophth. Gesellschaft. 1905. S. 241—248.

²⁾ Vgl. Cirkulations- u. Ernährungsverh. des Auges in Graefe-Saemischs Handb. 2. Aufl. S. 308—311.

nicht weiter ein. Wir werden uns auch, da die unten mitzuteilenden Versuche wesentlich die Messung der Filtration zum Zweck haben, auf die Bestimmung der in das Auge einlaufenden Flüssigkeitsmenge beschränken; die Messung der (durch Sekretion) aus demselben austretenden ergibt sich daraus mutatis mutandis von selbst.

Der zum Einlauf nötige Druck wird durch das weite Manometer *A* unterhalten, dessen Quecksilbersäule durch Einpressen oder Absaugen vermittels der Pumpe *C* auf beliebige Höhe gebracht werden kann. Die Einlaufsfüssigkeit gelangt durch das mit einer Millimeterteilung versehene,

Fig. 1.

400 mm lange und genau kalibrierte, enge Glasrohr *E* und durch die Hähne *a* und *d* zu dem nach dem Auge führenden Rohr *H*. Die Geschwindigkeit ihrer Bewegung wird durch eine in das letztere eingeführte Luftblase gemessen, deren Verschiebung an der Millimeterteilung abzulesen ist. Damit innerhalb kürzerer Zeiträume der Quecksilberdruck nicht merklich sinkt, sind die beiden Schenkel des Manometers *A* im Verhältnis zu dem Lumen des Rohres *E* sehr weit; ihr Durchmesser beträgt ungefähr 15 mm, der des Kapillarrohres (bei den bisher hergestellten Apparaten) 1,13 mm, so dass 1 mm der Rohrlänge genau 1 cmm Inhalt entspricht. Wenn beispielshalber in einer Minute 5 cmm Flüssigkeit in das Auge ein-

treten, so sinkt während dieser Zeit das Quecksilberniveau, da der Querschnitt eines 15 mm weiten Rohres 177 qmm beträgt, nur um $\frac{5}{177} = \frac{1}{35,4}$ mm, und da gleichzeitig das Niveau im andern Manometerschenkel um ebensoviel steigt, so nimmt der Druck in einer Minute nur um $\frac{1}{17,7}$ mm ab.

Der Versuch könnte also nahezu 18 Minuten hindurch fortgesetzt werden, ehe der Filtrationsdruck um 1 mm gesunken wäre. Bei einer Länge des Skalenrohrs von 400 mm, wie sie bei den neuerdings hergestellten Apparaten verwendet wird, würde der Druck um $\frac{400 \cdot 2}{177}$, also um ca. $4\frac{1}{2}$ mm sinken, wenn die Luftblase die ganze Länge des Rohrs durchliefe.

Bei Versuchen von kürzerer Dauer kann also das Sinken der Druckhöhe ohne erheblichen Fehler vernachlässigt werden. Bei länger fortgesetzten Beobachtungen muss aber der Druck von Zeit zu Zeit wieder auf die richtige Höhe gebracht werden, was auf die unten im § 7 angegebene Weise zu geschehen hat.

Als der Apparat im Jahre 1895 konstruiert wurde, pflegten die Versuche weit kürzere Zeit zu dauern, in der Regel nicht über $\frac{1}{2}$ Stunde, während sie jetzt nicht selten bis zu zwei Stunden fortgesetzt werden mussten. Für solche Versuche ist es wünschenswert, den Druck auch ohne Korrektion noch vollkommener konstant zu erhalten. Die Verwendung noch weiterer Manometerröhren hat wegen der grossen dazu erforderlichen Quecksilbermengen ihre Unbequemlichkeiten. Wir haben aber diesen Zweck neuerdings in sehr einfacher Weise dadurch erreicht, dass wir noch einen Wasserdruk hinzufügten, der durch einen Trichter mit sehr weiter Öffnung unterhalten wird. An der konvexen Biegung bei *K* wurde ein nach oben gehendes Ansatzstück angebracht, welches durch einen Glashahn zu verschliessen ist. Auf diesen Ansatz wird ein langer Kautschukschlauch aufgesteckt, dessen anderes Ende mit einem weiten Trichter in Verbindung steht (vergleiche Taf. I). Trichter und Schlauch werden durch ein einfaches Stativ getragen und mit der zur Injektion dienenden schwachen *NaCl*-Lösung gefüllt, deren Niveau durch verschiedene Einstellung des Trichters auf beliebige Höhe gebracht werden kann. Da das spezifische Gewicht des *Hg* 13,6 beträgt, so braucht man das Wasserniveau nur 13,6 mal höher zu stellen, als das des *Hg*, um beide Flüssigkeiten in das Gleichgewicht zu bringen und völlige Konstanz der Druckhöhe für eine noch so lange Versuchsdauer zu sichern. Da der Kautschukschlauch keinen integrierenden Bestandteil des Apparates bildet, und wenn er schadhaf geworden ist, leicht erneuert werden kann, so hat seine Verwendung keine Bedenken. Für normalen oder mässig erhöhten Druck ist die Einrichtung sehr bequem, etwas weniger für hohe Druckgrade, weil der Trichter dann sehr hoch gestellt werden muss. Man kann natürlich, wenn man kein Filtrationsmanometer besitzt, denselben Trichterapparat auch einfach mit einem kalibrierten Rohr nebst Skala verbinden; die Kombination mit dem *Hg*-Manometer gestattet aber eine bequemere und genauere Ablesung der vorhandenen Druckhöhe.

Es sei noch bemerkt, dass das zu den früheren Apparaten verwendete Glasrohr von der oben angegebenen Weite jetzt nicht mehr erhältlich ist, und dass in Folge dessen für jedes einzelne Rohr die Skala, der Weite entsprechend, geteilt werden muss. Es wird zu diesem Zweck zunächst durch Verschiebung eines *Hg*-Fadens im Lumen des Rohres konstatiert, dass dasselbe hinreichend genau cylindrisch ist; hierauf eine längere gemessene Strecke des Rohres mit Quecksilber gefüllt und durch Wägung des entleerten Quecksilbers der Kubikinhalt dieser Röhrenstrecke berechnet. Hieraus erhält man die Länge der Strecke, welche von 400 cmm eingenommen wird, und diese ist dann in 400 gleiche Teile zu teilen, von welchen jeder einem Volumen von 1 cmm entspricht. Bei demjenigen Rohr, welches uns früher geliefert wurde, entsprach, wie es scheint durch Zufall, sehr genau der Inhalt einer Strecke von 1 mm einem Kubikmillimeter Inhalt, woraus sich ein Durchmesser des Lumens von 1,13 mm berechnet. Da bei der Fabrikation der Röhren sich deren Weite nie vollkommen genau nach Wunsch herstellen lässt, so würde ein gleich weites Glasrohr wie das bisher verwandte nur durch mühsames Aussuchen und Messen zahlreicher Proben wieder zu erhalten sein, weshalb es viel einfacher und ebenso zweckentsprechend gefunden wurde, die Skala in Zukunft für jedes Rohr besonders herstellen zu lassen¹⁾.

Vorbereitung des Apparates.

§ 1. Man kontrolliert vor allem die Schlussfähigkeit der Hähne, indem man mit der *Hg*-Pumpe einen ziemlich hohen Druck erzeugt, während bald diese, bald jene Hähne geschlossen sind, und beobachtet, ob die erzeugte Druckhöhe sich nach einiger Zeit bei gleich bleibender Temperatur nicht ändert. Dieselbe Kontrolle ist nach Beendigung des Versuchs zu wiederholen.

Da die Stempel der Spritze *G* und der *Hg*-Pumpe *C* nicht immer so vollkommen schliessen wie die Hähne, so lässt man erstere, während sie nicht gebraucht werden, am besten durch die Hähne abgeschlossen. Dies gilt besonders für die Spritze *G*, die immer durch den Hahn *e* verschlossen werden kann, ohne dass der Versuchsplan dadurch gestört wird.

§ 2. Ist keine Luftblase im Skalenrohr vorhanden, so führt man eine solche am bequemsten auf folgende Art in dasselbe ein. Man lockert die unterhalb der Kugel am rechten Ende des Skalenrohrs *E* befindliche Verschraubung *J*, wobei ein wenig wässrige Flüssigkeit aus- und

¹⁾ Der Umstand, dass der Vorrat an Rohr von der früher benutzten Weite ausgegangen war, hat leider auch zur Folge gehabt, dass an dem Herrn Dr. Uribey Troncoso in Mexiko gelieferten Apparat das Filtrationsrohr unrichtig kalibriert war. Ein hieraus hervorgegangenes Missverständnis meinerseits, das übrigens nebensächlicher Art war, habe ich inzwischen aufgeklärt (Ann. d'Ocul. T. CXXXV. Avril 1906). Die Firma R. Jung hatte im Vertrauen, dass ihr dasselbe Rohr geliefert worden sei wie zuvor, unterlassen, die Weite zu kontrollieren; sie ist aber bereits damit beschäftigt, den hieraus entstandenen Fehler in der oben angegebenen Weise wieder gut zu machen.

gewöhnlich von selbst eine kleine Luftblase dafür in die Kugel übertritt. Man schraubt wieder zu und aspiriert mittels der kleinen Spritze *G* die Luft in das Skalenrohr. Zu diesem Zweck muss der ganze Apparat auf der betreffenden Seite vorsichtig so weit gesenkt werden, dass die Luftblase in den Anfang des Rohrs sich einstellt, worauf man sie durch eine leichte Drehung der Spritzenschraube in dasselbe übertreten lässt. Bei diesem Manöver müssen zuvor beide Glashähne *e* und *f*, sowie die Hähne *d* und *b* geschlossen werden, um ein Hinausstürzen des Quecksilbers aus den offenen Manometerschenkeln zu vermeiden. Man lässt den schweren Apparat durch einen Gehilfen stark zur Seite neigen, während man im gegebenen Moment die Luftblase in das Rohr hinüberbringt. Ist die Menge der übergetretenen Luft zu gross, so kann man durch weiteres Ansaugen mit der Spritze den Überschuss in die zweite Kugel, am linken Ende des Skalenrohres, übertreten lassen, wobei man nur die notwendige Menge (1 bis 1,5 cm lang) im Rohr zurücklässt. Ihr Verbleiben im Apparat wird alsdann durch Zurückführen auf den Anfang des Rohres oder im Notfall in die erste Kugel gesichert, worauf man den Überschuss durch weiteres Ansaugen, bei geschlossenen Hähnen *d* und *b* und bei geeigneter Neigung des Apparates, in die Spritze aufsteigen lässt. Aus dieser kann er leicht durch eine an den neueren Apparaten im Stempel angebrachte Durchbohrung nach aussen befördert werden; man lüftet zu diesem Zweck die kleine seitliche Schraube und drückt bei geschlossenem Hahn *c* mit der Stempelschraube auf den Inhalt der Spritze, bis alle Luft ausgetreten ist.

Hat die Luftblase während der Dauer eines Versuchs das linke Ende des Skalenrohres erreicht, so muss man sie rechtzeitig mittels der Spritze *G* wieder auf den Anfang der Skala zurückführen, um die umständliche Prozedur der Einführung neuer Luft zu vermeiden. Auch nach längerem Arbeiten mit dem Apparat kann letzteres notwendig werden, weil die eingeführte Luft sich durch Absorption seitens der wässerigen Flüssigkeit vermindert und zuletzt ganz verschwindet.

Man darf aber die Luftblase aus der Kugel in das Rohr *E* erst übertreten lassen, nachdem man die Manometer bis zu einer geeigneten Höhe mit *Hg* gefüllt oder sich von dem Vorhandensein einer solchen Füllung überzeugt hat, wie unter § 4 angegeben wird. Man stellt alsdann die in das Rohr übergeführte Luftblase auf die Mitte der Skala ein und schliesst den Hahn *a*, damit sie ihre Lage vorläufig nicht mehr ändern kann.

§ 3. Wenn nötig, füllt man die kleine Spritze *G* durch Ansaugen der gut filtrierten Injektionsflüssigkeit (in der Regel 1% *NaCl*-Lösung) mittels des Rohres *H*. Man schliesst zu diesem Zweck die Hähne *a* und *b*, öffnet *c* und *d* und taucht das Ende des Rohres *H* in die Flüssigkeit ein. Vor dem Ansaugen bewegt man den Spritzenstempel zunächst in entgegengesetzter Richtung, um etwa in das Rohr eingedrungene Luft austreten zu lassen und zu vermeiden, dass sie in die Spritze angesaugt wird. Auch während der übrigen Vorbereitungen sorgt man dafür, dass in das Ende des Rohres *H* keine Luft eindringt, entweder durch Verschluss des Hahnes *d*, oder wenn derselbe offen sein soll, dadurch, dass man dieses Ende in ein mit der Injektionsflüssigkeit gefülltes Schälchen eingetaucht erhält.

§ 4. Man reguliert jetzt mittels der Pumpe *C* (Fig. 1) die Menge des Quecksilbers in beiden Manometern. Dieselbe wird am besten so bemessen, dass im Gleichgewichtszustande, d. h. bei Öffnung aller Hähne, das *Hg* in beiden Schenkeln des engen Manometers in der Mitte der Höhe zwischen beiden kugelförmigen Erweiterungen steht. Diese Regulierung muss vorgenommen werden, wenn die Luftblase noch nicht aus der Kugel in das Skalenrohr *E* übergeführt ist, weil im letzteren Falle die Menge des *Hg* im absteigenden Schenkel des weiten Manometers nicht mehr beliebig verändert werden kann, ohne dass die Luftblase wieder in eine der beiden Kugeln eingetrieben wird. Ist eine Luftblase im Skalenrohr vorhanden, so prüft man, ob sie in ihrer Lage verharrt, wenn man sie mittels der Spritze *G* auf die Mitte der Skala einstellt, und ob das *Hg* im engen Manometer dabei das gewünschte Niveau zeigt; anderenfalls lässt man sie zunächst wieder in eine der beiden Kugeln übertreten.

Wegen der Kapillardepression steht das Quecksilber im Gleichgewichtszustande, also bei Öffnung aller Hähne, in beiden Manometern nicht gleich hoch, sondern im engen Manometer um einige Millimeter tiefer als im

Fig. 2.

weiten; der Nullpunkt der Skala muss also später um so viel verschieden eingestellt werden. Bei der Bestimmung der Gleichgewichtslage kommt ausser den Quecksilbersäulen auch noch die Höhe der in den absteigenden Manometerschenkeln über dem *Hg* stehenden Wassersäulen in Betracht. Aus der Textfig. 2 ergibt sich, dass die Quecksilbersäulen in jedem der beiden Manometer unter sich gleich hoch stehen müssen, wenn das Ende *p'* des Verbindungsrohrs zum Auge *H*, bzw. die Öffnung der in das Auge einzuführenden Stiehkanüle, in die Höhe der beiden Quecksilbersäulen des engen Manometers gebracht wird. Alsdann sind nämlich die Wassersäulen *fh* und *kl* und *op* und *mn* unter sich im Gleichgewicht; *ik* zählt nicht, da es ebenso stark auf *op* wie auf *mn* drückt; es bleiben also noch die kleinen Wassersäulen *pp'* und *nn'*, welche unter sich ebenfalls im Gleichgewicht stehen. Der Versuch bestätigt diese Annahme. Steckt man auf das Ende des Metallrohrs *H* einen Kautschukschlauch, füllt ihn bis zum Ende und taucht ihn in ein Schälchen mit wässriger Flüssigkeit, so steigt

und sinkt bei Hebung und Senkung des Wasserniveaus das Quecksilber in einen Manometerschenkel in entgegengesetzter Richtung zu der in dem anderen. Stellt man das Wasserniveau so ein, dass beide Quecksilbersäulen gleich hoch stehen, so hat auch das erstere dieselbe Höhe.

Es ist uns zuweilen vorgekommen, dass beide Schenkel des engen Manometers trotz richtiger Höhe der Ausflussöffnung einen kleinen Höhenunterschied von 1 bis $1\frac{1}{2}$ mm zeigten, der sonst nicht vorhanden war. Die Ursache davon liess sich schwer ermitteln und beseitigen, so dass wir zuweilen den vorhandenen Stand als dem Gleichgewicht entsprechend annehmen mussten. Es scheint, dass das Zurückbleiben von etwas Luft an einer Stelle des Apparates, wo man sie nicht sieht, zu solchen Spannungsdifferenzen Anlass geben kann.

Wenn keine Luftblase im Skalenrohr nötig wäre, so brauchte man nur, bei Öffnung aller Hähne mit Ausnahme von *c*, mit der Pumpe *C* so viel *Hg* in beide Manometer einzutreiben, dass es im engen Manometer die angegebene Höhe einnimmt. Bei der nun folgenden Einstellung der Luftblase erfährt aber, wie gleich gezeigt werden soll, das *Hg*-Niveau eine kleine Änderung von ca. 1 mm nach der einen oder der andern Richtung hin, worauf man schon zuvor Rücksicht nehmen muss. Um derselben vorzubeugen, stellt man, wenn die Luftblase sich in der linksseitigen Kugel befindet, das *Hg*-Niveau im engen Manometer um 1 mm zu hoch, ist die Luftblase in der rechten Kugel, um 1 mm zu tief. Bei diesem Verfahren stellt sich später das *Hg*-Niveau gerade in die gewünschte Höhe, die Mitte zwischen den beiden Kugeln des absteigenden Manometerschenkels, ein. Man führt jetzt, wie oben angegeben, bei Abschluss von Hahn *d* und *b*, die Luftblase in das Rohr *E* ein und schiebt sie bis zu dessen Mitte vor, worauf man auch die Hähne *a* und *c* wieder schliesst.

§ 5. Einfluss des Standes der Luftblase auf den Manometerdruck. Herstellung des Gleichgewichtszustandes nach Einführung der Luftblase in das Skalenrohr.

Um uns den Einfluss des Standes der Luftblase auf den Druck im Manometer klar zu machen, nehmen wir zunächst an, dass sich im Skalenrohr an dessen linkem Ende eine kleine Luftblase befinde, und dass dabei das Niveau aller *Hg*- und Wassersäulen die dem Gleichgewichtszustande entsprechende Höhe *o* habe (vgl. Textfig. 3). Alsdann wird bei Öffnung der Hähne die Luftblase in Ruhe bleiben. Führen wir dieselbe nun bei Verschluss der Hähne *d* und *b* mittels der Spritze *G* nach rechts auf den Anfang der Skala hinüber, wo wir sie durch Verschluss des Hahnes *a* festhalten, so ist dies nur dadurch möglich, dass die im Rohr *E* befindliche Flüssigkeit in den kurzen Schenkel des weiten Manometers hinübergetrieben, dass also ein entsprechendes Sinken des *Hg* in diesem und Steigen im andern Schenkel bewirkt wird. Ist der Hahn *b* offen, so entsteht eine gleich grosse Veränderung des *Hg*-Standes auch an beiden Schenkeln des engen Manometers. In beiden Manometern herrscht also jetzt ein Überdruck, welcher bei Öffnung des Hahnes *a* die Luftblase wieder an ihren früheren Ort zurückführen würde. Der Stand des Quecksilbers entspricht jetzt in beiden Manometern den Linien *h**h* im absteigenden und den Linien *h'**h'* im aufsteigenden Schenkel. Eine solche Druckdifferenz tritt natürlich bei

die oben gegebene Anweisung, dieser Niveaüänderung durch eine vorausgeschickte Einstellung in gegenteiligem Sinne vorzubeugen. Der Betrag der letzteren lässt sich leicht angeben; da die Luftblase auf die Mitte der Skala, auf 200 mm eingestellt werden soll, so steigt das Hg dabei um $^{200}_{177} = 1,13$, oder rund um 1 mm. Wenn man also die obige Anweisung befolgt, so wird man finden, dass bei Öffnung aller Hähne die auf die Mitte der Skala eingestellte Luftblase in Ruhe bleibt, dass das Hg im engen Manometer ungefähr in der Mitte der Höhe zwischen beiden Kugeln steht und in beiden Schenkeln genau gleich hoch, wenn die Öffnung des Rohres H in dieselbe Höhe gebracht wird, und dass auch sein Stand in beiden Schenkeln des weiten Manometers gleich ist, aber um einige Millimeter höher als im engen Manometer.

Nun kann man den Nullpunkt der beweglichen Skalen an allen vier Schenkeln auf das vorhandene Hg -Niveau einstellen. Man tut auch gut, die Höhe des Nullpunktes des engen Manometers über der Tischfläche abzumessen, um danach später die Höhenlage der in das Auge eingeführten Öffnung der Stichkanüle einzurichten.

§ 6. Herstellung des zur Filtration nötigen Druckes und weitere Vorbereitungen.

Nach Bestimmung des Gleichgewichtsstandes stellt man bei Abschluss von Hahn c und d durch Einpressen von Hg mittels der Pumpe C in beiden Manometern den gewünschten Druck her, dessen Höhe man am bequemsten am engen Manometer abliest. Die Verbindung beider Manometer bleibt also dabei offen. Während des eigentlichen Versuches richtet es sich nach dem Zweck desselben, ob und wann man sie offen lässt oder zu verschliessen hat. Vor Beginn des Versuchs führt man die Luftblase von der Mitte auf den Anfang der Skala zurück. Wie schon bemerkt, wird dadurch der beabsichtigte Druck um etwa 2 mm erhöht, während er bis zum Ende der Skala um ebenso viel unter die richtige Höhe sinkt, die nur in der Mitte der Bahn genau erreicht wird. Diese Druckschwankungen werden aber vollkommen vermieden, wenn dem Manometer noch der oben erwähnte Trichterapparat hinzugefügt wird, da das Niveau der Flüssigkeit in dem weiten Trichter, auch wenn der ganze Inhalt des Skalenrohrs hinzukommt, sich nicht merklich ändert. Man steckt jetzt auf das Metallrohr den dünnen, festen Kautschuk auf, an dessen Ende die Stichkanüle befestigt ist, und füllt dieselbe bei Abschluss vom Manometer mit der Spritze G bis zum Ende mit der Injektionsflüssigkeit. Nach Einführung der Stichkanüle in das Auge wartet man kurze Zeit, ehe man durch Öffnung des Hahnes d die Verbindung mit dem Auge herstellt.

§ 7. Erhaltung konstanter Druckhöhe und Zurückführung der Luftblase.

Ehe wir die zuletzt erwähnte Trichtervorrichtung eingeführt hatten, haben wir bei kürzer dauernden Versuchen, bei welchen es auf möglichste Konstanz des Druckes ankam, denselben mit der Hg -Pumpe genau auf derselben Höhe gehalten, indem wir bei der geringsten Neigung zum Abfall immer wieder etwas Hg in die Manometer hinüberpressten, wobei der Versuch nicht unterbrochen zu werden brauchte. Da das Hg , während es

im aufsteigenden Schenkel sinkt, im absteigenden um ebenso viel in die Höhe geht, also nicht auf Null stehen bleibt, so muss bei diesem Verfahren sein Stand auf beiden Seiten abgelesen werden, wenn man nicht vorzieht, die betreffende Skala immer wieder auf den derzeitigen Stand des Hg einzustellen. Streng genommen müsste auch die Änderung der Höhe der über dem Hg stehenden Wassersäule in Rechnung gebracht werden; in der Regel handelt es sich aber dabei um so geringe Werte, dass man sie ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Für Filtrationsversuche, die sich über längere Zeit zu erstrecken pflegen, haben wir es aber zweckmässiger gefunden, die Regulierung des Druckes nur durch die jedesmalige Zurückführung der Luftblase zu bewirken, wenn diese das Ende ihrer Bahn erreicht hat und der Versuch fortgesetzt werden soll. Wie oben gezeigt wurde, wird der um einen kleinen Betrag gesunkene Druck wieder genau auf die frühere Höhe gebracht, wenn wir die an das Ende ihrer Bahn gelangte Luftblase vermittle der Spritze G wieder auf ihren Anfangsstand zurückführen. Wenn sich dies im Verlauf eines längeren Versuches mehrmals wiederholt, so hat man Perioden, in denen der Druck regelmässig um eine geringe Höhe ab- und wieder zunimmt, aber seine mittlere Höhe behält. Wollte man bei länger dauernden Versuchen den Druck durch die Hg -Pumpe konstant erhalten, so müsste man nicht nur seinen Abfall während des Einlaufs, sondern auch sein Steigen bei Zurückführung der Luftblase korrigieren, was umständlich ist und die regelmässige Beobachtung des Einlaufs stört. Durch die Kombination mit dem Trichterapparat wurden, wie schon bemerkt, diese kleinen Druckschwankungen neuerdings ganz vermieden. Während der Zurückführung der Luftblase, wozu nur ganz kurze Zeit, kaum $\frac{1}{2}$ Minute erforderlich ist, wird in der Regel der Einlauf in das Auge durch Schluss des Hahnes d unterbrochen, aber dann sofort wieder freigegeben. Der Hahn b kann dabei offen bleiben, denn wenn auch durch das Einpressen von Flüssigkeit der Druck im engen Manometer momentan etwas zu hoch steigt, so reguliert sich dies doch sogleich wieder von selbst. Bei diesem Verfahren ist man sicher, dass die Gesamtmenge der in das Auge eingetriebenen Flüssigkeit richtig gemessen wird. Bei manchen Versuchen erschien es uns aber von Wichtigkeit, den regelmässigen Gang des Einlaufs in das Auge nicht zu unterbrechen, weil, wie wir gefunden haben, die Menge der in der Zeiteinheit in das Auge eintretenden Flüssigkeit durch eine vorhergegangene Entspannung desselben vermehrt wird. Wir haben daher in solchen Fällen die Luftblase bei offen gelassenem Hahn d zurückgeführt, wobei natürlich die kleine Flüssigkeitsmenge, welche während der Zurückführung der Luftblase in das Auge eingepresst wird, sich der Messung entzog.

Mitunter war es für uns wünschenswert, die Lage des Nullpunktes während der Dauer des Versuches zu kontrollieren, ohne die Nadel aus dem Auge herauszunehmen. Zu diesem Zweck wurde zwischen Auge und Verbindungsrohr zum Manometer H mittels kurzer Kautschukröhren ein T-Rohr eingeschaltet; der seitlich abgehende und der nach dem Apparat gerichtete Schenkel desselben waren durch eine Klemme zu verschliessen und zu öffnen. Wurde nach dem Auge zu geschlossen und nach der Seite geöffnet, so stellte sich das Hg im Manometer auf Null, da jetzt beide

Schenkel desselben mit der Atmosphäre kommunizierten. Dieselbe Vorrichtung wurde auch benutzt, wenn wir während des Versuches vorübergehend den Druck im Auge auf Null herabsetzen wollten.

III.

Über das Verhältniss zwischen der Druckhöhe im Auge und im Manometer während einer Injektion bei konstantem Manometerdruck.

Die Frage, mit welcher Genauigkeit unser Manometer, während Flüssigkeit in das Auge eingetrieben wird, den in demselben herrschenden Druck angibt, bedarf einer besonderen Untersuchung. Die Verhältnisse sind nämlich in diesem Falle nicht die gleichen, wie bei einer Druckmessung ohne gleichzeitige Flüssigkeitsinjektion, bei welcher selbstverständlich Augen- und Manometerinhalt nach sehr kurzer Zeit im Gleichgewicht stehen und wo daher nicht daran zu zweifeln ist, dass das Manometer den wirklich im Auge herrschenden Druck angibt. Dies ist aber nicht mehr genau der Fall, wenn ein Einfließen von Flüssigkeit in das Auge stattfindet; der Druck im Auge muss dann etwas niedriger sein, als im Manometer, wie sich schon daraus ergibt, dass eine Flüssigkeit nur bei Vorhandensein eines Druckunterschiedes sich von einem Orte zu einem anderen hin bewegt. Wir können aber zeigen, dass der bei unseren Versuchen vorkommende Verlust an Druckhöhe so gering ist, dass er ohne Bedenken vernachlässigt werden kann, und dass wir ohne merklichen Fehler auch hier den Druck im Auge dem im Manometer gleichsetzen können.

Man hatte bisher diesen Druckverlust nicht weiter beachtet; doch ist es für unsere Zwecke, wo es sich um möglichst genaue Messungen handelt, nicht überflüssig, die Grösse des hier möglicherweise vorkommenden Fehlers kennen zu lernen. Wir waren zu der vorliegenden Prüfung um so mehr veranlasst, als Uribe y Troncoso auf Grund von Versuchen mit dem Filtrationsmanometer behauptet hatte¹⁾, dass es mit demselben überhaupt nicht möglich sei, den Druck im Auge auf die Höhe des Druckes in dem weiten Manometer zu bringen, dass er stets viel niedriger sei, als im letzteren, während des Versuches zwar allmählich ansteige, aber niemals die Höhe des Manometerdruckes erreiche.

Dem gegenüber hat der Eine von uns schon an anderer Stelle

¹⁾ Loc. cit. Ann. d'Ocul. Tom. CXXXIII. p. 12—14.

kurz über das Ergebnis von ihm angestellter Versuche berichtet¹⁾, aus welchen hervorgeht, dass der Druckverlust nur äusserst gering ist. Es wurde dort gezeigt, dass das gegenteilige Resultat von Uribe y Troncoso nur von Versuchsfehlern herrühren kann; wir werden uns deshalb hier im wesentlichen auf die Mitteilung der Beobachtungen beschränken und verweisen bezüglich der erwähnten Kontrolle auf die unten citierte Arbeit.

Wenn Flüssigkeit unter konstantem Druck durch ein horizontales Rohr fliesst, so ist bekanntlich der von der bewegten Flüssigkeit auf die Röhrenwand ausgeübte Druck stets um ein gewisses Mass kleiner, als der in dem Reservoir, in welchem die Flüssigkeit als in Ruhe befindlich betrachtet werden kann. Ein Teil des Druckes wird zur Erzeugung der Geschwindigkeit verwendet, mit welcher die Flüssigkeit das Rohr durchfliesst; als Mass desselben dient die sog. Geschwindigkeitshöhe, welche durch die Formel

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

ausgedrückt wird. Bei den geringen Geschwindigkeiten, die bei diesen Versuchen vorkamen (kaum jemals über 30 mm in der Minute, meist viel weniger), ist die dadurch bedingte Druckerniedrigung so minimal, dass sie ganz ausser Betracht bleiben kann; für $v = 30$ mm berechnet sie sich z. B. zu 0,046 mm Wasser = 0,003 mm Hg. Ein anderer Teil des Druckes wird aufgebraucht zur Überwindung der Reibung der Flüssigkeit und der Widerstände bei dem Übergang derselben aus dem Reservoir in das enge Rohr und überhaupt aus Abschnitten der Röhrenleitung von weiterem zu solchen von engerem Querschnitt, also beispielshalber auch beim Durchtritt durch die Stichkanüle. Dieser Teil ist jedenfalls beträchtlicher, lässt sich aber, da die betreffenden Koëffizienten nicht bekannt sind, nur empirisch ermitteln.

Man kann den gesamten Druckverlust, welchen die Flüssigkeit während ihres Durchtrittes durch den Manometerapparat erfährt, ganz unabhängig vom Auge bestimmen, indem man sie durch ein kurzes Glasrohr ausfliessen lässt, welches am Ende haarfein ausgezogen ist. Dasselbe stellt gewissermassen den Hohlraum des Auges dar, während das fein ausgezogene Ende die Filtrationswege vertritt. Durch Aus-

¹⁾ Th. Leber, Nouvelles recherches sur la pression et la filtration de l'oeil à propos des questions soulevées par M. Uribe y Troncoso. Ann. d'Ocul. Tom. CXXXV. Avril 1906.

probieren der Feinheit und Länge dieses Glasrohrfadens kann man es leicht so einrichten, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit aus dem Ende desselben abtropft, der bei den Filtrationsversuchen am Auge entspricht. Zur Messung des in diesem Glasrohr während des Ausflusses herrschenden Druckes wurde das enge Manometer des Apparates benutzt, während das weite Manometer den zur Flüssigkeitsbewegung nötigen Druck bewirkte, welcher in der oben angegebenen Weise durch einen weiten, mit wässriger Flüssigkeit gefüllten Trichter vollkommen konstant erhalten war. Beide Manometer waren natürlich während des Versuches durch die Glashähne *e* und *f* (Fig. 1) völlig von einander abgeschlossen, nachdem man vorher den Druck in denselben gleich hoch gemacht und sich davon überzeugt hatte, dass die Luftblase des Messrohrs *E* in Ruhe blieb, wenn beide Manometer gleichzeitig mit demselben in Verbindung gebracht wurden.

Im Beginn des Versuches blieb der zum engen Manometer führende Hahn *b* noch geschlossen. Der Hahn *a* zum weiten Manometer wurde geöffnet und die Geschwindigkeit des Ausflusses einige Zeit hindurch beobachtet. Öffnete man alsdann den Hahn zum engen Manometer, so blieb die *Hg*-Säule desselben in der Regel ganz ruhig stehen. Unter fünf Versuchen, in welchen die Ausflussgeschwindigkeit zwischen 10 und 31 mm in der Minute schwankte, war viermal gar keine Druckerniedrigung erkennbar; einmal, bei einer mittleren Geschwindigkeit von 30 mm in der Minute, erfolgte ein sehr geringes, kaum merkliches Sinken von ungefähr $\frac{1}{4}$ mm.

Fig. 4.

Eine messbare Druckerniedrigung wurde selbst in einem weiteren Versuche vermisst, in welchem die Flüssigkeit vor dem Eintritt in das Glasrohr auch noch die zur Injektion in die vordere Kammer bestimmte Durchstichskanüle zu passieren hatte. Die Anordnung des Versuches ist aus obenstehender Fig. 4 ersichtlich. Um den Druck der Flüssigkeit unmittelbar vor deren Eintritt in das Ausflussrohr zu messen, wurde an das letztere ein T-Rohr angefügt. Der eine Arm desselben stand mit einem besonderen, mit Skala versehenen Filtra-

tionsrohr von gleicher Weite wie das des Filtrationsmanometers und durch dieses mit der auf S. 15 beschriebenen Trichtervorrichtung in Verbindung; der andere Arm führte zu dem Metallrohr *H* (Fig. 1) und dem engen Manometer. Das letztere war natürlich von der Trichtervorrichtung und dem weiten Manometer vollkommen abgeschlossen. Die Ausflussgeschwindigkeit war 12 bis 13 mm in der Minute.

Nur bei Geschwindigkeiten, die etwa das zehnfache von denjenigen betrug, die gewöhnlich bei Filtrationsversuchen am Auge vorkommen, wurde ein merklicherer Druckverlust, von etwas über 1 mm *Hg*, konstatiert. Derselbe wurde bei diesen Versuchen durch zwei mit der benutzten *NaCl*-Lösung gefüllte Steigrohre gemessen, von welchen das eine vor dem Eintritt der Flüssigkeit in das Skalenrohr, das andere nach dem Austritt aus demselben, unmittelbar vor dem Eintritt in die oben beschriebene Ausflussvorrichtung, dem ersteren senkrecht aufgesetzt war (vgl. die schematische Fig. 5). Das Skalenrohr hatte, wie soeben bemerkt, genau die Weite wie bei dem Filtra-

Fig. 5.

tionsmanometer; der Druck wurde wieder durch einen mit Salzlösung gefüllten Trichter konstant erhalten. Um den Stand der Flüssigkeit in beiden Steigrohren besser vergleichen zu können, war das entferntere zuerst horizontal nach rückwärts geführt, um dann dicht neben dem andern in die Höhe zu steigen. Beide Steigrohre waren vor Beginn des Ausflusses bis zur Höhe des Wasserniveaus im Trichter gefüllt; während des Ausflusses sank dann das Niveau in dem entfernteren allmählich bis zu einer gewissen Höhe ab. Die Abnahme betrug bei einem anfänglichen Stande von 340 mm (= 25 mm *Hg*) 18 mm Wasser (= 1,3 mm *Hg*) bei einer Geschwindigkeit von 166,

bzw. 200 mm in der Minute. Trotz der grossen Geschwindigkeit war also der Druckverlust recht gering.

Da bei Verwendung wässriger Flüssigkeit die Unterschiede der Druckhöhen sehr viel grösser werden, hatten wir gehofft, in der Messung an Steigrohren eine empfindlichere Methode als die des *Hg*-Manometers für kleine Druckdifferenzen zu erlangen; dieselbe hat aber unseren Erwartungen nicht in dem gehofften Masse entsprochen. Bei den gewöhnlich vorkommenden geringen Geschwindigkeiten müssen ziemlich enge Steigrohre benutzt werden, um den Einlauf nicht zu sehr zu stören, und dabei hat die Kapillarattraktion einen zu grossen Einfluss. Vergleichende Versuche haben uns gezeigt, dass geringfügige, nicht zu beherrschende Umstände, welche die Oberflächenspannung der Flüssigkeit ändern, nicht unerhebliche Unterschiede des Niveaus bewirken können, während das *Hg*-Manometer ganz denselben Druck anzeigt. Wir haben daher bei den folgenden Versuchen vorzugsweise das *Hg*-Manometer verwendet; dagegen war das Steigrohr von Nutzen bei der Messung von Druckunterschieden zwischen vorderer Kammer und Glaskörper, wo es darauf ankam, die Druckhöhen rasch hinter einander zu vergleichen (siehe den folgenden Abschnitt).

Das Ergebnis war, wie zu erwarten stand, kein anderes, als mit dem engen *Hg*-Manometer, in derselben Weise wie oben angegeben, auch der Druck in der vorderen Kammer geprüft wurde. Bei Benutzung völlig frischer Schweinsaugen war in der Regel schon zwei Minuten nach Beginn des Einlaufs in die vordere Kammer kein merklicher Unterschied des Standes an beiden Manometern zu konstatieren (noch früher haben wir die Prüfung nicht vorgenommen), und dieses Verhalten blieb auch während der weiteren Dauer des Versuches ungeändert. Unter 16 Versuchen, die ohne merklichen Fehler verlaufen waren, blieb 12mal bei Öffnung des Hahnes der Druck in der Vorderkammer dem im weiten Manometer gleich, einmal nahm er um 1 mm, einmal um $\frac{1}{2}$ mm, und zweimal um $\frac{1}{4}$ mm ab. Die Druckmessung wurde gewöhnlich 2 bis 8 Minuten nach Beginn des Einlaufs vorgenommen; unter fünf Fällen, wo sie schon nach zwei Minuten stattfand, war viermal der Druck gleich, einmal um $\frac{1}{4}$ mm niedriger. In vier Versuchen, wo mit dem engen Manometer Gleichheit des Druckes konstatiert worden war, wurde derselbe nachher auch noch mit einem mit wässriger Flüssigkeit gefüllten Steigrohr gemessen, ohne dass dabei ein anderes Resultat erzielt wurde. Es ist möglich, dass in dem einen Versuche, wo der Druckunterschied 1 mm betrug, dies auf einem Fehler beruhte, der sich unserer Beob-

achtung entzog; abgesehen davon stimmt aber, wie man sieht, das Ergebnis vollkommen mit dem an dem Augenschema erhaltenen überein.

Auch bei einigen Versuchen mit Injektion in den Glaskörperraum wurde kurze Zeit nach dem Beginn des Einlaufs der im Glaskörper gemessene intraokulare Druck dem im Druckmanometer gleich gefunden.

Es muss jedoch bemerkt werden, dass wir bei der benutzten Versuchsanordnung streng genommen nicht den Druck messen, der im Inneren des Auges herrscht, sondern den Druck an derjenigen Stelle der Röhrenleitung (*a* in untenstehender Fig. 6), wo das zum engen Manometer gehende Rohr sich von derselben abzweigt, wo also die Flüssigkeit das enge Skalenrohr passiert hat, aber noch nicht bis zum Auge gelangt ist. Wenn aber die Druckherabsetzung auf dem langen Wege vom weiten Manometer bis zu dieser Stelle keinen

messbaren Wert erreicht, so wird sich dies wohl nicht anders verhalten, wenn noch die kürzere Strecke bis in das Innere des Auges hinzukommt. Die Einführung zweier Kanülen in die vordere Kammer, die eine zur Druckübertragung, die andere zur Druckmessung, schien uns kaum in einwandfreier Weise ausführbar. Wir haben statt dessen den oben berichteten Versuch mit dem Augenschema ausgeführt, bei welchem ganz dem Auge entsprechende Verhältnisse hergestellt waren

Fig. 6.

und wo die Flüssigkeit, ehe sie an die Stelle der Druckmessung gelangte, das ganze Röhrensystem einschliesslich der Stichkanüle zu durchlaufen hatte, ein Versuch, der uns vollkommen beweisend scheint.

Es hat sich also ergeben, dass der Druck in der vorderen Kammer oder im Glaskörper gleich nach Beginn des Einlaufs in den betreffenden Raum des Auges von dem im Filtrationsmanometer herrschenden nur äusserst wenig verschieden ist, und dass die Differenz bei Verwendung frischer Augen in der Regel nur Werte ausmacht, die sich mit dem Hg-Manometer gar nicht mehr, oder wenigstens nicht mehr genau, messen lassen. Diese annähernde Gleich-

heit des Druckes besteht während der ganzen Dauer des Versuches fort.

Wir haben ferner, worüber wir im folgenden Abschnitt berichten werden, mittels besonderer Vorrichtungen auch den Druck gemessen, welcher im Glaskörper herrschte, während in die vordere Kammer injiziert wurde. Bei Benutzung frischer Augen wurde dabei der Druck in beiden Räumen in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle und oft schon nach zwei Minuten gleich gefunden; in andern Fällen kamen kleine Unterschiede vor, in der Regel von nicht mehr als $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ mm Hg. Da hier der Glaskörper seinen Druck nur von der vorderen Kammer aus übertragen bekam, so geht daraus noch um so mehr hervor, dass der Druck in der letzteren nicht niedriger gewesen sein kann, als die oben berichteten Messungen ergeben haben.

IV.

Über die Höhe des Druckes im Glaskörperraum bei Injektion in die vordere Kammer und umgekehrt.

Die Frage, ob der Druck in der vorderen Kammer und im Glaskörper des lebenden Auges gleich oder verschieden sei, ist durch sorgfältige Versuche verschiedener Beobachter, insbesondere von W. Koster und von C. Hamburger, im ersteren Sinne entschieden¹⁾. Es wurde dabei auch gezeigt, dass eine in dem einen Raum durch Injektion von Flüssigkeit erzeugte Drucksteigerung sich sofort auf den anderen Raum in gleicher Höhe überträgt; es ist hieraus zu schliessen, dass das beide Räume trennende Diaphragma zu dehnbar oder zu durchlässig ist, als dass es einen erheblichen Teil des einseitig gesteigerten Druckes zu tragen vermöchte.

Uribe y Troncoso scheint diese Arbeiten nicht gekannt zu haben, indem er (loc. cit.) die Ansicht vertreten hat, dass der Druck in beiden Räumen erheblich verschieden sein könne, und dass bei alleiniger Injektion in die vordere Kammer der Glaskörperraum nur sehr unvollständig gefüllt werde und in Folge dessen der Druck in demselben weit hinter dem in der vorderen Kammer zurückbleibe. Wird die Injektion in die vordere Kammer bei konstantem Manometerdruck längere Zeit hindurch fortgesetzt, so soll der Füllungszustand und der Druck des Glaskörpers allmählich zunehmen. Hierauf führt er, wenn wir ihn richtig verstehen, die von ihm gemachte Beobachtung zurück, dass nicht nur im Anfang, sondern längere Zeit

¹⁾ Vgl. Th. Leber, Die Cirkul.- u. Ernährungsverh. d. Auges. 2. Aufl. S. 322 ff.

hindurch ein Teil der in das Auge einlaufenden Flüssigkeit darin zurückbleibt, so dass die Menge der in der Zeiteinheit durch Filtration aus dem Auge austretenden Flüssigkeit kleiner ist als die der eintretenden.

Wie wir im X. Abschnitt zeigen werden, kommt ein solches Zurückbleiben eines Teiles der injizierten Flüssigkeit wirklich vor; die Ursache kann aber nach unseren Beobachtungen nicht in zu geringer Höhe des Glaskörperdruckes gesucht werden. Für das lebende Auge scheint uns die Gleichheit des Druckes in beiden Räumen keinem Zweifel zu unterliegen; bei den im hiesigen Laboratorium ausgeführten Versuchen von W. Koster war der Eine von uns zugegen und hat sich von deren Richtigkeit überzeugt. Wir mussten uns aber sagen, dass diese Resultate nicht ohne weiteres auf das ausgeschnittene Auge übertragen werden dürfen, bei welchem der Blut- und Gewebsdruck und der Tonus der Augenmuskeln mangelt. Es schien uns von vornherein nicht ausgeschlossen, dass bei diesem letzteren geringe Druckdifferenzen zwischen beiden Räumen auftreten können, wenn die Injektion nur in einen der beiden erfolgt. Es war daher notwendig, diese Frage durch neue Versuche zur Entscheidung zu bringen, und dies um so mehr, weil damit auch die im folgenden Abschnitte zu erörternde Frage zusammenhängt, ob es zur korrekten Bestimmung der Filtration genügt, nur in die vordere Kammer zu injizieren, oder ob es notwendig ist, die Flüssigkeit gleichzeitig in beide Räume des Auges eintreten zu lassen.

Bei diesen Versuchen kamen die folgenden beiden Vorrichtungen zur Verwendung:

Bei der ersten wurde der Druck durch ein 1,22 mm weites Steigrohr gemessen, welches durch abwechselndes Öffnen oder Schliessen von Glashähnen entweder mit der vorderen Kammer oder mit dem Glaskörperraum in Verbindung gesetzt werden konnte. Das Metallrohr *H* des Filtrationsmanometers war zu diesem Zweck mit einem gabelförmig geteilten Glasrohr verbunden, dessen einer Arm zur Vorderkammer-, der andere zur Glaskörperkanüle führte (vgl. Textfig. 7). Beide waren durch Glashähne abzuschliessen. Auch das vertikal gestellte Steigrohr war, und zwar am unteren Ende, gabelförmig geteilt, der eine Arm der Gabel war mit dem zur vorderen Kammer führenden Rohr verbunden, der andere mit dem zum Glaskörper führenden; auch diese Arme waren durch Glashähne verschliessbar. Man konnte demnach die vom Manometer kommende Flüssigkeit nach Belieben entweder in die vordere Kammer oder in den Glaskörper oder in beide Räume zugleich einleiten, und ebenfalls nach Belieben, während die Flüssigkeit in einen der beiden Räume einfluss, mittels des Steigrohrs den Druck in diesem oder dem anderen Raume bestimmen. Wurde

z. B. während einer Injektion in die vordere Kammer das Steigrohr mit dem Glaskörperraum in Verbindung gebracht, aber dabei der Zufluss aus dem Manometer vom Glaskörper abgehalten, so war der tatsächlich im letzteren herrschende Druck richtig zu messen. Das Steigrohr wurde vor Beginn des Versuchs mit dem auf 25 mm *Hg*-Druck eingestellten Filtrationsmanometer in Verbindung gebracht und dadurch die diesem Druck entsprechende Höhe der Wassersäule empirisch bestimmt (dieselbe war um den etwas wechselnden Wert der Kapillarattraktion höher als die aus dem spezifischen Gewicht berechnete Höhe von 340 mm). Auf dieser Höhe wurde die Flüssigkeit durch Verschluss eines Glashahnes gehalten und der Hahn

Fig. 7.

erst jedesmal zum Zweck der Messung kurze Zeit geöffnet. So liess sich der Druck in jedem der beiden Räume rasch hinter einander ablesen und mit dem des Druckmanometers vergleichen, wobei auch kleine Unterschiede zur Beobachtung kommen mussten. Bei dieser Einrichtung konnte, wie man sieht, der Druck in demjenigen Raum des Auges, in welchen direkt injiziert wurde, auch noch mit dem engen Manometer des Apparates bestimmt werden, welches deshalb dauernd vom weiten Manometer abgeschlossen blieb (genauer bezeichnet, der Druck in der nach diesem Raum des Auges hinführenden Leitung). Die betreffenden Werte wurden daher zum Vergleich ebenfalls abgelesen. (Dagegen war natürlich eine Messung des Druckes in dem anderen Raum vermittle des engen Manometers bei dieser Versuchsanordnung ausgeschlossen.)

Bei der zweiten Methode diente zur Messung ausschliesslich das enge Manometer, welches durch das soeben beschriebene horizontale Gabelrohr mit jedem der beiden Räume verbunden werden konnte. Da hier eine vom engen Manometer getrennte Flüssigkeitszufuhr zum Auge nötig war, konnte das Skalenrohr des Manometerapparates keine Verwendung finden;

es wurde durch ein anderes von gleicher Weite ersetzt, welches, am vorderen Ende geteilt, bald mit der Glaskörperkanüle, bald mit der Vorderkammerkanüle zu verbinden war. Die untenstehende schematische Fig. 8 zeigt, in welcher Weise beliebig bei Injektion in einen der beiden Räume der Druck in diesem oder in dem anderen Raum, ohne Störung des Zuflusses, vermittle des engen Manometers gemessen werden konnte. Eine weiter angebrachte Verbindung zwischen dem einen Arm des Filtrationsrohres und dem Gabelrohr diente dazu, die im ersteren enthaltene Luftblase, wenn sie an das Ende ihrer Bahn gelangt war, vermittle der kleinen Schraubenspritze wieder auf den Anfang der Skala zurückzuführen.

Zur Injektion in den Glaskörperraum diente eine weite Stiehkantüle, welche durch den Sehnerveneintritt eingestochen und darin festgebunden wurde. Nach Beendigung des Versuches wurde jedesmal geprüft, ob die Öffnung der Kantüle frei im Glaskörper lag und vollkommen durchgängig geblieben war.

Fig. 8.

Das Ergebnis dieser Versuche war, wie schon oben kurz angegeben wurde, dass bei Benutzung völlig frischer Augen der Druck im Glaskörper bei Injektion in die vordere Kammer in der Mehrzahl der Fälle schon nach wenigen Minuten dem in der letzteren gleich war, in einigen Fällen aber etwas niedriger, in der Regel nur um $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ mm; nur einmal haben wir eine Differenz von 2 mm beobachtet; dasselbe Verhalten zeigte umgekehrt der Druck in der Vorderkammer bei Injektion in den Glaskörperraum. Später glichen sich diese Unterschiede allmählich aus, um so rascher, je kürzere Zeit nach dem Tode das Auge zum Versuch benutzt wurde; kleine Unterschiede von ungefähr $\frac{1}{2}$ mm wurden zuweilen noch nach $\frac{1}{2}$ Stunde und länger beobachtet.

Die Herrichtung dieser Versuche ist ziemlich mühsam und zeitraubend und bei der grossen Zahl der Kautschukverbindungen und Hähne ist die Möglichkeit von Störungen des Zuflusses durch Eindringen kleiner Luftblasen und von geringen Flüssigkeitsverlusten trotz aller Sorgfalt schwer vollkommen zu vermeiden. Solche Störungen, meist nur geringen Grades, kamen in der Tat in einigen Versuchen vor; sie können Herabsetzungen des Druckes zur Folge haben, weshalb wir diese Versuche natürlich nicht verwertet haben; doch wurden

auch bei diesen niemals irgend erheblichere Druckdifferenzen beobachtet. Die Mehrzahl der gelungenen Versuche wurde nach der zweiten Methode angestellt, wir geben davon folgende Übersicht:

I. Einlauf in die vordere Kammer:

Versuch	Datum	Filtrations- druck im weiten Manometer in mm Hg	Mittlerer Einlauf in cmm in der Minute	nach Min.	Druck in der vorderen Kammer in mm Hg	nach Min.	Druck im Glas- körper in mm Hg	Differenz
<i>a</i>	27. XII. 1905.	25	8	8	24	10	24	0
<i>b</i>	27. XII. 1905.	25	15	4	25	5	25	0
<i>c</i>	28. XII. 1905.	25	10	20 32	24,75 24,25	26 38	23,75 24,25	1 0
<i>e</i> ₁	29. XII. 1905.	25	8,3	5 14	25 25	10 21	25 25	0 0
<i>f</i> ₁	17. I. 1906.	25	9	2	25	6	25	0
<i>g</i> ₁	18. I. 1906.	25	12	2 4	25 25	2 4	25 25	0 0
<i>g</i> ₃	18. I. 1906.	25	8,8	2 14 21	25 25 25	2 14 21	23 24,5 24,5	2 0,5 0,5
<i>g</i> ₄	18. I. 1906.	25	11,7	2 7	25 25	2 7	24,5 24,5	0,5 0,5

II. Einlauf in den Glaskörper:

<i>d</i>	29. XII. 1905.	25	7,0	5	25	10	25	0
<i>e</i> ₂	29. XII. 1905.	25	7,6	2	25	5	25	0

Von den nach der ersten Methode angestellten Versuchen waren nur zwei in jeder Hinsicht einwandfrei. Bei dem einen war keine merkliche Druckdifferenz zwischen beiden Räumen zu konstatieren, sondern bei Wechsel der Verbindung nur ein geringes Hin- und Herschwanken des Druckes um wenige Millimeter Wasser, bei dem zweiten dagegen eine Druckdifferenz entsprechend ca. 1,3 mm Hg. Wir führen denselben hier an, weil daraus noch deutlicher als bei Messung mit dem Hg-Manometer hervorgeht, dass auch bei Verwendung ganz frischer Augen kleine Druckdifferenzen sich einige Zeit hindurch erhalten können.

Versuch vom 20. XII. 1905, am frischen Schweinsauge.

Druck am weiten Manometer 25 mm Hg. Stand der Wassersäule am

Steigrohr bei Verbindung mit dem Druckmanometer vor Beginn des Versuchs 352 mm (also 12 mm Kapillarattraktion).

I. Einlauf in die vordere Kammer:

Zeit	Einlauf in cmm	Steigrohr verbunden	
		mit der vorderen Kammer	mit dem Glaskörper
5 Uhr 13			
— 14	159,5		
— 15	14		
— 16	9		
— 17	$9\frac{3}{4}$		
— 18	$8\frac{3}{4}$		
— 19	8	mit d. vord. Kammer verb.	
— 20	$6\frac{1}{2}$	fällt auf 350	
— 21	$9\frac{1}{2}$	Stand 350	
— 22	$9\frac{1}{2}$	” ”	
— 23	$6\frac{1}{2}$	” ”	
— 24	$8\frac{1}{2}$	” ”	
— 25	$7\frac{1}{2}$	” ”	
— 26	$-4\frac{1}{2}!$		mit d. Glaskörper verb.
— 27	+ 5	— —	fällt auf 338
— 28	$4\frac{1}{2}$	— —	” ” 336
— 29	$4\frac{1}{2}$	— —	” ” 335
— 30	$7\frac{1}{2}$	— —	” ” 334
— 31	8	— —	Stand 334
— 32	8	— —	” ”
— 33	8	— —	” ”
— 34	8	— —	” ”
— 35	8	mit d. vord. Kammer verb.	” ”
— 36	32!	steigt auf 346	
— 37	7	Stand 346	
— 38	$8\frac{1}{2}$	” ”	
— 39	$7\frac{1}{2}$	” ”	
— 40	11	” 350	
— 41	$7\frac{1}{2}$	” 349	
— 42	8	” 349	
— 43	$7\frac{1}{2}$	” ”	
— 44	} 13 $\frac{1}{2}$	” ”	
— 45		” 348	
— 46		” ”	
— 47	$7\frac{1}{2}$	” ”	
— 48	9	” ”	
— 49	7	” ”	
— 50	4	” 345	
— 51	$5\frac{1}{2}$	” ”	
— 52	$7\frac{1}{2}$	” ”	mit d. Glaskörper verb.
— 53	$2\frac{3}{4}$		fällt auf 340
— 54	$4\frac{3}{4}$		” ” 339
— 55	$4\frac{1}{2}$		” ” 337
— 56	$9\frac{1}{2}$		” ” 335
— 57	$9\frac{1}{2}$		Stand 335
— 58	$7\frac{1}{2}$		” ”
— 59	beendigt. Pause.		” ”

II. Einlauf in den Glaskörperraum:

Zeit	Einlauf in cmm	Steigrohr verbunden	
		mit der vorderen Kammer	mit dem Glaskörper
6 Uhr 04			Anfangsstand
— 05	9		333
— 06	8	— —	mit d. Glaskörper verb.
— 07	8	— —	steigt auf 348
— 08	7	— —	Stand 348
— 09	7	— —	„ „
— 10	7	— —	„ „
— 11	8	— —	„ „
— 12	4	— —	„ 349
— 13	13	— —	„ 350
— 14	4 ¹ / ₂	— —	„ 349
— 15	8	— —	„ „
— 16)	10	— —	„ „
— 17)			
— 18	7	mit d. vord. Kammer verb.	
— 19	5	fällt auf 347	
— 20	5	„ „ 346	
— 21	7	Stand „ 346	
— 22	4	„ „	
— 23	4 ¹ / ₂	„ „	
— 24	3	fällt auf 345	
— 25	4	„ „ 344	
— 26	5	„ „ 343	
— 27	3 ¹ / ₂	„ „ 342	
— 28	4 ¹ / ₂	„ „ 341	
— 29	4	„ „ 340	
— 30	3 ¹ / ₂	Stand „ 340	
— 31	9	„ „	
— 32	10	steigt auf 342	
— 33	7	„ „ 344	
— 34	4	Stand „ 344	
— 35	5	„ „	
— 36	6 ¹ / ₂	„ „	
— 37	4 ¹ / ₂	fällt auf 343	
— 38	5 ¹ / ₂	Stand 343	
— 39	5 ¹ / ₂	„ „	
— 40	4 ¹ / ₂	„ „	
— 41	5 ¹ / ₂	„ „	mit d. Glaskörper verb.
— 42	2	— —	steigt auf 346
— 43	5 ¹ / ₂	— —	„ „ 347
— 44	6	— —	Stand 347
— 45	5 ¹ / ₂	— —	steigt auf 348
— 46	6	— —	Stand 348
— 47	6	— —	„ „
— 48	4 ¹ / ₂	— —	„ „
— 49	5	— —	„ „
— 50	5	— —	„ „
— 51	5 ¹ / ₂	— —	„ „
— 52	6	— —	„ „
— 53	4 ¹ / ₂	— —	„ „
— 54	6	mit d. vord. Kammer verb.	
— 55	2	fällt auf 346	

Zeit	Einlauf in cmm	Steigrohr verbunden	
		mit der vorderen Kammer	mit dem Glaskörper
6 Uhr 56	2	fällt auf 345	
— 57	$4\frac{1}{2}$	Stand 345	
— 58	$4\frac{3}{4}$	„ „	
— 59	$5\frac{1}{4}$	„ „	
7 Uhr 00	4	„ „	
— 01	7	„ „	
— 02	4	„ „	
— 03	5	„ „	
— 04	5	„ „	
— 05	5	„ 345	

Normalstand am Schlusse des Versuchs bei Abschluss vom Auge und Verbindung mit dem weiten Manometer 348 mm Wasser, somit Kapillarattraktion jetzt nur von 8 mm.

Der Versuch zeigt, dass bei Injektion in die vordere Kammer der Druck in dieser nur um den minimalen Wert von 2, später von 7 mm Wasser niedriger war, als der im Druckmanometer, dass aber der Druck im Glaskörper um 16 mm Wasser ($= 1,17$ mm *Hg*) hinter dem Vorderkammerdruck zurückblieb. Bei dem darauf folgenden Einlauf in den Glaskörperraum näherten sich die Drucke in beiden Räumen mehr und mehr, bis nach fast zwei Stunden der Unterschied nur noch 3 mm Wasser ($= 0,22$ mm *Hg*) betrug. Bemerkenswert ist auch im 1. Teil des Versuchs, dass jedesmal, wenn das Steigrohr mit einem anderen der beiden Räume in Verbindung gesetzt wurde, der Zufluss durch das Skalenrohr für kurze Zeit eine Änderung erfuhr; wenn die Wassersäule im Steigrohr abfiel, wurde der Zufluss geringer oder sogar negativ (um 5 Uhr 26 und 52); ein Steigen der Wassersäule fiel dagegen mit einer beträchtlichen Zunahme des Zuflusses zusammen (5 Uhr 36). Dies ist wohl auf folgende Art zu erklären: Wurde das bis dahin mit der vorderen Kammer verbundene Steigrohr mit dem Glaskörper in Verbindung gesetzt, in welchem der Druck etwas niedriger war, so musste sein Flüssigkeitsniveau sinken, der Glaskörperraum wurde dadurch etwas mehr gefüllt, sein Druck erhöht und dadurch der Zufluss zur vorderen Kammer erschwert; wurde umgekehrt das Steigrohr wieder mit der vorderen Kammer verbunden, so musste ein reichlicherer Zufluss zu demselben erfolgen, um sein Niveau auf die Höhe des Vorderkammerdruckes zu bringen. Diese Beobachtung bestätigt also, dass in der Tat ein kleiner Druckunterschied zwischen beiden Räumen vorhanden war.

Der andere Versuch, in welchem bei Messung mit dem Steig-

rohr sich kein Druckunterschied ergab, zeigt indessen, dass ein solcher Unterschied nicht immer vorhanden sein muss, dass also kein Grund zu der Annahme vorliegt, dass derselbe bei der Messung mit dem *Hg*-Manometer nur wegen einer geringeren Empfindlichkeit desselben der Beobachtung entgangen sei.

Jedenfalls geht aus diesen Versuchen hervor, dass die zuweilen vorhandenen Unterschiede nur sehr gering sind, und da die Filtration nur von dem Druck in der Vorderkammer abhängt, kann ihnen auf deren Betrag kein Einfluss zugeschrieben werden.

Wenn man dagegen zu solchen Versuchen nicht frische, sondern kadaverös collabierte Augen verwendet, deren Glaskörper schon einen grösseren Teil seiner Flüssigkeit abgegeben hat, so ist es wohl möglich, dass bei Injektion in die vordere Kammer der Druck im Glaskörper mehr hinter dem in der vorderen Kammer zurückbleibt und dass es längere Zeit dauert, bis der Glaskörperraum seine normale Füllung wieder erhält. Hierauf ist auch wohl die auffallende Tiefe der vorderen Kammer zurückzuführen, welche Uribe y Troncoso bei seinen Versuchen an menschlichen Augen beobachtet hat und die uns bei Versuchen an frischen Tieraugen nicht entgegengetreten ist. Ist der Glaskörperraum nur schwach gefüllt, so muss bei Injektion in die vordere Kammer das beide Räume trennende Diaphragma bei seiner grossen Dehnbarkeit nach hinten gedrängt werden, was aber bei normal gefülltem Glaskörperraum nicht der Fall sein kann.

Uribe y Troncoso hat aus dieser Beobachtung den Schluss gezogen, dass der Vorderkammerdruck nur sehr unvollkommen auf den Glaskörper übertragen werde. Messungen des während einer Injektion in die vordere Kammer vorhandenen Glaskörperdruckes hat er nicht ausgeführt. Er beruft sich aber¹⁾ auf eine von ihm angestellte Versuchsreihe, bei welcher der Einlauf in die vordere Kammer nur halb so gross war, wenn gleichzeitig unter demselben Druck auch in den Glaskörper injiziert wurde.

Wir müssen auf diesen Versuch im folgenden Abschnitt näher eingehen und bemerken daher an dieser Stelle nur kurz, dass, wie sich ergeben wird, aus demselben durchaus kein Schluss auf die Höhe des Glaskörperdruckes zu ziehen ist.

¹⁾ Ann. d'Ocul. Tom. CXXXIV. p. 257—258.

V.

Einfluss des Ortes der Injektion auf die Grösse des Einlaufs und der Filtration.

Bei unseren früheren Filtrationsversuchen hatten wir einfach die zur Injektion dienende Kanüle in die vordere Kammer eingesetzt, obwohl dadurch das Verhalten des lebenden Auges nicht genau nachgeahmt wird, da bei diesem, wie wir annehmen, das Kammerwasser hinter der Iris abgesondert wird und durch die Pupille in die vordere Kammer übertritt. Wir hatten uns dazu für berechtigt gehalten, weil frühere Versuche anderer Beobachter beim lebenden Auge ergeben hatten, dass der Druck in den beiden grossen Räumen des Auges gleich ist, und weil es hiernach gleichgültig erschien, an welcher Stelle wir den Zufluss erfolgen liessen. Die im vorigen Abschnitt mitgeteilten Versuche haben uns hierin Recht gegeben, indem sie zeigten, dass auch bei unseren Versuchen an ausgeschnittenen Augen in beiden Räumen keine in Betracht kommenden Druckunterschiede bestehen, und dass eine Drucksteigerung in einem derselben sich sehr schnell, wenigstens zum allergrössten Teil auf den anderen überträgt.

Dem gegenüber hat neuerdings Uribe y Troncoso behauptet¹⁾, dass die alleinige Injektion in die vordere Kammer zu grosse Werte ergebe. Ausgehend von den Beobachtungen von Priestley Smith, nach welchen ein Drucküberschuss im Glaskörper die Filtration aus der vorderen Kammer vermindert, weil durch denselben die Iriswurzel der Hornhaut genähert und der Filtrationswinkel verengert wird, will er gefunden haben, dass die vordere Kammer bei direkter Injektion abnorm vertieft werde, und dass die dadurch bewirkte Erweiterung des Kammerwinkels eine über die Norm vermehrte Filtration zur Folge habe.

Er stellte vergleichende Versuche in der Weise an, dass er sowohl in die vordere Kammer, als in den Glaskörperraum eines Auges je eine Stichkanüle einführte und nun bei gleich hohem Druck von 25 mm Hg in beide Räume injizierte. Die Vorderkammerkanüle stand mit dem Filtrationsmanometer in Verbindung, die Glaskörperkanüle mit einem kleinen Wasserbehälter, dessen Druck beliebig reguliert werden konnte. Wurde zuerst der zur vorderen Kammer und gleich darauf der zum Glaskörper gehende Hahn geöffnet, so war der Ein-

¹⁾ Loc. cit. Ann. d'Ocul. T. CXXXIII, janv. 1905.

lauf in die vordere Kammer nur ungefähr halb so gross, als bei alleiniger Injektion in die letztere; auch blieb dabei die Tiefe der Vorderkammer geringer. Wurde aber der Hahn zur vorderen Kammer zuerst allein geöffnet und der dabei erfolgende Einlauf bestimmt, so war die spätere Öffnung des Zuflusses zum Glaskörperraum nicht mehr im Stande, den verstärkten Einlauf in die vordere Kammer wieder zu verringern, und die letztere behielt ihre abnorme Tiefe. Wurde der Glaskörperdruck jetzt allmählich gesteigert, so nahm der Einlauf in die vordere Kammer entsprechend ab und hörte schon bei einem Druck von 27 bis 31 mm *Hg* vollständig auf. Setzte man nun den Druck im Glaskörper wieder herab, so begann der Einlauf in die vordere Kammer von neuem, um bei abermaliger Steigerung des ersteren wieder aufzuhören, und so fort.

Da uns der erwähnte Einwand eine sorgfältige Prüfung zu erfordern schien, haben wir eine Reihe von vergleichenden Versuchen angestellt, bei welchen wir die Menge der nach einander in ein und dasselbe Auge eintretenden Flüssigkeit, bei alleiniger Injektion in die vordere Kammer oder in den Glaskörperraum, oder bei gleichzeitiger Injektion in beide Räume, bestimmten. Der Eine von uns hat über das Ergebnis eines Teiles dieser Versuche schon an anderer Stelle¹⁾ summarisch berichtet und angegeben, dass wir dabei keinen merklichen Unterschied nachzuweisen vermochten. Wir hatten aber bemerkt, dass die Versuche noch nicht abgeschlossen seien und dass wir sie später insgesamt veröffentlichen würden.

Wir teilen hier zunächst die damals angestellten Versuche mit, welche wir für ganz überzeugend halten.

Versuchsmethode.

Bei diesen Versuchen wurde in der gewöhnlichen Weise eine Durchstichkanüle in die vordere Kammer eingeführt und dann eine weite Stichkanüle durch den Sehnervstumpf in den Glaskörperraum eingestochen und festgebunden. Nach Beendigung des Versuchs wurde jedesmal kontrolliert, dass keine Verletzung der Linse stattgefunden hatte, was zu einer Verstopfung der Kanüle Anlass geben kann, und dass deren Öffnung frei im Glaskörper lag.

Beide Kanülen wurden durch kurze Kautschukschläuche mit den Enden eines gabelförmig geteilten Rohres und dieses wieder mit dem Filtrationsmanometer verbunden. Bei den ersten Versuchen wurde der Abschluss vom letzteren durch Abklemmen der Kautschuke bewirkt; später benutzten wir Glashähne, deren Öffnung und Verschluss keine Volumsänderung mit

¹⁾ Ann. d'Ocul. Tom. CXXXIII. p. 410—411.

sich bringt; hierdurch wurden die bei Verwendung von Kautschukröhren vorkommenden kleinen Druckschwankungen vermieden, welche den regelmässigen Gang des Einlaufs etwas stören. So konnte nach Belieben bald die vordere Kammer, bald der Glaskörperraum, bald beide gleichzeitig mit dem Filtrationsmanometer ohne jede Druckschwankung verbunden und der Einlauf beobachtet werden. Die druckerzeugende Hg -Säule des weiten Manometers blieb in der Regel während des ganzen Versuchs auf derselben Höhe stehen; nur zuweilen war es nach einem Sinken von 1 bis 2 mm nötig, sie wieder auf den früheren Stand zu bringen.

Die Beurteilung der Resultate wurde bei diesen Versuchen durch den schon oben besprochenen Umstand erschwert, dass die Menge der in das Auge einlaufenden Flüssigkeit keine konstante war, sondern im Verlauf der Zeit allmählich abnahm. Um diesen Übelstand möglichst auszuschalten, wurde in der Regel so verfahren, dass das Manometer zuerst allein mit der vorderen Kammer, dann gleichzeitig mit dieser und dem Glaskörperraum und zuletzt wieder allein mit der vorderen Kammer in Verbindung gebracht wurde. War bei Injektion allein in die vordere Kammer die Filtration wesentlich grösser, so musste bei Wiederholung derselben die vorher, während der Injektion in den Glaskörper, erfolgte Abnahme der Einflussmenge verringert oder in ihr Gegenteil verkehrt werden. Hiervon war aber nicht das Geringste zu beobachten. Abgesehen von kleinen, vorübergehenden Störungen (in Folge der Benutzung von Kautschukverbindungen) und von geringfügigen sonstigen Schwankungen, war der Einlauf bei gleichzeitiger Injektion in beide Räume zwar etwas geringer als zuvor, bei alleiniger Injektion in die vordere Kammer; in der darauffolgenden Periode, in welcher wieder ausschliesslich in die vordere Kammer injiziert wurde, war er aber, statt grösser zu werden, wieder etwas geringer als vorher; man erhielt so den Eindruck, dass es sich nur um die auch sonst im Verlaufe des Versuches erfolgende Abnahme handelte.

Beobachtungen.

Versuch a. vom 30. III. 1905 (Prot.-Nr. 2).

Frisches Schweinsauge. 1% $NaCl$ -Lösung. Druck 25 mm Hg . Auge wie bei allen folgenden Versuchen, durch feuchte Watte vor Verdunstung geschützt.

1. Zufluss zur vorderen Kammer allein geöffnet:

Zeit	Druckhöhe in mm Hg	Einlauf in cmm	Bemerkungen
5 Uhr 49 — 50	25	31	Unterbrechung, Luftblase wird zurückgebracht.

Zeit	Druckhöhe in mm <i>Hg</i>	Einlauf in cmm	Bemerkungen
5 Uhr 52	25		vorübergehende Störung durch Druck auf das Auge.
— 53		18,5	
— 54		8,0	
— 55		7,5	
— 56		5,5	
— 57		7,0	
— 58		6,5	
— 59		7,0	
6 Uhr 00		6,5	
— 01		7,0	
— 02		6,5	
— 03		7,0	
— 04	24,75	6,5	
— 05		6,5	
— 06		7,5	
— 07		7,0	
— 08		7,0	
— 09		6,5	
— 10		7,0	
— 11		6,5	

2. Vordere Kammer und Glaskörperraum geöffnet:

6 Uhr 18	25		vorübergehende Störung.
— 19		6	
— 20		6	
— 21		2,5	
— 22		5,5	
— 23		5,5	
— 24		5,5	
— 25		5,5	
— 26		5,5	
— 27		5,5	
— 28		5,5	
— 29		5,5	
— 30		5,0	
— 31		5,5	
— 32		5,5	
— 33		5,0	
— 34		5,0	

3. Glaskörperraum abgeschlossen und wieder Zufluss zur vorderen Kammer allein geöffnet:

6 Uhr 38	25		
— 39		3,5	
— 40		8,0	
— 41		4,5	
— 42		5	
— 43		4,5	
— 44		5	
— 45		4	
— 46		5	
— 47		4,5	
— 48		4,5	
— 49		4,5	
— 50		4,5	

Zeit	Druckhöhe in mm Hg	Einlauf in cmm	Bemerkungen
6 Uhr 51	25	4,5	
— 52		5,0	
— 53		5,0	
— 54		4,5	
— 55		5	
— 56		4	

Der Einlauf betrug hiernach von der Zeit ab, wo er in jeder Periode des Versuches einigermassen konstant geworden war, im Mittel

1. bei Injektion in die vordere Kammer 6,8 cmm in der Min.
2. bei Injektion in beide Räume 5,4 " " " "
3. bei abermaliger Injektion in die vordere Kammer 4,6 " " " "

Könnte man hier noch annehmen, dass im zweiten Teile des Versuches doch eine Abnahme des Einlaufs stattgefunden habe, die von dem Übergang zur Injektion in beide Räume abhängig war, so ist eine solche Annahme bei dem folgenden Versuche nicht mehr zulässig, über den wir summarisch berichten:

Versuch b. vom 29. III. 1905 (Prot.-Nr. 1).

Frisches Schweinsauge. Druck 25 mm Hg.

Einlauf von der Zeit ab, wo er anfang langsam abzunehmen, im Mittel

1. bei Injektion in beide Räume 10,2 cmm
2. bei Injektion in die vordere Kammer allein 9,05 "
3. bei Injektion in den Glaskörper allein 7,8 "
4. bei wiederholter Injektion in die vordere Kammer allein 7,0 "

Der Druck war nur ganz vorübergehend auf 24 bzw. 23 mm Hg gesunken und wurde gleich wieder auf die frühere Höhe gebracht.

Bei dem folgenden Versuch wurde zuerst in den Glaskörper allein und dann in die vordere Kammer allein injiziert; der Einlauf war in letzterem Falle merklich kleiner. Um die Möglichkeit auszuschliessen, dass der Kammerwinkel durch die vorhergegangene Injektion in den Glaskörper schon zu stark verengt gewesen sei, als dass ihn die nachherige Injektion in die vordere Kammer zur normalen Weite hätte ausdehnen können, wurde die Vorderkammerkanüle abgeschlossen und durch einen seitlich angebrachten Hahn aus der Glaskörperkanüle Flüssigkeit abfliessen gelassen, wodurch der intraokulare Druck auf 2,5 mm herabsank. Jetzt wurde bei Abschluss der Glaskörperkanüle das Filtrationsmanometer wieder mit der vorderen Kammer in Verbindung gebracht und die Injektion bei 25 mm Hg-Druck aufs neue begonnen. Der Einlauf war kaum merklich grösser als zuvor und nahm nicht ab, als nachher statt in die vordere Kammer in den Glaskörperraum injiziert wurde.

Versuch e. vom 31. III. 1905 (Prot.-Nr. 4).

Frisches Schweinsauge. 1% *NaCl*-Lösung. Druck von 25 mm *Hg*.

1. Injektion in den Glaskörper allein:

Zeit	Stand der Luftblase	Einlauf in cmm	Druckhöhe in mm <i>Hg</i>
6 Uhr 15	62		25
— 16	88,5	26,5	
— 17	101	12,5	
— 18	109	8,0	
— 19	115,5	6,5	
— 20	122,5	7,0	
— 21	129	6,5	
— 22	135,5	6,5	
— 23	141,5	6,0	
— 24	147,5	6,0	25

2. Injektion in die vordere Kammer allein:

6 Uhr 25	148		25
— 26	96,5		
— 27	100,5	4,0	
— 28	104,5	4,0	
— 29	109,0	4,5	
— 30	113,5	4,5	
— 31	118	4,5	
— 32	122,5	4,5	
— 33	127	4,5	25

3. Abschluss der vorderen Kammer; Abfließenlassen von Flüssigkeit aus der Glaskörperkanüle. Augendruck 2,5 mm *Hg*. Abschluss der Glaskörperkanüle.

Injektion wieder in die vordere Kammer allein:

6 Uhr 41	128		25
— 42	143,5	15,5	
— 43	149,5	6,0	
— 44	154,5	5,0	
— 45	159,5	5,0	
— 46	164,5	5,0	
— 47	169,5	5,0	
— 48	174,5	5,0	
— 49	179	4,5	
— 50	184	5,0	
— 51	189	5,0	
— 52	194	5,0	25

4. Injektion in den Glaskörper allein:

6 Uhr 57	100		25
— 58	109,5	9,5	
— 59	115,5	6,0	
7 Uhr 00	121	5,5	
— 01	127	6,0	
— 02	132,5	5,5	
— 03	137,5	5,0	
— 04	143	5,5	
— 05	148	5,0	
— 06	153,5	5,5	
— 07	158,5	5,0	
— 08	163,5	5,0	
— 09	169	5,5	
— 10	174	5,0	

Bei den folgenden beiden Versuchen wurde die oben erwähnte Abschlussvorrichtung durch Glashähne benutzt, bei welcher der Wechsel des Injektionsortes ganz ohne Zeitverlust und Druckschwankung zu bewerkstelligen war. Der Einlauf ging hier ganz so regelmässig weiter, wie ohne solchen Wechsel, und die Abnahme im Verlauf der Zeit war äusserst gering.

Versuch d. vom 5. IV. 1905 (Prot.-Nr. 6).

Frisches Schweinsauge, 1% *NaCl*-Lösung; 25 mm *Hg* Druck.

1. Injektion in die vordere Kammer und in den Glaskörper zugleich:

Zeit	Stand der Luftblase	Einlauf in cmm	Druckhöhe in mm <i>Hg</i>
5 Uhr 31	105		25
— 32	140	35	
— 33	155	15	
— 34	163	8	
— 35	171	8	
— 36	179	8	
— 37	185,5	6,5	
— 38	192,5	7,0	
— 39	199,5	7,0	
— 40	205	5,5	
— 41	212,5	7,5	
— 42	219	6,5	
— 43	225,5	6,5	
— 44	232	6,5	25

2. Injektion in die vordere Kammer allein:

5 Uhr 45	237,5	5,5	25
— 46	243,5	6,0	
— 47	249,5	6,0	
— 48	256	6,5	
— 49	262	6,0	
— 50	268	6,0	
— 51	274	6,0	
— 52	280	6,0	25

3. Injektion in den Glaskörper allein:

5 Uhr 53	287	7,0	25
— 54	293	6,0	
— 55	298,5	5,5	
— 56	304,5	6,0	
— 57	310,5	6,0	
— 58	316	5,5	
— 59	322	6,0	
6 Uhr 00	327,5	5,5	
— 01	333	5,5	25

Der Einlauf betrug also von der Zeit ab, wo er sich nur wenig änderte, im Mittel

1. bei Injektion in beide Räume	6,6	cmm in der Min.
2. bei Injektion in die vordere Kammer allein	6,07	„ „ „ „
3. bei Injektion in den Glaskörper allein	5,75	„ „ „ „

Versuch e. vom 6. V. 1905 (Prot.-Nr. 7).

Frisches Schweinsauge, 1% *NaCl*-Lösung.

1. Injektion in beide Räume zugleich:

Zeit	Stand der Luftblase	Einlauf	Druckhöhe in mm <i>Hg</i>
5 Uhr 14	55?		25
— 15	147,5		
— 16	157,5	10,0	24
— 17	172,5	15,0	25
— 18	181	8,5	
— 19	190	9,0	
— 20	198,5	8,5	
— 21	205,5	7,0	
— 22	213,5	8,0	
— 23	220	6,5	
— 24	226,5	6,5	
— 25	233	6,5	
— 26	239,5	6,5	
— 27	246	6,5	25

Mittel 7,3

2. Injektion in die vordere Kammer allein:

5 Uhr 28	252	6,0		
— 29	258,5	6,5		
— 30	264,5	6,0		
— 31	270,5	6,0		
— 32	276,5	6,0		24
— 33	282,5	6,0		24

Mittel 6,1

3. Injektion in beide Räume zugleich:

5 Uhr 34	288,5	6,0		24
— 35	294,5	6,0		
— 36	300,5	6,0		
— 37	306,5	6,0		
— 38	312	5,5		
— 39	317,5	5,5		
— 40	323,5	6,0		24

Mittel 5,9

Wir haben von unseren Versuchen, die sämtlich zu dem gleichen Resultate führten, eine etwas grössere Zahl mitgeteilt, um dem Leser ein eigenes Urteil zu ermöglichen. Sie zeigen alle, dass bei der gewählten Versuchsanordnung kein irgend in Betracht zu ziehender Unterschied in der Menge der in das Auge einlaufenden Flüssigkeit vorkam, mochte die Injektion allein in die vordere Kammer, oder allein in den Glaskörperraum, oder in beide Räume zugleich vorgenommen werden. Eine vollkommene Übereinstimmung der einzelnen Perioden ist aber wegen der mit der Zeit allmählich abnehmenden Menge des Einlaufs nicht zu erzielen.

Die Zeiten des Einlaufs in den einzelnen Perioden waren natürlich ziemlich kurz; sie betrugen in den obigen Versuchen der Reihe nach:

		v. K.	v. K. + G.	v. K.	
in Versuch a.	22 Min.	16 Min.	18 Min.		
	v. K. + G.	v. K.	G.	v. K.	
„ „ b.	10 Min.	10 Min.	10 Min.	12 Min.	
	G.	v. K.	v. K.	G.	
„ „ c.	9 Min.	8 Min.	11 Min.	13 Min.	
	v. K. + G.	v. K.	G.		
„ „ d.	13 Min.	7 Min.	8 Min.		
	v. K. + G.	v. K.	v. K. + G.		
„ „ e.	13 Min.	5 Min.	6 Min.		

Da Uribe y Troncoso in seiner letzten Mitteilung sich gegen uns wieder auf seine früheren, in grosser Zahl angestellten Versuche an menschlichen Augen berufen hat, hat der Eine von uns, um ganz sicher zu gehen, noch einige weitere Versuche angestellt, die wieder das gleiche Resultat geliefert haben. Bei denselben war auch durch die oben beschriebene Trichtervorrichtung für vollkommene Konstanz des Druckes während der ganzen Dauer des Versuchs gesorgt. Es wurde hier zunächst gleichzeitig in beide Räume injiziert, wobei gemäss der Ansicht von Uribe y Troncoso die normale Grösse des Einlaufs erhalten werden musste, und darauf abwechselnd zuerst in die vordere Kammer, dann in den Glaskörperraum und zuletzt wieder in die vordere Kammer. Nach Abschluss dieser Beobachtungen wurde noch die Druckhöhe in der vorderen Kammer und im Glaskörperraum mit einem Steigrohr (in der oben angegebenen Weise) gemessen und fast genau gleich gefunden. Bei diesen Versuchen war die Abnahme des Einlaufs während der eigentlichen Beobachtungszeit noch etwas geringer, als bei den früheren, und die Unabhängigkeit der Einlaufsmenge von dem Orte der Injektion tritt, wo möglich, noch deutlicher hervor.

Wir führen hier zwei von diesen Versuchen in abgekürzter Form an:

Versuch vom 21. XII. 1905.

Frisches Schweinsauge. Druck 25 mm Hg = 340 mm Wasser.

	Dauer der Periode in Minuten	Mittlerer Einlauf in cmm ¹⁾	Druck in der v. Kammer	Druck im Glaskörper
			in mm Wasser	
1. Einl. in beide Räume	17	12,8		
2. Einlauf nur in die vordere Kammer	9	12,3		

¹⁾ Bei der Berechnung des Mittels wurden auch hier die hohen Anfangswerte weggelassen.

	Dauer der Periode in Minuten	Mittlerer Einlauf in cmm ¹⁾	Druck in der vord. Kammer	Druck im Glaskörper
			in mm Wasser	
3. Einlauf nur in den Glaskörper	10	11,7		
4. Einlauf nur in die vordere Kammer	9	11,0		
5. Druckbestimmung bei Einlauf in die vordere Kammer			353—354	352—353
6. Desgl. bei Einlauf in den Glaskörper			352	352
7. Desgl. bei Einlauf in die vordere Kammer wiederholt			355—356	355

Versuch vom 22. XII. 1905.

Frisches Schweinsauge. Druck 25 mm Hg.

	Dauer der Periode in Minuten	Mittlerer Einlauf in cmm ¹⁾	Druck in der vord. Kammer	Druck im Glaskörper
			in mm Wasser	
1. Einl. in beide Räume	15	7,4		
2. Einlauf nur in die vordere Kammer	7	6,4		
3. Einlauf nur in den Glaskörper	11	6,5		
4. Einlauf nur in die vordere Kammer	7	6,6		
5. Druckbestimmung bei Einlauf in die vordere Kammer			352	349
6. Druckbestimmung bei Einlauf in den Glaskörper			350	350

Wie man sieht, haben wir bei kürzerer Versuchsdauer an frischen Augen auch dann keinen merklich geringeren Einlauf beobachtet, wenn die Injektion allein in den Glaskörperraum vorgenommen wurde. Bei späteren, zu anderen Zwecken angestellten Versuchen, welche viel länger (bis 100 Minuten) fortgesetzt wurden, ist uns aber aufgefallen, dass regelmässig sehr viel geringere Gesamtwerte des Einlaufs erhalten wurden, wenn die Injektion nicht, wie gewöhnlich, in die vordere Kammer, sondern in den Glaskörperraum gemacht wurde. Da bei kurz dauernden Versuchen ein solcher Unterschied nicht hervorgetreten war, so muss bei den soeben erwähnten, wenn in den Glaskörper injiziert wurde, der Einlauf während der

¹⁾ Bei der Berechnung des Mittels wurden auch hier die hohen Anfangswerte weggelassen.

Dauer des Versuchs in sehr viel höherem Masse abgenommen haben, als bei Injektion in die vordere Kammer. Dieser Schluss wird durch unsere Versuchsprotokolle, wie die unten folgende Tabelle zeigt, in der Tat bestätigt. Wir glauben, dass die Ursache dieses Verhaltens in einer allmählichen Verengerung des Kammerwinkels zu suchen ist, wie sie Priestley Smith eintreten sah, wenn er unter erhöhtem Druck in den Glaskörperraum injizierte. Da ein in Betracht zu ziehender Abfluss nur aus der vorderen Kammer, aber nicht aus dem Glaskörperraum stattfindet, so lässt sich sehr wohl annehmen, dass bei alleiniger Injektion in den Glaskörperraum, wenn dieselbe längere Zeit fortgesetzt wird, Iris und Linsensystem allmählich nach vorn rücken, obwohl dabei der Druck in der vorderen Kammer, wie unsere Versuche gezeigt haben, nur ein Minimum hinter dem des Glaskörpers zurückbleibt. Diese Erklärung wird auch noch durch die weitere Tatsache bestätigt, dass bei diesen Versuchen nicht nur die Gesamtmenge des Einlaufs, sondern auch die des Filtrats, welche auf direktem Wege bestimmt wurde (vgl. Abschnitt X), unter sonst gleichen Umständen bei Injektion in den Glaskörperraum erheblich kleiner war, als bei Injektion in die vordere Kammer.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die betreffenden Versuche. Es wurden für dieselbe wieder Mittelwerte des Einlaufs berechnet (unter Ausschluss der hohen Anfangswerte der ersten Minuten, während deren die einlaufende Flüssigkeit wesentlich zur Füllung des vorher entspannten Auges dient) (Kolumne 10); die Kol. 8 enthält die ersten zur Berechnung des Mittels benutzten Werte, die Kol. 9 die Endwerte des Einlaufs. Da die hohen Einläufe der ersten Perioden unberücksichtigt blieben, sind natürlich die Gesamteinläufe erheblich grösser als die Produkte aus den Mittelwerten und der Versuchszeit. Zur leichteren Vergleichung sind bei den kürzer dauernden Versuchen (4—6) Gesamteinlauf und Filtrat auch für die Ver-

Ord.- Nr.	Nr. des Versuchs	Druck in mm <i>Hg</i>	Temperatur der Injektions- flüssigkeit	Dauer des Versuchs in Minuten	Gesamter Einlauf in cmm
I. Injektion in den					
1.	XLVIII.	24	24° C.	100	874
2.	XLIX.	24,5	25° C.	100	1284
3.	L.	25	24° C.	100	1146
4.	LI.	24,5	37,8° C.	75	1079 (1439)
II. Injektion in die					
5.	LVI.	24,5	24° C.	80	2193 (2741)
6.	LII.	25,5	39° C.	60	1273 (2122)

suchsdauer der übrigen, welche 100 Minuten betrug, berechnet und die Zahlen in Klammern beigefügt. Der Injektionsdruck wurde während der Versuche fortdauernd reguliert; seine Höhe war bei den einzelnen Versuchen nur ganz unwesentlich verschieden.

Die Tabelle zeigt in den Kolonnen 8—11 auf das deutlichste die erhebliche Abnahme des Einlaufs vom Anfang zum Ende des Versuchs und die niedrigen Mittelwerte von Einlauf und Filtrat bei Injektion in den Glaskörper, dagegen die sehr geringe Abnahme des Einlaufs und die hohen Mittelwerte von Einlauf und Filtrat bei Injektion in die vordere Kammer bei den unter ganz denselben Bedingungen angestellten Versuchen. Die erhebliche Abnahme, welche der Einlauf bei Injektion in den Glaskörper im Verlauf der Zeit erfährt, weist unverkennbar darauf hin, dass dabei störende Einflüsse obwalten, während die Injektion in die vordere Kammer den Verhältnissen des lebenden Auges möglichst nahe kommt. Unsere Versuche haben uns dagegen nicht den mindesten Anhaltspunkt für die Annahme ergeben, dass die Filtration durch alleinige Injektion in die vordere Kammer über ihren normalen Wert erhöht werden könne. Dies ist auch a priori gar nicht zu erwarten; um eine normale Filtration zu ermöglichen, muss der Kammerwinkel vollständig frei sein; ist dies aber der Fall, so hängt die Menge des Filtrats wesentlich von der Höhe des Vorderkammerdruckes ab und braucht nicht dadurch beeinflusst zu werden, dass die Iris noch mehr, als zur völligen Öffnung des Kammerwinkels nötig ist, nach hinten gedrängt wird. Dass letzteres nicht der Fall ist, geht auch aus den Versuchen von Niesnamoff hervor, welche bei Injektion in die vordere Kammer eine sehr genaue Proportionalität zwischen Druckhöhe und Grösse der Filtration erwiesen haben.

Unsere Versuche haben also ergeben, dass wir vollkommen berechtigt waren, bei unseren Messungen der Filtration ausschliesslich

Gesamtes Filtrat in cmm	Anfänglicher Einlauf in der Minute in cmm	Letzter Einlaufswert in der Minute in cmm	Mittlerer Einlauf in der Minute in cmm	Mittlere Menge des Filtrats in der Minute in cmm
Glaskörperraum:				
210	12,75	4,5	4,2	2,1
280	13	3,6	5,2	2,8
430	14,75	4,7	6,4	4,3
315 (420)	15,5	6,5	6,8	4,2
vordere Kammer:				
1265 (1581)	20	16,7	17,8	15,5
700 (1166)	15	12,75	13,7	12,75
				4

in die vordere Kammer zu injizieren und dass die gleichzeitige Injektion in beide Räume überflüssig, dagegen die alleinige Injektion in den Glaskörperraum zu verwerfen ist, weil sie bei längerer Dauer der Versuche zu niedrige Werte ergibt.

Wie lassen sich aber mit unseren Ergebnissen die von Uribe y Troncoso vereinigen, welcher angibt, dass bei seinen Versuchen die Filtration bei gleichzeitiger Injektion in beide Räume nur die Hälfte von der bei alleiniger Injektion in die vordere Kammer betragen habe? Wir waren bis vor kurzem der Ansicht, dass sie zu den unsrigen in direktem Widerspruch ständen, da wir bei ähnlich rascher Abwechslung des Injektionsortes keine merklichen Unterschiede gefunden haben. Uribe y Troncoso hat uns neuerdings auf die Möglichkeit hingewiesen, dass das Verhalten menschlicher Augen, welche er ausschliesslich benutzt habe, von dem der Tieraugen verschieden sein könnte. Wir hätten gerne unsere Versuche auch noch auf menschliche Augen ausgedehnt, wenn uns solche in völlig frischer Beschaffenheit zu Gebote gestanden hätten. Da wir aber nur Versuche an frischen Augen für ganz beweiskräftig halten, mussten wir uns auf Schweinsaugen beschränken. Wir konnten dies um so eher tun, weil sich uns bei weiterer Erwägung eine ganz andere Auffassung der in Rede stehenden Differenz ergeben hat. Die letzte Mitteilung von Uribe y Troncoso hat uns nämlich gezeigt, dass unsere beiderseitigen Resultate sich keineswegs ausschliessen, dass vielmehr der Unterschied nur daher rührt, dass wir etwas Anderes gemessen haben als er, was wir aus den kurzen Angaben seiner ersten Arbeit nicht hatten entnehmen können.

Er gibt an, dass bei seinen Versuchen zuerst der Hahn zur vorderen Kammer einige Zeit hindurch offen gehalten worden sei, um den dabei stattfindenden Einlauf zu bestimmen, und dann, bei demselben Druck, auch der Hahn zum Glaskörper. Das Ergebnis der Versuche teilt er summarisch in folgender Tabelle mit:

Nr.	Filtration in 1 Minute bei alleiniger Injek- tion in die vordere Kammer	Filtration in 1 Min. bei einem Druck im Glaskörp., der dem der vord. Kammer gleichkommt
1	4	2
2	5,2	2,5
3	4,1	2,7
4	4,5	3,5
5	—	2,7

Da von jedem Versuch in beiden Kolumnen nur je eine Zahl angeführt ist, so handelt es sich vermutlich um Mittelwerte aus einer Reihe von Ablesungen. Wenn die Zahlen die direkten Ablesungen an der Skala wiedergeben, so würde die Einheit 2 cmm entsprechen. (Direkte Angaben darüber sind nicht gemacht.)

Wir waren nun früher der Meinung, dass diese Zahlen den gesamten Einlauf in beide Räume des Auges darstellten, auf welchen es doch hier ankommt und den wir bei unseren Versuchen gemessen haben. Dies ist aber, wie wir neuerdings erfahren haben, nicht der Fall. Uribe y Troncoso hat zuerst, wie wir es auch getan haben, den Einlauf bei alleiniger Injektion in die vordere Kammer gemessen; dann hat er, während die Injektion in die vordere Kammer weiter ging, unter gleich hohem Druck in den Glaskörperraum injiziert, aber ohne die etwa gleichzeitig in den letzteren eindringende Flüssigkeit ebenfalls zu messen. Dass die von ihm in der obigen Tabelle aufgeführten Zahlen sich nur auf den Einlauf in die vordere Kammer beziehen, konnten wir aus seiner ersten Mitteilung, wo sie einfach als „Filtration“ bezeichnet sind, nicht entnehmen; es geht aber aus seiner letzten Mitteilung hervor, in welcher er ausdrücklich angibt, dass die nachfolgende Injektion in den Glaskörperraum den Einlauf in die vordere Kammer fast um die Hälfte vermindert habe. Er hätte auch bei seiner Versuchseinrichtung zur Messung der in den Glaskörper eintretenden Flüssigkeit noch ein zweites kalibriertes Rohr mit Luftblase und Skala nötig gehabt, wovon aber bei seiner Beschreibung der Methode gar nicht die Rede ist und was er wohl nicht unterlassen hätte anzugeben, wenn er es verwendet hätte.

Da nun bei unseren Versuchen stets die ganze in das Auge eintretende Flüssigkeitsmenge gemessen wurde, so kann man vermuten, dass, wenn er den Einlauf in die vordere Kammer bei gleichzeitiger Injektion in beide Räume nur halb so gross fand als wir, die andere Hälfte in den Glaskörperraum eingelaufen sei. In diesem Falle würde, wie man sieht, zwischen unseren beiderseitigen Resultaten gar kein Widerspruch bestehen. Uribe y Troncoso scheint angenommen zu haben, dass bei seiner Versuchseinrichtung ein anhaltender Zufluss von Flüssigkeit zu dem Glaskörperraum gar nicht stattfindet, da es sonst nicht verständlich wäre, warum er den Betrag desselben bei der Bestimmung der Filtration ganz unberücksichtigt lässt. Er sagt wörtlich:

„Si l'oeil n'était, en réalité, qu'une capsule à cavité unique, la pression devrait se communiquer dans tous les sens . . avec la même in-

tensité. Ainsi donc, lorsqu'on exerce une pression de 25 mm sur la chambre antérieure, la pression devrait se communiquer entière au vitré. Par conséquent, si on introduit dans cette humeur une aiguille en communication avec un récipient rempli de liquide, à une pression de 25 mm de *Hg*, ... il ne devrait pénétrer dans l'oeil aucune quantité de liquide par la partie postérieure; la filtration apparente ou l'admission de la solution saline du manomètre dans la chambre antérieure ne devrait pas davantage être influencée. Au lieu de cela j'ai pu constater par de nombreuses expériences qu'une certaine quantité de liquide pénètre dans le corps vitré, pousse en avant le diaphragme irido-cristallinien, diminue la profondeur de la chambre antérieure et fait baisser presque de moitié l'admission du liquide du manomètre à la chambre antérieure. Ceci démontre d'une façon péremptoire, que la pression dans le vitré était bien moindre que la pression antérieure, et, par là même, que l'oeil ne s'était pas rempli dans sa totalité, comme un globe élastique, du liquide qui pénétra du manomètre pendant la première minute."

Der Gedankengang von Uribe y Troncoso scheint, wenn wir ihn richtig verstanden haben, etwa folgender gewesen zu sein. Der Druck im Glaskörperraum bleibt während der Injektion in die vordere Kammer viel niedriger als in dieser. Lässt man nun Flüssigkeit unter gleichem Druck in ihn eintreten, so dringt soviel davon ein als nötig ist, um den Druck darin auf die gleiche Höhe zu bringen, wie in der vorderen Kammer. Ist dies geschehen, so hört der weitere Zufluss in den Glaskörperraum auf. Durch den vorhergegangenen Einlauf in denselben ist es aber zu einer Verengerung des Kammerwinkels gekommen, durch welche die Filtration und damit auch der Einlauf in die vordere Kammer etwa auf die Hälfte vermindert wird. Wir haben aber oben durch Versuche bewiesen, dass der Druck im Glaskörperraum schon kurze Zeit nach Beginn der Injektion in die vordere Kammer nur äusserst wenig hinter dem in der letzteren zurückbleibt. Es ist uns auch unerfindlich, warum bei gleichzeitiger Injektion in beide Räume der Zufluss zum Glaskörper aufhören und die Flüssigkeit weiterhin nur in die vordere Kammer eindringen sollte, da bei alleiniger Injektion in den Glaskörperraum der Zufluss doch zunächst nicht geringer ist als bei Injektion in die vordere Kammer und erst im Verlauf der Zeit ganz allmählich abnimmt.

Wie man sieht, ist unsere Auffassung der Versuche des Herrn Uribe y Troncoso einer experimentellen Prüfung zugänglich, indem man durch zwei gleichweite kalibrierte Rohre die gleichzeitig in beide Räume eintretenden Flüssigkeitsmengen misst. Der Eine von uns hat auch diesen Versuch angestellt und das Ergebnis desselben ist recht merkwürdig. Zunächst bestätigte sich unsere Erwartung vollkommen,

dass eine etwaige Abnahme des Einlaufs in die vordere Kammer durch einen entsprechenden Einlauf in den Glaskörper ergänzt werde. Die Summe beider Einläufe blieb dabei, wie wir früher gefunden hatten, annähernd konstant. Da Uribe y Troncoso nur den Einlauf in die vordere Kammer, nicht aber auch den in den Glaskörper gemessen hat, so liegt also kein Grund mehr zur Annahme vor, dass in seinen Versuchen der gesamte Einlauf und damit auch die Filtration bei gleichzeitiger Injektion in beide Räume erheblich geringer gewesen sei, als bei Injektion in die vordere Kammer allein.

Fig. 9.

Bei unseren letzterwähnten Versuchen trat aber noch die merkwürdige Erscheinung auf, dass die in jeden der beiden Räume einfließenden Flüssigkeitsmengen in der Regel nicht gleich waren, sondern dass bald der Einlauf in die vordere Kammer, bald der in den Glaskörper überwog, und zwar bis zu dem Grade, dass der Einlauf in den anderen Raum zeitweise vollständig aufhörte. So wechselte während des nachstehend mitgeteilten Versuches der Einlauf in den Glaskörper und in die vordere Kammer zweimal ab, ohne dass in der Röhrenleitung das geringste Hindernis vorhanden war und obwohl

eine und dieselbe Druckvorrichtung die Flüssigkeit gleichzeitig in beide Räume einpresste.

Die vorstehende schematische Fig. 9 versinnbildlicht die Versuchseinrichtung. Unterhalb des Skalenrohrs des Filtrationsmanometers befindet sich ein zweites Skalenrohr, welches seinen Druck wie das erste durch das mit dem Trichterapparat verbundene weite Manometer erhält; das erste dient zur Injektion in den Glaskörperraum, das zweite zur Injektion in die vordere Kammer; der zweite Arm des Gabelrohrs dient zur Zurückführung der Luftblase.

Versuch vom 6. I. 1906

beim Schweinsauge (Tier gestern geschlachtet) bei Zimmertemperatur.

I. Einlauf nur in die vordere Kammer:

Zeit	Einlauf in die vord. Kammer in cmm	Bemerkungen
6 Uhr 24		Einlauf begonnen.
— 25	344	
— 26	36	
— 27	23	
— 28	18	
— 29	13	
— 30	16	Luftblase zurückgeführt.
— 31		
— 32	27	
— 33	13,5	
— 34	13,5	
— 35	13	
— 36	15	
— 37	14	
— 38	14	
— 39	16	
— 40	14	
— 41	14,5	
— 42	14,5	
— 43	14	
— 44	15,5	
— 45	14	

II. Einlauf in die vordere Kammer und in den Glaskörper zugleich:

Zeit	Einlauf in die vord. Kammer in cmm	Einlauf in den Glaskörp. in cmm	Gesamteinlauf in cmm	Bemerkungen
6 Uhr 45				Einlauf begonnen.
— 46	2,0	21,5	23,5	
— 47	0	20,5	20,5	
— 48	0	16	16	
— 49	5,0	2,5	7,5	
— 50	13,5	1,5	15	

Zeit	Einlauf in die vord. Kammer in cmm	Einlauf in den Glaskörp. in cmm	Gesamt- einlauf in cmm	Bemerkungen
6 Uhr 51	11	1,0	12	
— 52	14	0	14	
— 53	11	0,5	11,5	
— 54	13,5	0,5	14	
— 55	12,5	0,5	13	
— 56	12	0,25	12,25	
— 57	13,5	0,5	14	
— 58	12,5	0,75	13,25	
— 59	12,5	0,5	13	
7 Uhr 00	8,5	9,5	18	
— 01	— 1	13	12	
— 02	0	15,5	15,5	
— 03	+ 0,5	13,5	14	Druck auf die Cornea
— 04	0	13	13	bewegt die Luftblase
— 05	0	11	11	sehr leicht, dies. weicht
— 06	0	12	12	bei Nachlass d. Druckes
— 07	0	14,5	14,5	sofort wieder in ihre
— 08	0	12	12	frühere Stellung zurück,
— 09	0	12	12	also vollkommene Kom-
— 10	0	9,5	9,5	munikation zwischen
— 11	0	10,5	10,5	Filtrationsrohr u. Vor-
— 12	0	10	10	derkammer.
— 13	0	9,5	9,5	Druck auf die Cornea hat
— 14	0	} $2 \times 9,75$	$2 \times 9,75$	dieselbe Wirkung wie
— 15	0			zuvor.
— 16	0	9,5	9,5	
— 17	0	9,5	9,5	

III. Einlauf wieder allein in die vordere Kammer:

Zeit	Einlauf in die vord. Kammer in cmm	Bemerkungen
7 Uhr 17		
— 18	5,5	Hahn zum Glaskörper geschlos-
— 19	8,5	sen, sonst keine Änderung
— 20	8,5	vorgenommen.
— 21	8,0	
— 22	8,5	
— 23	8,0	
— 24	9,0	

IV. Einlauf jetzt allein in den Glaskörper:

Zeit	Einlauf in den Glaskörper in cmm	Bemerkungen
7 Uhr 24		
— 25	9	Hahn zur vorderen Kammer ge-
— 26	9,5	schlossen, zum Glaskörper ge-
— 27	9,0	öffnet.
— 28	8,5	
— 29	9	
— 30	8,5	

Nach Beendigung des Versuchs wurde nochmals konstatiert, dass alle Verbindungen und Hähne sicher schlossen und dass die Öffnungen beider Kanülen frei waren und diese gut mit den Zuflussrohren kommunizierten.

Der Versuch zeigt zunächst, dass der Einlauf in die vordere Kammer nach 9 Minuten einen annähernd konstanten Wert von 14 mm im Mittel erreichte; als nun nach $\frac{1}{2}$ Stunde gleichzeitig in den Glaskörperraum injiziert wurde, sank der Zufluss in die vordere Kammer innerhalb 1 Minute auf Null herab, während in den Glaskörper eine etwas grössere Menge als zuvor in die vordere Kammer (21 mm) einfloss. Nach zwei Minuten nahm der Einlauf in den Glaskörper wieder sehr rasch ab, bis auf $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$ mm, während der in die vordere Kammer mit fast 13 mm den ursprünglichen Wert nahezu wieder erreichte. Dieses Verhalten kehrte sich nach 10 Minuten wieder in das Gegenteil um, der Einlauf in die vordere Kammer wurde wieder $= 0$ und der in den Glaskörper nahm den gleichen mittleren Wert von ca. 13 mm an. Dieser nahm dann allmählich bis 9,5 mm ab, was dann in völlig gleicher Weise langsam weiterging, sowohl bei alleiniger Injektion in die vordere Kammer, als in den Glaskörper.

Dieser eigentümliche Wechsel des Zuflusses in die beiden Räume des Auges konnte nicht auf Schwankungen des Druckes im Zuflussrohr oder auf Störungen in der Zuleitung der Flüssigkeit beruhen; letztere waren dadurch ausgeschlossen, dass der leiseste Druck auf das Auge die Luftblase in beiden Skalenrohren in Bewegung versetzte, und die völlige Gleichheit des Druckes war dadurch gewährleistet, dass derselbe Manometerapparat gleichzeitig den Druck in beiden Zuleitungen unterhielt. Gegen Versuchsfehler sprach auch der Umstand, dass stets eine Abnahme des Zuflusses in den einen Raum mit einer entsprechenden Zunahme in den anderen zusammenfiel. Die Ursache dieses Verhaltens wurde uns erst klar, als wir einen vergleichenden Versuch an einer mit Flüssigkeit gefüllten Glaskugel anstellten, aus welcher sie, in der oben (S. 24—25) angegebenen Weise, durch einen haarfeinen Glasfaden langsam abtropfte. Die beiden, sonst für das Auge benutzten Kanülen mündeten an verschiedenen Stellen in den gemeinsamen Hohlraum der Kugel ein. Die Einrichtung ist aus nebenstehender Fig. 10 ersichtlich. Der Zweck des Versuches war, zu ermitteln, wie sich der Zulauf durch jede der beiden Kanülen verhält, wenn ein Diaphragma, wie es beim Auge vorhanden ist, vollständig fehlt. Das Verhalten bei Benutzung

dieses Schemas war nun im wesentlichen ganz dasselbe wie beim Auge; es floss in der Regel Flüssigkeit entweder nur durch die eine oder nur durch die andere Kanüle ein, und auch ein Wechsel zwischen beiden Kanülen kam bei einem und demselben Versuche vor. Wir begnügen uns, der Kürze halber, dieses Ergebnis im allgemeinen anzuführen und verzichten auf die Wiedergabe unserer hierher gehörigen Versuchsprotokolle.

Fig. 10.

Diese Beobachtungen sind unschwer zu deuten. Wenn der mittlere Druck in beiden Räumen des Auges genau gleich ist, oder wenn die Flüssigkeit, wie bei unserem Schema, in einen einzigen Raum einfließt, dann hängt es von geringfügigen und mehr zufälligen Umständen ab, ob der Einlauf durch beide Kanülen zugleich oder nur durch eine und durch welche derselben er erfolgt. Der Einlauf durch die eine Kanüle scheint unter Umständen durch Erzeugung von Flüssigkeitswirbeln den durch die andere zu stören. Wenn wir auch annehmen müssen, dass der mittlere Binnendruck überall gleich hoch ist, so schließt dies doch das Vorhandensein von ganz kleinen Druckdifferenzen an verschiedenen Stellen des Inhaltes nicht aus. Dies geht u. a. schon daraus hervor, dass an der Austrittsstelle der Flüssigkeit im Kammerwinkel jedenfalls der Druck um ein Minimum niedriger sein muss, als anderwärts, weil sonst nicht immer neue Flüssigkeit an die Stelle der austretenden nachrücken könnte. Solche minimalen Druckdifferenzen können auch zwischen den Einmündungsstellen beider Kanülen in das Augeninnere vorhanden sein, und in diesem Falle wird der Zufluss natürlich an der Stelle des niedrigeren Druckes erfolgen.

Es ergibt sich also aus diesen Beobachtungen zur Evidenz, dass das Auge, wie man bisher stets angenommen hat, und im Gegensatz zu der Ansicht von Uribe y Troncoso, sich nicht wesentlich anders verhält, als ein einziger mit Flüssigkeit erfüllter Hohlraum, und zwar deshalb, weil das Diaphragma zwischen beiden Abteilungen desselben sehr leicht beweglich und auch für Flüssigkeit leicht durchgängig ist.

VI.

Über die zur Filtration zu verwendende Flüssigkeit.

Wie schon oben berichtet wurde, haben wir zu fast allen Versuchen 1% *NaCl*-Lösung benutzt, weil nach den Untersuchungen von Kunst und von Manca und Deganello der Humor aqueus mit derselben ungetäähr isotonisch ist; die verschiedenen Bestimmungen dieser Autoren schwanken mit geringen Abweichungen um diesen Wert herum¹⁾. Es lässt sich wohl erwarten, dass bei Anwendung dieser Lösung die früher befürchtete Quellung der Gewebe, auch bei länger fortgesetzten Versuchen, ausbleiben oder sich wenigstens nicht störend bemerkbar machen wird. Trotzdem haben wir es für wünschenswert gehalten, auch Versuche mit Humor aqueus vom gleichen Tiere anzustellen, um zuzusehen, ob bei Verwendung dieser sicher ganz indifferenten Flüssigkeit die Erscheinungen im wesentlichen dieselben wären. Diese Erwartung hat sich bei einigen von uns angestellten Versuchen bestätigt gefunden. Wir zweifeln danach nicht, dass der Humor aqueus durch 1% *NaCl*-Lösung ohne merklichen Unterschied der Resultate ersetzt werden kann; wir können es aber nicht sicher beweisen, weil uns keine Methode zu Gebote stand, um an demselben Auge nach einander die Filtration beider Flüssigkeiten unter genau denselben Bedingungen zu bestimmen. Da ein vorhergegangener Abfluss des Kammerinhalts den Einlauf erheblich steigert, so durften wir nicht in der Weise vorgehen, dass wir zuerst die Einlaufsgeschwindigkeit für die eine Flüssigkeit bestimmten und darauf die zuvor entleerte vordere Kammer mit der anderen Flüssigkeit füllten, um die Bestimmung mit dieser zu wiederholen. Hätten wir aber die andere Flüssigkeit ohne vorausgegangene Entleerung der vorderen Kammer einlaufen lassen, so hätten wir es bei der zweiten Bestimmung nicht mit dieser Flüssigkeit, sondern mit einer Mischung beider zu tun gehabt; überdies wäre auch hier wegen der allmählichen Abnahme des Einlaufs im Verlauf der Zeit selbst bei völliger Gleichwertigkeit beider Flüssigkeiten keine wirkliche Gleichheit der einfließenden Mengen zu erwarten gewesen.

So mussten wir uns mit dem Nachweis begnügen, dass die bei verschiedener Temperatur mit Humor aqueus erhaltenen Werte des Einlaufs sich innerhalb gleicher Grenzen bewegten, wie bei Verwendung von 1% *NaCl*-Lösung.

¹⁾ Vgl. Th. Leber, Cirkulations- u. Ernährungsverh. d. Auges. 2. Aufl. S. 213.

Der benutzte Humor aqueus von einer grösseren Zahl von Schweinsaugen wurde entweder von am gleichen Tage geschlachteten Tieren gewonnen, oder, wenn diese nicht ausreichten, einige Tage nach einander in einem sterilisierten Glase mit eingeschliffenem Stöpsel gesammelt und durch einen über der Flüssigkeit angebrachten, mit Chloroform getränkten Wattebausch aseptisch gehalten. Er war anfangs in Folge geringer zelliger Beimengungen leicht opalisierend, wurde aber nach mehrtägigem Stehen völlig klar. Vor der Verwendung wurde er sorgfältig filtriert. Um mit möglichst kleinen Mengen auszureichen und um nicht genötigt zu sein, den Humor aqueus in das Manometer selbst einzuführen, haben wir uns folgender Vorrichtung zur Trennung desselben von der im Manometer befindlichen *NaCl*-Lösung bedient (vgl. Textfig. 11). Ein Glasrohr von etwa 15 mm Weite war in der Form eines umgekehrten U gebogen und auf der Höhe der Biegung mit einem kleinen Ansatz versehen, der durch einen eingeschliffenen Stöpsel sicher zu verschliessen war.

Eine etwaige Lüftung desselben wurde durch ein angehängtes Bleigewicht verhindert. Die unteren Enden des U-Rohrs waren beiderseits in die Höhe gebogen und setzten sich in dünnere Röhren fort, die rechtwinklig abgebogen einerseits zum Manometer, anderseits zum Auge führten. In den einen Schenkel dieses Apparats wurde 1% *NaCl*-Lösung, in den anderen der Humor aqueus bis etwa zur halben Höhe eingegossen. Der übrige Raum wurde mit Petroleum gefüllt und nun der Stöpsel dicht schliessend aufgesteckt und befestigt. Zu Versuchen bei Körpertemperatur konnte der kleine Apparat, wie im folgenden Abschnitt genauer angegeben wird, in einem Wasserbad warm gehalten werden.

Fig. 11.

In einem Versuch bei Zimmertemperatur von 24° C. nahm der Einlauf während 100 Minuten allmählich von 12,5 bis 6,4 mm ab, in einem anderen bei Körpertemperatur (37—38° C.) während 120 Minuten von 16 auf 7,5 mm. Die Werte entsprechen denjenigen, welche wir mit *NaCl*-Lösung erhalten hatten. Nur pflegte bei Verwendung der letzteren der Einlauf bei Körpertemperatur weniger oder gar nicht abzunehmen. Letzteres war übrigens auch in einem Versuche mit Humor aqueus der Fall, wo die Werte des Einlaufs bei 37° C. von vornherein höher waren und während einer Stunde von 22,5 nur bis 19,5 mm abnahmen. Es schien sich hier nur um mehr zufällige Unterschiede zu handeln und ein Einfluss der Versuchsflüssigkeit liess sich in keiner Weise erkennen.

VII.

Über den Einfluss der Temperatur auf die Filtration des Auges.

Da die früheren Versuche an ausgeschnittenen Augen bei gewöhnlicher und nicht bei Körpertemperatur angestellt worden waren, fanden wir uns um so mehr veranlasst, den Einfluss der Temperatur auf die Filtration des Auges zu untersuchen, als die Abhängigkeit der Filtration durch tierische Membranen von der Höhe der Temperatur schon längst durch Versuche erwiesen ist.

W. Schmidt¹⁾ untersuchte den Einfluss der Temperatur auf die Geschwindigkeit der Filtration durch verschiedene tierische Membranen, Dünndarm und Blase vom Kalb und Herzbeutel vom Rind, und fand, dass dieselbe mit der Temperatur zunahm, und zwar entsprechend der von Poiseuille für den Ausfluss aus gläsernen Kapillarröhren aufgestellten Formel. In einer späteren Abhandlung²⁾ erklärt er diese Erscheinung durch die Annahme, dass die wässrige Flüssigkeit mit zunehmender Temperatur beweglicher wird, dass ihre Reibung abnimmt. Wie er berichtet, hat schon 1800 Gerstner angegeben, dass Wasser bei verschiedenen Temperaturen mehr oder weniger flüssig ist. Der von W. Schmidt angewandte Filtrationsdruck war übrigens sehr hoch, er betrug etwa 90 mm *Hg* (1215 bis 1222 mm Wasser).

Wir hatten keine grossen Unterschiede erwartet und fanden nun zu unserem Erstaunen, dass die Temperatur bei Filtrationsversuchen am Auge von sehr bedeutendem Einfluss ist, dass der Einlauf bei Körpertemperatur das 3—4fache von demjenigen beträgt, der bei auf nahezu Null herabgesetzter Temperatur beobachtet wird.

Versuchsmethode.

Zur Untersuchung des Einflusses der Temperatur schalteten wir zwischen Auge und Filtrationsmanometer ein etwa 1 cm weites, U-förmig gebogenes und mit 1% *NaCl*-Lösung gefülltes Glasrohr ein, welches bis nahe an sein oberes Ende in Wasser eingetaucht und dadurch auf der zu dem Versuch gewünschten Temperatur gehalten wurde. Das hierzu dienende Wasser befand sich in einem grossen, runden Blechkasten (vgl. Textfig. 12), welcher innen, dicht oberhalb der Wasserfläche, ein horizontal gerichtetes Brettchen trug. In einem Ausschnitte dieses Brettchens war das Auge befestigt, in einem anderen war das die Filtrationsflüssigkeit enthaltende U-Rohr aufgehängt. Durch den Deckel des Blechkastens reichten zwei Thermometer in den Kasten hinein, um die Temperatur des Wasserbades und des darüber

¹⁾ Über Filtrationsgeschwindigkeit verschiedener Flüssigkeiten durch tierische Membranen. Poggendorfs Ann. Bd. XCIX. S. 337—388 (1856).

²⁾ Über die Beschaffenheit des Filtrates usw. Poggendorfs Annalen. Bd. CXIV (1861).

befindlichen Luftraums zu messen. Der zum Filtrationsmanometer führende Kautschukschlauch ging durch eine kleine Öffnung in der Seitenwand des Blechkastens hindurch. Durch eine untergestellte kleine Flamme konnte das Wasser auf konstanter Temperatur erhalten werden. In anderen Fällen wurde es durch Eis auf niedrige Temperatur gebracht. In manchen Fällen kamen die Augen noch lebenswarm zur Verwendung, in anderen wurden sie bis zum Beginn des Versuchs im Wärmekasten auf der gewünschten Temperatur gehalten, in noch anderen vorher mit Eis gekühlt. Wo nicht das Gegenteil bemerkt ist, wurden, wie bei allen unseren Versuchsreihen, stets vollkommen frische, dem soeben geschlachteten Tier entnommene Augen verwendet.

Die beschriebene, sehr einfache Einrichtung genügte für unsere Zwecke, da es uns nicht darauf ankam, die Temperatur der Filtrationsflüssigkeit und des Augeninneren genau zu messen, und wir nur beabsichtigten, den Einfluss grösserer Temperaturunterschiede auf die Filtration zu prüfen. Wir wählten dazu einmal eine Temperatur von der ungefähren Höhe des Körpers oder etwas darüber, dann eine solche von ca. 0° , und eine mittlere Temperatur, die etwa der des Zimmers bei den früheren Versuchen entsprach.

Bei der Erwärmung der in dem U-Rohr enthaltenen *NaCl*-Lösung entwickeln sich leicht kleine Luftbläschen, was dadurch zu vermeiden ist, dass die Flüssigkeit vorher gekocht wird. Man muss sich hüten, den Versuch zu beginnen, ehe der Inhalt des Rohres eine konstante Temperatur angenommen hat, weil bei Änderungen der Temperatur der Einlauf in das Auge durch Ausdehnung oder Zusammenziehung der Flüssigkeit gestört wird. So kam es uns zuweilen vor, ehe wir auf diesen Umstand achteten, dass die Luftblase in dem Filtrationsrohr, anstatt vorwärts zu gehen, eine rückläufige Bewegung annahm.

Fig. 12.

Wir teilen jetzt einige Versuche mit, welche den Einfluss der Temperatur anschaulich machen.

Versuch 8 vom 19. V. 1905.

Frisches Schweinsauge, von einem 2 Stunden zuvor geschlachteten Tier, bis zum Beginn des Versuches in einem Wärmkasten bei 36° C. gehalten. 1% *NaCl*-Lösung. Filtration zuerst bei erhöhter, dann bei erniedrigter Temperatur.

a. Bei erhöhter Temperatur.

Zeit	Druck in mm Hg	Stand der Luft- blase	Einlauf in cmm	Temp. des Wasser- bades	Temp. der Luft im Wärm- kasten	Bemerkungen
5 Uhr 17	26	133				
— 18	„	312	179	43,75° C.	37° C.	Luftblase zurückge- bracht.
— 19	„	79				
— 20	„	143	64			
— 21	„	179	36			
— 22	„	213	34			
— 23	„	246	33			
— 24	„	279	33			
— 25	„	311	32			Versuch z. Kontrolle der Kautschukver- bindungen unter- brochen, aber alle Verschlüsse gut be- funden:
— 35	25	81				
— 36	„	139,5	58,5	„	„	Luftblase wieder zu- rückgebracht.
— 37	„	164,5	25,0			
— 38	„	187	22,5			
— 39	„	209	22,0			Unterbrechung. Nochmal. Kontrolle ergibt dasselbe Re- sultat wie oben.
— 41	„	211				
— 42	„	264,5	53,5			
— 43	„	287,5	23			
— 44	„	307	19,5			
— 45	„	326	19,0			
— 46	„	344,5	18,5	„	36,5° C.	
— 47	„	362,5	18,0			
— 48	„	380	17,5			
— 49	„	398	18			Luftblase zurückge- bracht.
— 54	„	131				
— 55	„	152	21			
— 56	„	172	20			
— 57	„	192	20			
— 58	„	212,5	20,5			
— 59	„	233	20,5			
6 Uhr 00	„	254	21			
— 01	„	275	21			
— 02	„	295,5	20,5			

Zeit	Druck in mm Hg	Stand der Luft- blase	Einlauf in cmm	Temp. des Wasser- bades	Temp. der Luft im Wärm- kasten	Bemerkungen
6 Uhr 03	25	316,5	21			
— 04	"	337	20,5			
— 05	"	357	20			
— 06	"	377	20			
— 07	"	397	20			Luftblase wieder zu- rückgebracht.
— 08	"	88,5				
— 09	"	111,5	23			
— 10	"	134	22,5			
— 11	"	156,5	22,5			
— 12	"	179	22,5			
— 13	"	201,5	22,5			
— 14	"	223	21,5			
— 15	"	244,5	21,5			
— 16	"	265	21,5			
— 17	"	286,5	21,5			
— 18	"	308	21,5			
— 19	"	329,5	21,5			
— 20	"	349,5	20,0			
— 21	"	367,5	18,0			
— 22	"	388	20,5	43,75° C.	38° C.	Versuch jetzt unter- brochen.

b. Bei erniedrigter Temperatur.

Um den Einfluss niedriger Temperatur zu prüfen, wird jetzt, ohne das Auge von seiner Stelle zu bringen, das warme Wasser aus dem Blechkasten abgehoben und kaltes Wasser mit Eisstückchen eingefüllt, auch auf das Auge ein kleines Eisstückchen gebracht. Die Temperatur wurde erst am Ende des Versuches abgelesen.

Zeit	Druck in mm Hg	Stand der Luftblase	Einlauf in cmm	Temp. des Wasser- bades	Temp. der Luft im Kasten	Bemerkungen
6 Uhr 35	25	114				
— 36	"	131	17			
— 37	"	141,5	10,5			
— 38	"	152,5	11			
— 39	"	161,5	9,0			
— 40	"	170,5	9,0			
— 41	"	178,5	8,0			
— 42	"	186	7,5			
— 43	"	—	7,0			
— 44	"	200	7,0			
— 45	"	207	7,0			
— 46	"	213	6,0			
— 47	"	219,5	6,5			
— 48	"	225,5	6,0			
— 49	"	232	6,5			
— 50	"	238	6,0			
— 51	"	244,5	6,5			

Zeit	Druck in mm Hg	Stand der Luftblase	Einlauf in cmm	Temp. des Wasser- bades	Temp. der Luft im Kasten	Bemerkungen
6 Uhr 52	25	250	5,5			
— 53	„	256,5	6,5			
— 54	„	262,5	6,0			
— 55	„	268	5,5			
— 56	„	274	6,0			
— 57	„	279,5	5,5			
— 58	„	285,5	6,0			
— 59	„	291	5,5			
7 Uhr 00	„	297	6,0			
— 01	„	302,5	5,5			
— 02	24	308,5	6,0			Druck wieder auf 25 mm Hg erhöht.
— 03	25	317,5	9,0			
— 04	„	324	6,5			
— 05	„	330	6,0			
— 06	„	336	6,0			
— 07	„	342	6,0			
— 08	„	348	6,0			
— 09	„	354	6,0			
— 10	„	360	6,0			
— 11	„	365	5,0			
— 12	„	371,5	6,5			
— 13	„	377	5,5			
— 14	„	383	6,0			
— 15	„	388,5	5,5			
— 16	„	394,5	6,0	6° C.	7° C.	

Versuch 9 vom 23. V. 1905.

Frisches Schweinsauge, 3 Stunden p.m. Druck 25 mm Hg. Filtration
zuerst bei erniedrigter, dann bei erhöhter Temperatur.

a. Bei erniedrigter Temperatur.

Zeit	Temperatur im Wasserbad	Temperatur der Luft im Kasten	Einlauf in cmm
5 Uhr 59	0° C.	9° C.	7,0
6 Uhr 00	„	„	79
— 01	„	„	166
— 02	„	„	17
— 03	„	„	10,0
— 04	„	„	9,0
— 05	„	„	8,0
— 06	„	„	—
— 07	„	„	8,0
— 08	„	„	8,5
— 09	„	„	8,5
— 10	„	„	8,5
— 11	„	„	8,0
— 12	„	„	9,0
— 13	„	„	8,5
— 14	„	„	8,5

Zeit	Temperatur im Wasserbad	Temperatur der Luft im Kasten	Einlauf in cmm
6 Uhr 15	0° C.	9° C.	8,5
— 16	„	„	8,5
— 17	„	„	8,5
— 18	„	„	8,5
— 19	„	„	8,0
— 20	„	„	8,0
— 21	„	„	8,5
— 22	„	„	8,0
— 23	„	„	8,5
— 24	„	„	8,0
— 25	„	„	8,5
— 26	„	„	8,0
— 27	„	„	8,0
— 28	„	„	8,0
— 29	„	„	8,0
— 30	„	„	8,0
— 31	0° C.	10° C.	8,0
— 32	„	„	8,0
— 33	„	„	8,0
— 34	„	„	8,0
— 35	„	„	8,0
— 36	„	„	8,0
— 37	„	„	8,0
— 38	„	„	8,0
— 39	„	„	8,0
— 40	„	„	8,0

Versuch unterbrochen. Die Flüssigkeit im Wasserbade rasch erwärmt und, nachdem die gewünschte Temperatur erreicht ist, der Versuch fortgesetzt.

b. Bei erhöhter Temperatur.

Zeit	Temperatur im Wasserbad	Temperatur der Luft im Kasten	Einlauf in cmm
7 Uhr 03	37,5° C.	33,5° C.	13,5
— 04	„	„	17
— 05	„	„	18
— 06	„	„	20,5
— 07	„	„	21,0
— 08	„	„	—
— 09	„	„	30
— 10	„	„	30
— 11	„	„	30
— 12	„	„	32
— 13	„	„	31
— 14	„	„	34
— 15	„	„	31
— 16	„	„	32
— 17	„	„	32

Die geringeren Anfangswerte beruhen wohl darauf, dass die Filtrationsflüssigkeit und das Augennere noch nicht die später erreichte Temperatur angenommen hatten.

Im Versuch 8 betrug also der Einlauf bei nahezu 44° C. etwa das $3\frac{1}{2}$ -fache von dem bei 6° C., im Versuch 9 bei $37,5^{\circ}$ C. das 4fache von dem bei 0° C.

Wir lassen jetzt noch einen Versuch bei einem frischen, normalen menschlichen Auge folgen, welcher gleichfalls einen sehr erheblichen Einfluss der Temperatur erkennen lässt, und der vielleicht später auch für die Ermittlung der normalen Filtration beim menschlichen Auge verwertet werden könnte.

Versuch 10 vom 25. V. 1905

an einem normalen menschlichen Auge (von dreijährigem Kinde), erhalten durch Exenteration der Orbita wegen Sarkomrezidiv. Bulbus sogleich in den Wärmkasten gebracht und bis zu dem Versuch, der $1\frac{1}{2}$ Stunde später begann, bei 35° C. gehalten. Zum Einlauf diente gut filtrierte $1\frac{0}{10}$ NaCl-Lösung.

a. Filtration bei vitaler Temperatur:

Zeit	Druck in mm Hg	Temperatur der Luft im Kasten	Temperatur des Wasserbades	Einlauf in cmm
10 Uhr 58	26	33° C.	37° C.	
— 59				8,5
11 Uhr 00				9
— 01				8,5
— 02	26	33° C.	$36,6^{\circ}$ C.	8,5
— 03				7,5
— 04				7,5
— 05				7,5
— 06				6,5
— 07				6,5
— 08				5,5
— 09				5,5
— 10	26	35° C.	$38,2^{\circ}$ C.	5,5
— 11				6,0
— 12				7,0
— 13				7,0
— 14				7,5
— 15				7,5
— 16				7,5
— 17				7,0
— 18	25,5	$34,5^{\circ}$ C.	$38,2^{\circ}$ C.	7,5
— 19				6,0
— 20				7,5
— 21				8,0
— 22				7,0
— 23				7,5
— 24				7,0
— 25				7,0
— 26	26	35° C.	$37,8^{\circ}$ C.	7,0
— 27				7,0
— 28				7,0

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Temperatur der Luft im Kasten	Temperatur des Wasserbades	Einlauf in cmm
11 Uhr 29	25,5			6,5
— 30				7,0
— 31				6,5
— 32				7,0
— 33				6,5
— 34				7,0
— 35				6,5
— 36				6,5
— 37				6,5
— 38				6,0
— 38	(Luftblase zurückgebracht)			
— 39	28	34,5° C.	37,4° C.	
— 40				7,0
— 41				7,5
— 42				7,5
— 43				7,0
— 44				7,5
— 45				7,0
— 46				7,0
— 47	27	34,5° C.	37,2° C.	7,5
— 48				7,0
— 49				7,0
— 50				7,0
— 51				6,5
— 52				7,0
— 53				6,5
— 54				7,0
— 55				6,5
— 56	26,5	34,5° C.	37,0° C.	6,5
— 57				6,5
— 58				6,5
— 59				6,0
12 Uhr 00				6,0
— 01				5,5
— 02				5,0
— 03				5,0
— 04				5,0
— 05	26,5	34,0° C.	37,5° C.	5,0

Der Versuch wird jetzt unterbrochen, das warme Wasser aus dem Kasten entleert und durch mit Eis gekühltes Wasser ersetzt.

b. Filtration bei erniedrigter Temperatur:

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Temperatur der Luft im Kasten	Temperatur des Wasserbades	Einlauf in cmm
12 Uhr 25	27	10° C.	0,2° C.	
— 26				3,0
— 27				3,0
— 28				3,0

Zeit	Druck in mm Hg	Temperatur der Luft im Kasten	Temperatur des Wasserbades	Einlauf in cmm
12 Uhr 29	27	9° C.	0,15° C.	2,5
— 30				2,5
— 31				2,25
— 32				2,0
— 33				2,0
— 34	26,5	9° C.	0,15° C.	2,0
— 35				1,75
— 36				2,0
— 37				1,75
— 38				1,75
— 39	26,5	9° C.	0,2° C.	1,5
— 40				1,75
— 41				1,75
— 42				1,5
— 43				1,5
— 44	26,5	9° C.	0,2° C.	1,75
— 45				1,5
— 46				1,5
— 47				1,5
— 48				1,75
— 49	26,5	9° C.	0,2° C.	1,5
— 50				1,5
— 51				1,75
— 52				1,75
— 53				1,5
— 54	26,5	9° C.	0,2° C.	1,5
— 55				1,75
— 56				1,75
— 57				1,5
— 58				1,5
— 59	26,5	9° C.	0,2° C.	1,75
1 Uhr 00				1,5
— 01	26,5	9° C.	0,2° C.	1,75

Die hier gefundenen Unterschiede können nicht auf vitale Einflüsse, etwa auf ungleichen Kontraktionszustand der Blutgefäße, bezogen werden, da ganz dasselbe Verhalten auch bei Versuchen an kadaverösen Augen wiederkehrt. Zum Belege führen wir den folgenden Versuch an, in welchem die Filtration nach einander bei drei verschiedenen Temperaturen bestimmt wurde.

Versuch 11 vom 24. V. 1905.

Schweinsauge, 26 Stunden p. m. 1% NaCl-Lösung. Druck 26 mm Hg. Abgekürztes Protokoll.

a. Filtration bei stark erniedrigter Temperatur von 0,4 bis 0,1° C.:

Zeit	Einlauf	Zeit	Einlauf	Zeit	Einlauf
5 Uhr 10	27,5	5 Uhr 13	12,5	5 Uhr 16	9,0
— 11	18	— 14	11	— 17	9,0
— 12	13,5	— 15	9,5	— 18	9,0

Zeit	Einlauf	Zeit	Einlauf	Zeit	Einlauf
5 Uhr 19	8,0	5 Uhr 32	6,5	5 Uhr 45	7,0
— 20	8,0	— 33	7,5	— 46	7,0
— 21	8,0	— 34	7,5	— 47	7,0
— 22	8,0	— 35	8,0	— 48	6,5
— 23	8,0	— 36	7,5	— 49	7,0
— 24	7,0	— 37	8,0	— 50	6,5
— 25	7,5	— 38	7,5	— 51	7,0
— 26	7,5	— 39	7,5	— 52	6,5
— 27	7,5	— 40	7,5	— 53	6,5
— 28	—	— 41	7,0	— 54	6,5
— 29	10	— 42	7,0	— 55	6,5
— 30	9	— 43	7,0		
— 31	8,5	— 44	7,5		

b. Bei vitaler Temperatur von 36,4 bis 39° C.:

6 Uhr 22	16	6 Uhr 35	—	6 Uhr 48	—
— 23	17,5	— 36	24,5	— 49	23,5
— 24	16,0	— 37	24,5	— 50	23,0
— 25	16,0	— 38	24,5	— 51	23,0
— 26	16,5	— 39	24,5	— 52	22,0
— 27	16,5	— 40	23,5	— 53	21,5
— 28	17,5	— 41	23,5	— 54	21,0
— 29	17,5	— 42	23,0	— 55	20,5
— 30	19,0	— 43	23,0	— 56	20,0
— 31	20,0	— 44	22,0	— 57	20,0
— 32	21,5	— 45	22,0	— 58	20,0
— 33	21,5	— 46	22,5	— 59	19,5
— 34	22,0	— 47	21,0	7 Uhr 00	19,0

c. Bei mittlerer Temperatur von 14,6° C.:

7 Uhr 18	15	7 Uhr 27	11,0	7 Uhr 36	10,5
— 19	14,5	— 28	11,0	— 37	10,5
— 20	13,0	— 29	11,0	— 38	9,5
— 21	12,5	— 30	9,0	— 39	—
— 22	12,5	— 31	12,5	— 40	11,0
— 23	12,5	— 32	11,5	— 41	10,5
— 24	12,0	— 33	10,0	— 42	10,5
— 25	12,0	— 34	10,0	— 43	10,5
— 26	11,5	— 35	11,0	— 44	10,5

Der Einfluss der Temperatur tritt hier auf das deutlichste hervor; berechnet man die mittleren Werte des Einlaufs von der Zeit ab, wo derselbe sich nicht mehr viel änderte, so erhält man

für die Temperatur von nahezu 0° C. 7 mm,
 „ „ „ von im Mittel 37,7° C. 20 mm
 und „ „ „ von 14,6° C. ca. 10 mm.

Da also vitale Einflüsse ausgeschlossen sind, und es sich nur um eine physikalisch bedingte Erscheinung handeln kann, so war sogleich zu vermuten, dass die Ursache dieselbe sein werde, wie sie von W. Schmidt für den gleichen Einfluss der Temperatur auf die Filtration durch tierische Membranen angenommen worden ist, nämlich eine

Verminderung der inneren Reibung, eine grössere Beweglichkeit der Flüssigkeitsteilchen. Wir machten daher eine Reihe von Bestimmungen der sog. Viskosität der in Betracht kommenden Flüssigkeiten, 1% *NaCl*-Lösung und Humor aqueus vom Schweinsauge, bei Temperaturen, die zwischen 0 und 40° C. variierten. Die dazu benutzte Methode und der Apparat sind dieselben, welche von Dr. Pilzecker früher schon zu Bestimmungen der Viskosität der Galle benutzt¹⁾ und zuerst von André Mayer im Jahrgang 1901 der *Compt. rend. de la soc. de Biolog.* beschrieben worden sind. Die Methode ist leicht ausführbar und gibt bei einiger Übung sehr gut mit einander übereinstimmende Resultate. Sie besteht einfach darin, dass sehr genau die Zeit bestimmt wird, in welcher die in einem U-förmig gestalteten Glasapparat befindliche Flüssigkeit vermöge der Schwere aus der einen Kugel in die andere bis zu einer bestimmten Marke übertritt.

Zwei kleine Glaskugeln (Fig. 13) sind so an ein U-förmiges Kapillarrohr angeschmolzen, dass der tiefste Punkt der einen, der Aufnahmekugel, im gleichen Niveau steht wie der oberste Punkt der zweiten Kugel. Die

Fig. 13.

Kapazität der Aufnahmekugel beträgt einschliesslich des U-förmigen Rohrs für unser Viskosimeter 2,2 ccm. Diese Menge der Flüssigkeit wurde abgemessen, in die Aufnahmekugel eingebracht und durch den Druck eines auf die Verlängerung des Kapillarrohrs oberhalb der zweiten Kugel gesteckten Gummiballons so festgehalten, dass in dem rechts gelegenen Schenkel der höchste Punkt der am Abfließen verhinderten Flüssigkeit eben den Fuss der zweiten Kugel berührte. An der Fünftel-Sekunden-Uhr wurde nun der Moment abgelesen, in welchem der Druck auf den Gummiballon aufgehoben wurde. Sogleich lief die Flüssigkeit aus der Aufnahmekugel in die tiefer gelegene zweite Kugel ab. In dem Moment nun, wo auf der linken Seite die Flüssigkeit eben die Aufnahmekugel verlassen hatte und ihr Niveau mit der tiefsten Stelle derselben zusammenfiel, wurde die Uhr arretiert und die Zeit abgelesen. Durch vorsichtigen Druck auf den Gummiballon kann man die Flüssigkeit alsdann wieder zurückbringen und den Vorgang mit derselben Flüssigkeit wiederholen. Wir haben jedesmal fünf Bestimmungen gemacht, die nur um wenige Zehntel einer Sekunde unter einander differierten, und das arithmetische Mittel daraus genommen.

Der vorher festgestellte Viskositätswert für destilliertes Wasser, gemessen im Bade von 40° C., ergab für unseren Apparat genau 20,0 Sek.

¹⁾ Gallen-Untersuchungen nach Phosphor- und Arsenvergiftung. *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XLI. Heft 1 u. 2 (1904).

Da die zur Fortbewegung der Flüssigkeit erforderlichen Zeiten um so grösser sind, je geringer die Beweglichkeit und je grösser die Viskosität (Klebrigkeit) der Flüssigkeit ist, so geben die Zahlen ein direktes Mass für die Viskosität ab.

Es wurde gefunden

a. für 1% *NaCl*-Lösung

	Viskosität (in Sek.)
bei 0,5° C.	52,2
„ 4,0° C.	48,8
„ 10° C.	42,1
„ 15° C.	36,2
„ 20° C.	33,1
„ 24° C.	30,62
„ 28° C.	27,74
„ 37° C.	23,04
„ 40° C.	21,46,

b. für Humor aqueus vom Schwein (aus einer grösseren Zahl von Augen gesammelt und unter einem Chloroformtampon gut verschlossen aseptisch aufbewahrt)

bei 24° C.	30,2
„ 38° C.	23,3.

Wie man sieht, sind die Zahlen so nahe übereinstimmend, dass die Viskosität beider Flüssigkeiten ohne merklichen Fehler für gleich angenommen werden kann.

Es ergibt sich, dass bei 0,5° C. die Viskosität fast $2\frac{1}{2}$ mal grösser ist, als bei 40° C., dass also die 1% *NaCl*-Lösung bei Erwärmung von 0,5 auf 40° C. nahezu $2\frac{1}{2}$ mal beweglicher wird.

Natürlich können diese Resultate nicht unmittelbar auf die Einlaufgeschwindigkeiten bei unseren Versuchen übertragen werden; sie zeigen aber doch einen so erheblichen Einfluss der Temperatur auf die Bewegung unserer Flüssigkeiten, und die durch Temperaturerhöhung bewirkten Steigerungen des Einlaufs in das Auge stimmen in ihrer Grösse damit so nahe überein, dass als Ursache der uns beschäftigenden Erscheinung unbedenklich die durch die Temperatur bewirkte Zunahme der Beweglichkeit der Flüssigkeit angenommen werden darf.

Es ergibt sich also aus diesen Beobachtungen, dass zur Erlangung richtiger Resultate über die Grösse der normalen Filtration des lebenden Auges die Temperatur berücksichtigt werden muss, was bisher nicht geschehen war, dass also die Versuche nicht bei gewöhnlicher Temperatur, sondern unter dem normalen Verhalten möglichst gleich-

kommenden Temperaturverhältnissen angestellt werden müssen. Wir werden im X. Abschnitt durch Versuche, in denen die Menge des Filtrates direkt bestimmt wurde, noch den Beweis erbringen, dass die durch Temperaturunterschiede bewirkten Änderungen des Einlaufs wirklich von einem Einfluss der Temperatur auf die Filtration abhängen.

Es fragt sich nun weiter, ob auch die oben besprochene Abnahme des Einlaufs, welche während eines und desselben Versuches eintreten pflegt, auf Temperaturdifferenzen zu beziehen ist. Es lässt sich nicht in Abrede stellen, dass in Fällen, wo die Augen im Beginn des Versuchs noch lebenswarm sind, besonders wenn die äussere Temperatur relativ niedrig ist, durch die allmählich zunehmende Abkühlung die Filtration merklich vermindert werden kann. Es kommt zwar wesentlich auf die Temperatur der filtrierenden Flüssigkeit an; wird aber niedriger temperierte Flüssigkeit benutzt, so wird diese, so lange das Auge noch lebenswarm ist, darin eine gewisse Erwärmung erfahren, und diese Temperaturzunahme wird bei der natürlichen Abkühlung des Auges immer geringer werden und zuletzt aufhören. Es war uns auch aufgefallen, dass wir während der Sommermonate, wo die Temperatur fortwährend sehr hoch war, und bei Benutzung soeben vom Schlachthof geholter Augen, eine viel geringere Abnahme des Einlaufs während der Dauer des Versuches beobachteten, als dies früher in der kühleren Jahreszeit der Fall gewesen war.

Bei Versuchen mit besonders hohem Einlauf blieb diese Abnahme oft geradezu aus, und der Einlauf nahm bald einen annähernd konstanten Wert an. Um uns hierüber noch mehr zu versichern, haben wir noch einen Versuch im Wasserbade bei einer Temperatur der Kühlflüssigkeit von 12° C. angestellt. Derselbe gab in der Tat das erwartete Resultat, indem der Einlauf während der einstündigen Dauer des Versuchs, von nebensächlichen Schwankungen abgesehen, zunächst ziemlich bald auf etwa 9 cmm zurückging und von da ganz allmählich weiter abnahm bis 7, 6,5, 6 und zuletzt bis 5,5 cmm, wo er sich 6 Minuten hindurch unverändert erhielt.

Trotzdem kann die in Rede stehende Erscheinung der allmählichen Abnahme des Einlaufs der Hauptsache nach nicht auf Herabsetzung der Temperatur beruhen, da sie auch unter Umständen auftrat, wo von einer solchen gar nicht die Rede sein konnte. Man sollte schon erwarten, dass in Versuchen, wie der zuletzt angeführte, das Augeninnere ziemlich bald die Temperatur der Umgebung annehmen würde, worauf dann der Einfluss der Temperaturerniedrigung

sein Ende erreicht haben müsste. Ganz dieselbe Abnahme des Einlaufs trat aber im Verlauf des Versuches beispielshalber auch in Fällen ein, wo ein Auge erst nach 24stündiger Aufbewahrung zum Versuch benutzt und wo gar keine künstliche Temperaturveränderung des Auges oder der Injektionsflüssigkeit vorgenommen wurde. Es muss der fraglichen Erscheinung also eine andere Ursache zu Grunde liegen, deren Wirkung je nach Umständen durch Temperatureinflüsse gesteigert oder vermindert werden kann.

VIII.

Einfluss vorübergehender Entspannung oder Druckerhöhung auf den Einlauf bei Filtrationsversuchen am Auge. Vergleichende Versuche mit Membranen und Tonfiltern.

Es war uns aufgefallen, dass die nach nur kurzer Unterbrechung des Zuflusses in das Auge eintretende Flüssigkeitsmenge gewöhnlich etwas grösser war als zuvor, dass diese Zunahme noch einige Zeit hindurch andauerte, und dass der Einlauf erst ganz allmählich wieder zu dem früheren Werte absank. Es wurde dies ganz regelmässig beobachtet, wenn die Luftblase an das Ende des Filtrationsrohrs gekommen war und wieder auf den Anfang desselben zurückgeführt werden musste, und wenn dabei der zum Auge führende Hahn geschlossen wurde. Die geringe Entspannung des Auges, welche während dieser kaum eine Minute Zeit in Anspruch nehmenden Prozedur eintrat, hatte also eine Zunahme des Einlaufs zur Folge, die oft 4—5, zuweilen aber selbst 15 Minuten oder noch länger vorhielt, und in der geringen Erhöhung des Manometerdruckes, die durch die Zurückführung der Luftblase bewirkt wurde, keine genügende Erklärung fand.

Wir sahen uns daher veranlasst, direkte Versuche über den Einfluss einer vorhergegangenen Entspannung oder Drucksteigerung auf den Einlauf in das Auge anzustellen, an welche wir dann zum Vergleich auch entsprechende Versuche mit verschiedenen Membranen und Filtern anschlossen.

Es zeigte sich in der Tat, dass eine längere Zeit hindurch fortgesetzte Druckherabsetzung zur Folge hat, dass bei der nun wieder aufgenommenen Injektion in der Zeiteinheit erheblich mehr Flüssigkeit in das Auge hineingeht, und dass diese Zunahme des Einlaufs lange Zeit hindurch fort dauern kann. Selbstverständlich handelt es sich hier nicht um Ersatz derjenigen Flüssigkeitsmenge, welche aus dem Auge

austrat, als der Zufluss vom Manometer aufgehoben und der Abfluss nach aussen freigegeben war; dieser Betrag wurde zunächst wieder in das Auge eingeführt und der Druck auf die frühere Höhe gebracht. Obwohl man also anzunehmen berechtigt wäre, dass das Auge wieder denselben Füllungszustand hatte wie zuvor, und obwohl, wie unsere im III. und IV. Abschnitt mitgeteilten Versuche gezeigt haben, der Druck im Auge schon alsbald wieder die im Manometer herrschende Höhe annimmt, geht doch lange Zeit hindurch weit mehr Flüssigkeit in das Auge hinein, als vor der Periode der Entspannung.

Eine zeitweise Drucksteigerung zog das entgegengesetzte Verhalten nach sich; für diese gilt *mutatis mutandis* dasselbe. Auch nachdem der Flüssigkeitsüberschuss, der im Auge bei dem Übergang von einem hohen zu einem niedrigen Druck vorhanden ist, das Auge wieder verlassen hatte, blieb der Einlauf längere Zeit geringer als er vor der Periode der Drucksteigerung bei demselben niedrigeren Druck gewesen war.

Die folgenden Versuche werden dieses Verhalten veranschaulichen.

Versuch vom 8. VI. 1905.

Frisches Schweinsauge. 1% *NaCl*-Lösung. Zimmertemperatur von 20,3 bis 20,6° C.

Der erste Teil dieses Versuches wurde schon im I. Abschnitt, S. 9, mitgeteilt, weshalb wir ihn hier nur abgekürzt rekapitulieren.

a. Erste Periode, vor der Entspannung.

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Einlauf in der Min. in cmm	Zimmer- temperatur
5 Uhr 51	26	13,4	20,3° C.
— 52	„	11,0	
— 53	„	9,0	
— 54 bis 55	„	je 7,5	
— 56 bis	„		
6 Uhr 2	„	zwischen 6,5 und 5,5	20,6° C.
— 3 bis	26—25		
— 21	„	zwischen 5,5 und 5,0	
— 23 bis			
— 37	27	zwischen 6,5 und 5,5	
— 38 bis	26	konstant 6,0	
— 51	„		

b. Zweite Periode.

Der Zufluss zum Auge wurde nun für 12 Minuten unterbrochen und durch Öffnung eines seitlich angebrachten Hahnes der Druck im Auge auf

Null herabgesetzt, wobei die Cornea collabierte. Nach 12 Minuten wird der seitliche Hahn wieder geschlossen und der zum Manometer geöffnet und durch Eintreiben von Flüssigkeit mit der kleinen Spritze *G* der frühere Druck von 26 mm *Hg* im Auge wiederhergestellt, was sehr rasch geschieht. Hierauf wird der Zufluss durch das Filtrationsrohr wieder freigegeben.

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Einlauf in cmm	Zimmer- temperatur
7 Uhr 03	26		20,6° C.
— 04	„	15,5	
— 05	„	15,5	
— 06	„	13,5	
— 07	„	11,5	
— 08	„	10,0	
— 09	„	10,5	
— 10	„	9,5	
— 11	„	10,0	
— 12	„	10,0	
— 13	„	9,5	
— 14	„	9,5	
— 15	„	9,0	
— 16	„	9,5	
— 17	„	9,0	
— 18	„	9,0	
— 19	„	9,5	
— 20	„	9,0	
— 21	„	8,5	
— 22	„	9,0	
— 23	„	9,0	
— 24	„	8,5	
— 25	„	8,5	
— 26	„	9,0	
— 27	„	8,5	
— 28	„	9,0	
— 29	„	8,5	

c. Dritte Periode.

Die Leitung zum Auge wird nochmals unterbrochen und der Druck in demselben für 5 Minuten auf Null herabgesetzt; dann der Einlauf bei 27 mm *Hg* Druck wieder begonnen, wie bei der zweiten Periode.

Zeit	Druck in mm <i>Hg</i>	Einlauf in cmm	Zimmer- temperatur
7 Uhr 34	27		20,6° C.
— 35	„	15,5	
— 36	„	11,5	
— 37	„	10,0	
— 38	„	11,0	
— 39	„	9,5	
— 40	„	9,5	
— 41	„	9,5	
— 42	„	9,5	
— 43	„	9,0	
— 44	„	9,0	
— 45	„	9,0	
— 46	„	9,5	

Zeit	Druck in mm Hg	Einlauf	Zimmer- temperatur
7 Uhr 47	27	8,5	20,6° C.
— 48	„	8,5	
— 49	„	8,5	
— 50	„	9,0	
— 51	„	8,0	
— 52	„	8,0	
— 53	„	9,0	
— 54	„	8,0	
— 55	„	8,5	

Der vorstehende Versuch zeigt, dass, nachdem in der ersten Periode der Einlauf 13 Minuten lang vollkommen konstant, auf 6 mm in der Minute, geblieben war, eine 12 Minuten dauernde Herabsetzung des Augendruckes auf Null denselben wieder auf 15,5, also auf mehr als das $2\frac{1}{2}$ fache steigerte, dass er nach 26 Minuten immer noch 8,5 mm in der Minute betrug und dass die nun folgende Entspannung des Auges von nur 5 Minuten Dauer wieder fast genau dieselben Folgen nach sich zog.

Das Gegenstück zu diesem Versuche bildet ein anderer, vom 25. Juli 1905, bei welchem 10 Minuten nach seinem Beginn der Einlauf bei 26 mm Hg-Druck 20,5 mm betrug. Nachdem nun der Druck 22 Minuten lang auf 50 mm gesteigert gewesen war, betrug bei Herabsetzung desselben auf 28 mm Hg der Einlauf anfangs nur 4 mm, um sich dann innerhalb 4 Minuten auf ungefähr 15 mm zu heben.

Weiterhin wurde der Manometerdruck auf 11—12 mm Hg herabgesetzt, und nachdem der dabei erfolgende geringe Einlauf einige Zeit hindurch beobachtet worden war, 10 Minuten lang auf 64 mm gesteigert, wobei der Einlauf entsprechend zunahm. Als nun der Druck wieder auf 11 mm gebracht wurde, trat zunächst während 1—2 Minuten der im Auge vorhandene Überschuss an Flüssigkeit in das Manometer zurück; dann blieb die Flüssigkeit 3—4 Minuten hindurch ganz in Ruhe, und die folgenden Werte des Einlaufs hielten sich lange Zeit auf weit geringerer Höhe als zuvor bei demselben Manometerdruck.

Es ergibt sich also, dass die Menge der in der Zeiteinheit in das Auge einlaufenden Flüssigkeit unter sonst gleichen Verhältnissen wesentlich beeinflusst wird durch den vorhergegangenen Spannungszustand des Auges. Diese Erfahrung gibt uns nun auch im wesentlichen die Erklärung für die im Verlaufe eines Versuches erfolgende Abnahme des Einlaufs in das Auge, welche im I. Abschnitt besprochen wurde und die uns im Unsicheren liess, welche

Werte des Einlaufs wir als die der normalen Filtration entsprechen zu betrachten hätten. Diese Erscheinung ist offenbar auf die Entspannung des Auges zu beziehen, welche nach dem Tode durch das Aufhören des Blutkreislaufs und die Fortdauer der Filtration bewirkt wird. Nach unseren Versuchen muss diese Entspannung zur Folge haben, dass, wenn wir an einem solchen Auge bei wiederhergestelltem normalem Druck filtrieren lassen, die Werte des Einlaufs zu hoch ausfallen, und dass wir, um möglichst richtige Resultate zu erhalten, entweder abwarten müssen, bis das Absinken des Einlaufs sein Ende erreicht hat, oder dass wir zu versuchen haben, ob sich die postmortale Entspannung des Auges verhüten lässt.

Als nächstliegende Erklärung für das beschriebene Verhalten bot sich uns die Annahme dar, dass die beobachteten Änderungen der Menge des Einlaufs von Änderungen der Filtration herrührten, dass also die in der Zeiteinheit stattfindende Filtration des Auges durch eine vorhergegangene Entspannung gesteigert, durch eine Spannungserhöhung dagegen vermindert werde. Diese Annahme drängte sich uns um so mehr auf, als Runeberg¹⁾ bei seinen Versuchen über die Filtration durch tierische Membranen ein ganz ähnliches Verhalten beobachtet hat. Er fand, dass die Filtrationsgeschwindigkeit bei demselben Druck wesentlich verschieden ist, je nachdem vorher ein höherer oder niedrigerer Druck oder auch völlige Druckentlastung auf die Membran eingewirkt hat. Sie ist grösser als vorher, wenn die Membran inzwischen unter dem Einfluss eines niedrigeren Druckes oder von Druckentlastung gestanden hat, und kleiner als vorher, wenn in der Zwischenzeit ein höherer Druckgrad eingewirkt hat. Die Filtrationsgeschwindigkeit wurde jedesmal aus der während einer bestimmten Zeit, z. B. 2 Stunden, durch die Membran hindurchgegangenen Flüssigkeitsmenge berechnet. Die Druckhöhen schwankten in seinen Versuchen meistens zwischen 10 und 40 cm Wasser (7,4—30 mm Hg), entsprachen also, wenigstens zum Teil, denen der unserigen; die Zeit, während deren kein Druck auf der Membran lastete, betrug aber 15 Stunden. Die Versuche sind also mit den unserigen, bei denen nur ganz kurz dauernde Entspannungen vorkamen, nicht direkt vergleichbar. Wir haben daher, um die Wirkung der letzteren zu prüfen, ganz entsprechende Versuche wie am Auge auch mit Membranen angestellt, und zwar mit Blase vom

¹⁾ Runeberg, Über die Filtration von Eiweisslösungen durch tierische Membranen. Arch. d. Heilk. Bd. XVIII. (1877.)

Schwein und mit vegetabilischem Pergamentpapier. Die Membranen wurden auf das freie Ende eines Trichterkölbchens fest aufgebunden und das in das Kölbchen auslaufende Glasrohr mit dem Filtrationsmanometer in Verbindung gebracht; genau wie bei dem Auge wurde alsdann der bei einem bestimmten Druck, gewöhnlich bei 25 mm *Hg*, erfolgende Einlauf von Minute zu Minute abgelesen.

Das Verhalten war sowohl mit Blase, womit übrigens nur ein Versuch angestellt wurde, als bei zahlreichen Versuchen mit vegetabilischem Pergamentpapier ganz dem beim Auge entsprechend; der Einlauf nahm dabei ebenfalls langsam und allmählich ab, und nach jeder Entspannung der Membran war bei dem früheren Druck eine Zunahme des Einlaufs zu konstatieren, die sich erst nach einiger Zeit allmählich wieder verlor.

Wir führen als Beispiel folgenden Versuch mit vegetabilischem Pergamentpapier an:

Versuch XIII, vom 8. VI. 1905.

Messung des Einlaufs aus dem Filtrationsmanometer in ein mit einer Membran aus vegetabilischem Pergamentpapier verschlossenes Trichterkölbchen. Das Kölbchen ist mit 1% *NaCl*-Lösung gefüllt. Während des Versuchs wird die Membran, um die Verdunstung zu verhindern, in eine Schale mit derselben Flüssigkeit eingetaucht erhalten.

a. Erste Periode, von 49 Minuten.

Druck in mm <i>Hg</i>	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in mm
26	20,5° C.	10 Uhr 36	
		— 37	6,5
		— 38	5,0
		— 39	4,5
		— 40	4,0
		— 41	4,0
		— 42	3,5
		— 43	3,5
		— 44	3,0
		— 45	3,5
		— 46	3,0
		— 47	3,0
		— 48	2,5
		— 49	3,0
		— 50	2,5
		— 51	2,5
		— 52	2,5
		— 53	2,5
		— 54	2,5
		— 55	2,0
		— 56	2,5
		— 57	2,5

Druck in mm Hg	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
25,5	21° C.	10 Uhr 58	2,0
		— 59	2,0
		11 Uhr 00	2,5
		— 01	2,0
		— 02	2,0
		— 03	2,0
		— 04	2,0
		— 05	2,0
		— 06	2,5
		— 07	2,0
		— 08	2,0
		— 09	2,0
		— 10	2,0
		— 11	2,0
		— 12	2,0
		— 13	1,5
		— 14	1,5
		— 15	2,0
		— 16	1,5
		— 17	1,5
		— 18	2,0
		— 19	2,0
		— 20	1,5
		— 21	2,0
		— 22	1,5
		— 23	2,0
		— 24	1,5
		— 25	1,5

Trichterkölbehen jetzt vom Manometer abgeschlossen und der auf die Membran ruhende Druck auf Null herabgesetzt.

Nach 30 Minuten Druck wieder auf 26 mm Hg gebracht und Versuch fortgesetzt.

b. Zweite Periode, von 23 Minuten.

Druck in mm Hg	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
26	21° C.	11 Uhr 55	
		— 56	104,5 ¹⁾
		— 57	6,5
		— 58	4,5
		— 59	3,0
		12 Uhr 00	2,0
		— 01	2,0
		— 02	2,0
		— 03	2,0
		— 04	2,0
		— 05	1,5
		— 06	2,0
		— 07	1,5

¹⁾ Grosser Füllungswert in Folge der vorhergegangenen Entspannung.

Druck in mm <i>Hg</i>	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
26	21° C.	12 Uhr 08	1,5
		— 09	2,0
		— 10	1,5
		— 11	1,5
		— 12	1,5
		— 13	— ¹⁾
		— 14	2,0
		— 15	2,0
		— 16	2,0
		— 17	1,5
		— 18	1,5

Nach Schluss der Periode b wird wieder vom Manometer abgeschlossen, und die Membran 10 Minuten lang bei 0 Druck entspannt gehalten, darauf bei 26 mm *Hg* Druck weiter beobachtet.

c. Dritte Periode, von 20 Minuten.

Druck in mm <i>Hg</i>	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
26	21° C.	12 Uhr 28	
		— 29	344
		— 30	9
		— 31	4,5
		— 32	3,5
		— 33	3,0
		— 34	— Luftblase
		— 35	2,5 zurück-
		— 36	2,5 geführt.
		— 37	2,5
		— 38	2,0
		— 39	1,5
		— 40	1,5
		— 41	2,0
		— 42	2,0
		— 43	1,5
		— 44	2,0
		— 45	1,5
		— 46	2,0
		— 47	1,5
		— 48	1,5

Druck jetzt 5 Minuten lang auf Null herabgesetzt.

d. Vierte Periode, von 12 Minuten.

Druck in mm <i>Hg</i>	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
26	21° C.	12 Uhr 53	
		— 54	124
		— 55	4,5

¹⁾ Die Luftblase wird hier zurückgebracht, daher die folgenden Werte wieder etwas höher.

Druck in mm <i>Hg</i>	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
26	21° C.	12 Uhr 56	3,0
		— 57	2,5
		— 58	2,0
		— 59	2,0
		1 Uhr 00	2,0
		— 01	1,5
		— 02	1,5
		— 03	1,5
		— 04	1,5
		— 05	1,5

Druck jetzt 1 Minute lang auf Null gehalten.

e. Fünfte Periode, von 5 Minuten.

Druck in mm <i>Hg</i>	Zimmer- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
26	21° C.	1 Uhr 06	
		— 07	60,5
		— 08	2,0
		— 09	1,5
		— 10	2,0
		— 11	1,5

Der Versuch zeigt in seiner ersten Periode eine stetige Abnahme des Einlaufs von 6,5 bis 1,5 cmm, die nicht auf zunehmender Quellung der Membran beruhen konnte (durch welche etwaige Poren derselben verengt worden wären), weil die Membran die ganze vorhergehende Nacht schon unter der Einwirkung derselben Flüssigkeit (1% *NaCl*-Lösung) gestanden hatte. Er zeigt weiter in seinen späteren Teilen, dass nach einer vorübergehenden Entspannung der Membran bei Herstellung des früheren Druckes der Einlauf wieder höhere Werte annimmt, die erst allmählich wieder in die früheren übergehen; hat die Entspannung 30 Minuten bis herab zu 10 Minuten gedauert, so sind die neuen Anfangswerte des Einlaufs wieder ungefähr so hoch wie die im Beginn des Versuchs; bei kürzer dauernder Entspannung, von nur 5 Minuten, bleiben die folgenden Anfangswerte niedriger, und wenn die Pause nur 1 Minute beträgt, so ist die Entspannung fast ohne Einfluss, indem alsbald die anfangs erreichten niedrigsten Werte des Einlaufs wieder auftreten; je länger die Erholung gedauert hat, um so länger macht sich auch die dadurch bewirkte Steigerung des Einlaufs bemerkbar.

Wir haben weiter gefunden, dass dasselbe Verhalten, namentlich die mit der Zeit abnehmenden Werte der Flüssigkeitsbewegung, auch

dann zu konstatieren sind, wenn, statt eines positiven, ein negativer Druck auf die Membran einwirkt, wenn also Flüssigkeit von aussen her durch sie hindurch angesaugt wird. Von der Ansicht ausgehend, dass eine Filtration vorläge, hatten wir die Abnahme des Einlaufs auf eine allmähliche Kompression der Poren der Membran bezogen und beim Ansaugen eine Zunahme des Einlaufs durch Erweiterung der Poren erwartet. Die Beobachtung, dass auch dabei eine Abnahme eintrat, wies uns darauf hin, dass die in Rede stehenden Erscheinungen von einer langsamen Nachdehnung der Membran abhängen könnten, und dass wir es im wesentlichen gar nicht mit Filtration, sondern mit Zunahme des Inhaltes des Trichterkölbchens infolge von Dehnung der darüber gebundenen Membran zu tun haben möchten. Da das vegetabilische Pergamentpapier für Quecksilber ganz undurchlässig ist, wurde nun das Trichterkölbchen soweit mit Quecksilber gefüllt, dass die abwärts gekehrte Membran nicht mehr mit der wässrigen Flüssigkeit in Berührung war; die Wiederholung des Versuches ergab auch jetzt das gleiche Verhalten wie zuvor! Wir hatten das vegetabilische Pergamentpapier zu diesen Versuchen gewählt, um eine möglichst homogene Membran, ohne eigentliche organische Struktur zu haben, und waren dabei von der unrichtigen Voraussetzung ausgegangen, dass dasselbe eine für unsere Zwecke ausreichende Filtrationsfähigkeit besitze. Wir überzeugten uns aber jetzt, dass seine Durchlässigkeit für wässrige Flüssigkeit, wenigstens in der von uns benutzten Qualität, bei den verwendeten Druckgraden verschwindend gering ist. Nachdem die Membran $1\frac{3}{4}$ Stunden lang unter Schutz vor Verdunstung dem 40 mm Hg betragenden Druck wässriger Flüssigkeit ausgesetzt gewesen war, fanden wir sie bei genauer Betrachtung von feinsten, aber meistens nicht konfluierenden Tröpfchen bedeckt; am Rande liess sich eine minimale Menge Flüssigkeit mit Filtrierpapier absaugen. Es war also während dieser langen Zeit keine messbare Menge Flüssigkeit hindurchfiltriert. Es ist dadurch erwiesen, dass der Einlauf bei diesen Versuchen mit Membranen aus Pergamentpapier im wesentlichen auf Dehnung und nicht auf Filtration zu beziehen ist, und dass es sich also auch bei der Ab- und Zunahme des Einlaufs um wechselnde Grade der Dehnung handeln muss.

Hiermit steht auch folgende Beobachtung im Einklang, welche wir bei einem Versuche machten, bei welchem die Membran in anderer Weise als zuvor auf der Öffnung des Trichterkölbchens befestigt worden war. Wir hatten bei den früheren Versuchen die aufgebundene Membran trocknen lassen und mit Kollodium gedichtet.

Da uns später die Dichtung mit Kollodium mehrmals missglückte — wir überzeugten uns jeweils von der Sicherheit des Verschlusses durch Einfüllen verdünnter Berlinerblaulösung und Eintauchen des Kölbchens in destilliertes Wasser —, so liessen wir uns eine Schraubenvorrichtung herstellen, welche auf das Ende unseres diesmal cylindrisch gestalteten Glaskölbchens aufgekittet wurde. Die rund geschnittene Membran wurde zwischen zwei Kautschukringen derart eingepresst, dass ein wasserdichter Verschluss hergestellt wurde.

Mit dieser Vorrichtung erhielten wir nun zwar im allgemeinen dieselben Resultate, die Werte des Einlaufs waren aber sehr viel kleiner, was leicht verständlich ist, da die horizontal ausgespannte Membran eine viel geringere Dehnung erlaubte, als im ersten Falle, wo sie um den Rand des Kölbchens herumgebogen und dadurch vielfach gefaltet war. Die Filtration hätte dagegen in beiden Fällen nicht sehr verschieden sein können.

Die Erscheinungen bei diesen Filtrationsversuchen mit Membranen, die mit den am Auge beobachteten eine so auffallende Ähnlichkeit haben, sind also nicht gleichen Ursprungs wie diejenigen, über welche Runeberg berichtet hat, wenn es sich auch bei beiden um eine sekundäre Wirkung des Druckes handelt, die als elastische Nachwirkung aufgefasst werden muss. Runeberg nimmt an, dass durch die Einwirkung des Druckes die Durchdringlichkeit der Membran und somit auch ihre Filtrationsgeschwindigkeit vermindert werde, und zwar anfangs sehr rasch und dann immer langsamer, bis eine gewisse Grenze erreicht ist. Die durch einen gewissen Druckgrad bewirkte Veränderung in der Permeabilität der Membran bleibt nun nach ihm noch eine Weile bestehen, wenn sich der Druck wieder geändert hat, wodurch sich die beobachteten Erscheinungen einfach erklären.

Wenn diese Erklärung richtig ist, so lässt sich erwarten, dass bei Benutzung eines Filters, welches durch Druck nicht merklich verändert werden kann, die Filtration bei gleichbleibendem Druck konstant ist und auch durch vorhergegangene Erniedrigung oder Erhöhung des Druckes nicht merklich beeinflusst wird. Um diese Folgerung zu prüfen, haben wir noch einige Versuche mit Tonfiltern angestellt und unsere Voraussetzung in der Tat bestätigt gefunden. Die Berkefeld-Filter erwiesen sich für diese Zwecke als zu durchlässig; dagegen entsprach denselben ein Chamberland-Filter *F*, wenn ein sehr niedriger Filtrationsdruck gewählt wurde; die Einlaufgeschwindigkeit liess sich dabei mit Hilfe eines Skalenrohrs mit Luftblase sehr gut beobachten. Wir benutzten dazu nicht das Filtrations-

manometer, sondern ein Wassermanometer mit sehr weitem Trichter am oberen Ende, um den Filtrationsdruck während der Dauer des Versuchs ganz konstant zu erhalten; die Flüssigkeit wurde in das Lumen des Filters hineingeleitet und filtrierte nach aussen, wie an der steten Befeuchtung des letzteren zu konstatieren war.

Versuch vom 24. VI. 1905.

Filtration von destilliertem Wasser bei Zimmertemperatur durch Chamberland-Filter *F*, Ablesungen alle $\frac{1}{2}$ Minute. Die abgelesenen Zahlen bedeuten Teilstriche der Skala, von denen einer ca. 1,4 mm entspricht.

Druck 5 mm Wasser:

Zeit	Filtration	Zeit	Filtration
0,5 Min.	34	11 Min.	61
1 „	27	11,5 „	28
1,5 „	24	12 „	27
2 „	27	12,5 „	26
2,5 „	24	13 „	26
3 „	25	13,5 „	27
3,5 „	26	14 „	26
4 „	25	14,5 „	26
4,5 „	26	15 „	26,5
5 „	26	15,5 „	26,5
5,5 „	25	16 „	27
6 „	26	16,5 „	26
6,5 „	25	17 „	27
7 „	26	17,5 „	26
7,5 „	24	18 „	26
8 „	24	18,5 „	26
8,5 „	22	19 „	25
9 „	22		

Unterbrechung, Luftblase
zurückgeführt.

Man sieht, dass hier die Filtration so regelmässig erfolgte, wie es bei der Einfachheit der Versuchseinrichtung nur zu erwarten war, bei welcher z. B. auf etwaige kleine Änderungen der Temperatur keine Rücksicht genommen wurde, wie sie unter anderen durch ungleiche Verdunstung an der Oberfläche des Filters bewirkt werden konnten. Die einzelnen hohen Werte im Beginn und nach der Unterbrechung in der Mitte des Versuchs sind auf Volumsschwankungen durch das Öffnen der Kautschukverbindungen zu beziehen.

Zur Beurteilung der Vorgänge bei der Filtration des Auges war es aber noch erwünscht zu erfahren, ob an filtrationsfähigen Membranen auch unter den Bedingungen, wie sie bei unseren Versuchen obwalteten, also innerhalb kleiner Zeiträume, das von Runeberg gefundene Verhalten sich konstatieren lässt; in diesem Falle würde ja

auch beim Auge ein Einfluss vorausgegangener Spannungsänderungen auf die Filtration als möglich in Betracht zu ziehen sein. Es wurde daher nachträglich noch eine kleine Versuchsreihe darüber angestellt, die ein positives Resultat lieferte.

Die Ausführung der Versuche hatte mit der Schwierigkeit zu kämpfen, dass die sehr geringen Mengen der in kurzer Zeit durch die Membran hindurchgehenden Flüssigkeit sich nicht einfach durch fortlaufende Messung oder Wägung bestimmen lassen, und dass deshalb, ähnlich wie beim Auge, der Einlauf gemessen werden muss, bei welchem die Wirkung der gleichzeitig eintretenden Dehnung der Membran die Menge des Filtrats zu gross erscheinen lässt. Dieser Fehler kann auch nicht dadurch beseitigt werden, dass man auch auf der anderen Seite der Membran eine wasserdicht schliessende Kapsel anbringt, die in ein enges Rohr ausläuft, an welchem das Vorrücken der Flüssigkeit beobachtet werden kann; das Ende der Flüssigkeitssäule wird ja ebenso wohl dadurch vorwärts bewegt, dass die Membran sich allmählich weiter ausdehnt, als dadurch, dass Flüssigkeit durch die Membran hindurchtritt.

Es wurde daher die Einrichtung so getroffen, dass die Membran flach auf einer siebförmig durchlöcherten Metallplatte ausgebreitet und zusammen mit derselben wasserdicht eingeklemmt wurde. Durch den Flüssigkeitsdruck musste sie sofort fest an die Siebplatte angedrückt und eine weitere Ausdehnung verhindert werden. Zur Filtration diente mit löslichem Berlinerblau gefärbtes destilliertes Wasser, womit sich der sichere Verschluss an dem ausbleibenden Übertritt von Farbstoff auf die andere Seite der Membran kontrollieren liess. Gleichzeitig mit dem Einlauf der blauen Flüssigkeit auf der einen, wurde auch das entsprechende Vorrücken der farblosen Flüssigkeit auf der anderen Seite beobachtet. Als Membran wurde das auch von anderen Autoren benutzte Perikard vom Rind verwendet. Die Filtration war recht gering, obwohl der Durchmesser der filtrierenden Fläche ca. 25 mm betrug; es wurden deshalb höhere Druckgrade benutzt, aber selbst bei 100 mm *Hg*-Druck gingen nur etwa $2\frac{1}{2}$ bis 3 cmm in der Minute hindurch.

Auch hier war nach längerer Abspannung die Menge des Filtrats anfangs am grössten und nahm nachher allmählich ab; umgekehrt war nach vorheriger Wirkung eines stark erhöhten Druckes die Filtratmenge geringer als sonst und nahm dann allmählich zu. Als Beleg dienen folgende Versuche, die mit einer und derselben Membran hinter einander angestellt wurden:

2. IV. 1906. Filtration von destilliertem Wasser durch
Rinderperikard bei 50 mm Hg-Druck.

- a. Nach 10 Minuten langer Ruhe bei 0 Druck: b. Nach 30 Minuten dauernder
Wirkung eines Druckes von
120 mm Hg:

Zeit	Einlauf in der Minute
1 Uhr 08	
— 09	9,5 cmm
— 11	2,0
— 12	1,75 „
— 22	1,62 „
— 28	1,62 „
bis 4 Uhr 0	1,63 „

Zeit	Einlauf in der Minute
6 Uhr 45	
— 46	3,5 cmm
— 47	1 „
— 50	1 „
— 54	1 „
— 55	1,25 „
7 Uhr 02	1,5 „
bis 7 Uhr 40	1,5 „

Die Beobachtungen sind abgekürzt wiedergegeben, die Zahlen sind zum Teil Mittelwerte, die Ablesungen für die einzelnen Minuten zeigten aber nur sehr geringe Schwankungen.

Die grossen Werte der ersten Minute sind wohl nur bedingt durch Anpressen der Membran an die Siebplatte und daher nicht zu rechnen; die Ab- und Zunahme des Einlaufs erstreckte sich bis auf $1\frac{1}{2}$ Stunde und länger, kann also nicht auf allmählicher Dehnung beruht haben. Dagegen spricht auch besonders der entgegengesetzte Einfluss von vorhergegangener Ruhe und Druckwirkung. Die Beobachtungen Runebergs haben sich also auch auf diesem Wege bestätigen lassen, und die Möglichkeit kann nicht bestritten werden, dass auch beim Auge durch eine vorausgegangene Herabsetzung des Augendruckes die Gewebssporen und Gefässe abnorm erweitert und dadurch die Filtration über ihren wahren Wert erhöht wird.

Die hier mitgeteilten Versuche wiesen uns aber auf alle Fälle darauf hin, dass die Änderungen, welche der Einlauf in das Auge durch vorhergegangene Druckschwankungen erfährt, nicht so ohne weiteres, wie wir früher geglaubt hatten, auf Änderungen der Filtration bezogen werden dürfen, dass sie vielmehr auch von Änderungen des Dehnungszustandes der Augenkapsel herrühren oder dass ein solches Moment wenigstens dabei beteiligt sein könnte.

Bei genauerer Überlegung mussten wir uns auch sagen, dass die von uns beobachteten Folgen vorübergehender Steigerung des Druckes sich kaum mit der Annahme eines Einflusses auf die Filtration vereinigen lassen. Wie oben (S. 76) berichtet wurde, war der Einlauf bei dem Übergang von einem hohen zu einem niedrigen Druck nicht nur vermindert, sondern im Anfang mehrere Minuten lang völlig

aufgehoben. Wir können aber schwerlich einer vorhergegangenen Drucksteigerung einen so mächtigen Einfluss auf die Filtration zuschreiben, dass diese dadurch zeitweise völlig unterdrückt würde. Nehmen wir aber eine elastische Nachwirkung an, so hat es keine Schwierigkeit, sich vorzustellen, dass zu der Zeit, wo der Austritt von Flüssigkeit aus dem Auge in das Filtrationsrohr zurück eben aufgehört hat, die noch weitergehende Zusammenziehung der Augenkapsel den Eintritt von Flüssigkeit in das Auge vollständig verhindert, bis dann der Zufluss allmählich wieder die Oberhand gewinnt.

Ob diese Annahme wirklich berechtigt war, konnte aber nur durch weitere Versuche entschieden werden, die wir im folgenden Abschnitt mitteilen werden.

IX.

Über die elastische Nachwirkung bei Drucksteigerungen und Druckerniedrigungen in der Augenkapsel.

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt berichtet, dass wir ein ganz ähnliches Verhalten des Einlaufs wie bei unseren Filtrationsversuchen am Auge beobachten, wenn wir Flüssigkeit in eine Hohlkugel einfließen lassen, deren Wandung zum Teil aus einer nicht filtrierenden elastischen Membran besteht. Dies hatte uns die Ansicht nahe gelegt, dass das uns beschäftigende Verhalten des Auges vielleicht gar nicht auf Änderungen der Filtration, sondern des Dehnungsgrades der Augenkapsel beruhen möchte.

Wir müssten alsdann annehmen, dass die Augenkapsel, wenn der in ihr herrschende Druck nach zeitweiser Erniedrigung wieder zur früheren Höhe gebracht wird, den diesem Druck entsprechenden Inhalt nicht sogleich vollständig, sondern nur ganz langsam und allmählich erlangt; in diesem Falle müsste ein Teil des Einlaufs nicht zur Filtration verwendet werden, sondern dazu dienen, den zunehmenden Raum der Bulbuskapsel zu füllen; dieser Teil müsste im Auge zurückbleiben, indem durch allmähliche Nachdehnung der Wandung Raum für ihn geschafft würde.

Umgekehrt müsste die durch eine zeitweise Drucksteigerung stärker gedehnte Augewand bei Nachlass des Druckes sich nicht sofort wieder zu ihrem früheren Umfang zusammenziehen, sondern die Zusammenziehung müsste, wenn auch in weit geringerem Grade, noch eine gewisse Zeit hindurch fort dauern; in Folge dessen würde sie,

solange diese Zusammenziehung anhält, in der gleichen Zeit weniger Flüssigkeit aufnehmen können, als früher bei demselben Druck.

Um diese Hypothese zu prüfen, mussten wir darauf ausgehen, die Zu- und Abnahme der Füllung des Auges in ihrer Abhängigkeit von dem darin herrschenden Druck unter Umständen zu studieren, bei welchen eine Filtration durchaus nicht mitwirken konnte.

Als einfachstes Mittel zu diesem Zwecke bot sich uns die Untersuchung des Einlaufs in eine ausgeräumte Augenkapsel, die mit Quecksilber gefüllt war.

Versuche.

Da es uns darauf ankam, den Einlauf in das Auge bei völligem Mangel der Filtration zu beobachten, so verwendeten wir die grösste Sorgfalt auf die Herstellung von Versuchsbedingungen, bei welchen eine Filtration sicher ganz ausgeschlossen war.

Wir machten zunächst Versuche, wiederum an frischen Schweinsaugen, bei denen wir nur die vordere Kammer entleert und dann mit Quecksilber gefüllt hatten. Um eine vollständige Füllung mit Hg zu erhalten, fanden wir es notwendig, eine ziemlich weite Kanüle zu benutzen, welche auch eine freie Kommunikation zwischen Kammerinhalt und Filtrationsrohr sicherte; bei Verwendung zu enger Kanülen wurde beobachtet, dass wegen der schweren Beweglichkeit des Quecksilbers bei Druck auf das Auge keine prompte Bewegung der Luftblase im Filtrationsrohr eintrat; es wurde daher immer auf dieses Verhalten geachtet. Die vordere Kammer muss von einer zusammenhängenden Quecksilbermasse ausgefüllt sein und darf am Rande keine einzelnen Tröpfchen zeigen, zwischen denen noch wässrige Flüssigkeit enthalten ist. Das Quecksilber reichte noch eine Strecke weit nach aussen in ein mit der Stichkanüle verbundenes Glasrohr hinein, welches derart schräg aufgestellt war, dass bei dem Zulauf keine wässrige Flüssigkeit, sondern nur Quecksilber in das Auge eintreten konnte. Es ist uns einmal vorgekommen, nachdem der Versuch längere Zeit ungestört fortgedauert hatte, dass plötzlich ohne merklichen Anlass ein grosser Quecksilbertropfen aus der vorderen Kammer in den Glaskörperraum hinabfiel, worauf die vordere Kammer zur Hälfte von Quecksilber leer war. Es musste also schon längere Zeit vorher durch das Gewicht des Quecksilbers eine Spannung im Auge unterhalten worden sein, welche vielleicht auf das Versuchsergebnis von schädlichem Einfluss sein konnte. Wir haben daher bei den folgenden Versuchen, um dies zu vermeiden, das Auge immer mit der Hornhaut nach unten in ein geeignetes Schälchen gelegt. Für Schutz gegen Verdunstung wurde, wie immer, durch übergelegte feuchte Watte gesorgt.

Das Ergebnis zahlreicher, auf diese Art angestellter Versuche war, dass immer ein gewisser Einlauf in das Auge stattfand, der allerdings erheblich geringer war, als bei den früheren Versuchen, bei

denen eine Filtration stattfinden konnte, der aber keineswegs auf die ersten Minuten beschränkt war, sondern ganz wie früher sehr lange Zeit hindurch in stetig abnehmendem Masse fort dauerte. Zufällige Verluste durch mangelhaften Verschluss der Einstichsstelle oder der Kautschukverbindungen waren sicher auszuschliessen. Dagegen bemerkten wir bei genauer Betrachtung des Bulbus, dass der Rand der Conjunctiva, sowie auch die Durchschnittsstellen der Venae vorticosae etwas feucht waren und dass sich dies nach dem Abtupfen mit Filtrierpapier immer wieder erneuerte. Es musste also doch noch etwas von dem wässerigen Inhalt des Bulbus nach aussen filtrieren; die Menge war freilich so gering, dass wir den stattfindenden Einlauf durch diese minimale Filtration nicht erklären konnten. Trotzdem wollten wir uns mit dem Resultat dieser Versuche nicht begnügen und sahen uns nach einer Methode um, bei welcher jede Möglichkeit einer Filtration ausgeschlossen war.

Wir erreichten dies, indem wir die ganze Augenkapsel nach vollständiger Entleerung ihres Inhalts mit Quecksilber füllten, eine Methode, die im hiesigen Laboratorium schon früher einmal von W. Koster¹⁾ benutzt worden war.

Es gelingt ziemlich leicht und in völlig schonender Weise, den ganzen Augeninhalt durch die Eintrittsstelle des Sehnerven zu entleeren. Der Sehnerv wird bis auf einen Stumpf von einigen Millimetern Länge, so weit als zum sicheren Einbinden einer Kanüle nötig ist, abgeschnitten und das Nervenmark aus der Scheide ausgebohrt. Hierauf wird durch sanftes Massieren der Augeninhalt zerteilt und verflüssigt; er lässt sich dann ohne starken Druck allmählich durch das Sehnervenloch entfernen; die Iris samt Ciliarkörper kann man dann noch durch Eingehen mit einem stumpfen Häkchen oder einer feinen Pincette herausziehen; es bleibt zuletzt, nachdem man den Hohlraum gut ausgespült hat, fast nur noch die Hornhaut mit der nackten Sklera übrig. Es wird nun durch wiederholtes sanftes Pressen alle im Inneren enthaltene wässerige Flüssigkeit beseitigt, und nachdem eine Glaskanüle in die Sehnervenscheide eingebunden ist, der Raum mit Quecksilber gefüllt, welches noch eine gewisse Strecke weit in die Glaskanüle hineinreichen muss. Legt man dann das Auge mit dem Sehnerveneintritt nach oben, so kann man darauf rechnen, dass nach kurzer Zeit etwa zurückgebliebene Reste von Wasser durch die Schwere des Quecksilbers nach oben gedrängt werden, und dass der Hohlraum nur von Quecksilber eingenommen ist. Um ganz sicher zu gehen, liessen wir zuweilen das Auge, vor Verdunstung geschützt, viele Stunden lang unter hohem Quecksilberdruck stehen, wodurch natürlich etwaige Spuren wässerigen Inhalts noch vollends ausgetrieben werden mussten. Trotz der Bedeckung mit feuchter Watte sahen wir dabei die Sklera in der Äquatorialgegend sich durch beginnende Ein-

¹⁾ Dieses Arch. Bd. XLI. 2. S. 123 (1895).

trocknung dunkel verfärben, als Zeichen, dass die Wasserentziehung das zulässige Mass schon zu überschreiten begann.

Um den starken einseitigen Druck durch das Gewicht des Quecksilbers zu kompensieren, liessen wir das gefüllte Auge, die Hornhaut nach unten, in einer Schale mit Quecksilber schwimmen. Dies hatte noch den weiteren Vorteil, dass wir uns von dem vollständigen Fehlen einer Filtration direkt überzeugen konnten; jede Spur von wässriger Flüssigkeit, die etwa noch in den Gefässen zurückgeblieben und ausgetreten wäre, hätte dabei nach oben steigen und an der blanken Quecksilberfläche zum Vorschein kommen müssen, wovon aber nicht das mindeste zu bemerken war. Diese Versuchseinrichtung bot daher alle Garantien dafür dar, dass Filtration von wässriger Flüssigkeit bei dem Einlauf in das Auge durchaus keine Rolle spielen konnte. Wir haben uns aber auch überzeugt, dass eine Filtration von Quecksilber durch die Augenkapsel hindurch ausgeschlossen war; dies ist bei der Hornhaut und Sklera an sich selbstverständlich; aber auch die Emissarien der Sklera liessen, wie wir durch genaue Beobachtung festgestellt haben, niemals auch nur das feinste Quecksilbertröpfchen hindurchtreten.

Wir haben auch noch einige andere Methoden versucht, die uns aber teils weniger, teils gar nicht befriedigten.

Gar nicht bewährte sich die Füllung der ausgeräumten Bulbuskapsel mit Öl, weil dieses, wie die direkte Beobachtung ergab, in ziemlicher Menge durch die Augenkapsel hindurchgeht; man sah es deutlich, besonders an den Austrittsstellen der Vortexvenen, in Form von kleinen Tröpfchen hervortreten, welche, wenn der Bulbus während des Versuchs in 1% *NaCl*-Lösung schwebend erhalten wurde, in ziemlicher Menge in der Flüssigkeit emporstiegen. Es gelang uns auch nicht, durch eine vorausgeschickte Füllung mit erwärmtem Paraffin die Emissarien derart zu verstopfen, dass sie nachher bei gewöhnlicher Temperatur für Öl undurchgängig waren; wir haben auf weitere Versuche mit dieser Methode verzichtet, weil die Quecksilberfüllung allen Ansprüchen genügte.

Da die intakte Hornhaut bekanntlich gar nicht filtrationsfähig ist, haben wir auch an der aufgebundenen Hornhaut mit 1% *NaCl*-Lösung einen Versuch angestellt, welcher die Ergebnisse der übrigen bestätigte. Abgesehen davon, dass hier nur das Verhalten der Hornhaut und nicht des ganzen Bulbus geprüft wird, ist aber gegen diese Methode einzuwenden, dass bei längerer Dauer des Versuchs eine Quellung der Membran mit entsprechender Absorption von Flüssigkeit eintreten und dadurch eine Nachdehnung oder Filtration vorge-täuscht werden könnte. Doch dürfte dieser Umstand bei kürzerer Versuchsdauer und solange die Hornhaut durchsichtig bleibt, wohl keinen merklichen Fehler bedingen.

Für das ausgeräumte Auge haben wir uns noch des folgenden Verfahrens bedient, bei welchem statt Quecksilber wässrige Flüssigkeit benutzt werden kann. Es gelingt, durch den vermittels eines konischen Glasrohrs

erweiterten Sehnerveneintritt einen aus zartestem Kautschuk hergestellten Tampon (das Ende eines Fingerlings, wie sie als Schutz bei Operationen benutzt werden) vorsichtig einzuschieben. Derselbe legt sich bei nachfolgender Injektion von 1% *NaCl*-Lösung der Innenwand der Augenkapsel glatt an, wenn dabei ein erhöhter Druck von etwa 70 mm *Hg* angewendet wird, und verhindert natürlich die Filtration vollständig. Das Ergebnis stimmt mit demjenigen überein, welches wir mit Quecksilberfüllung erhielten; die Methode bot aber keine Vorteile gegenüber der letzteren, der wir wegen ihrer leichteren Ausführbarkeit und der Möglichkeit, den Druck besser abzustufen, den Vorzug gaben.

Die sämtlichen mit diesen Methoden, soweit sie sich als brauchbar erwiesen, besonders aber die mit Quecksilberfüllung des Bulbus ausgeführten Versuche, bestätigten nun das schon mit Quecksilberfüllung der vorderen Kammer erhaltene Resultat, dass eine erhebliche und lange anhaltende Nachdehnung des Augapfels stattfindet, und dass die früher nach Entspannung und Drucksteigerung beobachteten positiven und negativen Schwankungen des Einlaufs auch hier vorkommen, wo die Filtration vollkommen ausgeschlossen ist.

Als Beleg führen wir die folgenden Versuche an, die wir aus einer grösseren Zahl gleichartiger ausgewählt haben.

Versuch vom 29. VI. 1905 (Prot.-Nr. XXXIII).

Frisches Schweinsauge, vollständig ausgeräumt und mit *Hg* gefüllt, in einer Schale mit *Hg* schwimmend, die Cornea nach unten gekehrt, durch feuchte Watte vor Verdunstung geschützt.

Es sollte zuerst der Gang der Dehnung bei möglichst hohem Druck beobachtet werden und hierauf das Verhalten bei sich daran anschliessender beträchtlicher Druckerniedrigung; es wurde deshalb in der ersten Periode des Versuchs ein Druck von etwa 94 mm *Hg* unterhalten und dieser in der zweiten Periode auf etwa 18 mm *Hg* herabgesetzt.

a. Bei 94 mm *Hg* Druck:

Zeit	Einlauf in cmm	
	in $\frac{1}{4}$ Minute	in 1 Minute
5 Uhr 12	—	
— 12 $\frac{1}{4}$	+ 133,5	+ 145,75
— 12 $\frac{1}{2}$	+ 5,5	
— 12 $\frac{3}{4}$	+ 3,5	
— 13	+ 3,25	
— 13 $\frac{1}{4}$	+ 0,75	+ 5,5
— 13 $\frac{1}{2}$	+ 1,75	
— 13 $\frac{3}{4}$	+ 1,75	
— 14	+ 1,25	
— 15	—	+ 12,25 (Störung durch Wegnahme
— 16	—	— 3,5 einer auf dem Auge liegenden Decke).

Zeit	Einlauf in cmm	
	in $\frac{1}{4}$ Minute	in 1 Minute
5 Uhr 17	—	+ 3,5
— 18	—	+ 2,5
— 19	—	+ 2,75
— 20	—	+ 2,5
— 21	—	+ 2,25
— 22	—	+ 2,25
— 23	—	+ 2,0
— 24	—	+ 2,0
— 25	—	+ 2,0
— 26	—	+ 1,5
— 27	—	+ 1,75
— 28	—	+ 1,75
	in 2 Minuten:	
— 30	+ 1,5	+ 0,75
— 32	+ 3,0	+ 1,5
— 34	+ 3,0	+ 1,5
	in 5 Minuten:	
— 39	+ 6,5	+ 1,3
— 44	+ 6,25	+ 1,25
— 49	+ 5,25	+ 1,05
— 54	+ 4,75	+ 0,95
— 59	+ 4,5	+ 0,9
	in 10 Minuten:	
6 Uhr 09	+ 8,0	+ 0,8
	in 7 Minuten:	
— 16	+ 5,0	+ 0,71

Auge jetzt vom Manometer abgeschlossen. Weder am Auge noch auf dem Quecksilber eine Spur von freier Flüssigkeit zu bemerken. Auge ganz unberührt gelassen, nur der Druck auf ca. 18 mm *Hg* herabgesetzt; Versuch bei Schutz vor Verdunstung wieder aufgenommen.

Bei Herstellung der Verbindung mit dem Manometer tritt sofort, wie aus der rückläufigen Bewegung der Luftblase zu ersehen ist, Flüssigkeit aus dem Auge in das Manometer über; diese rückläufige Bewegung dauert während der ganzen übrigen Zeit des Versuches fort.

b. Bei 18 mm *Hg*-Druck:

Zeit	Einlauf in cmm	
	in $\frac{1}{4}$ Minute	in 1 Minute
6 Uhr 20	—	
— $\frac{1}{4}$	— 73	— 80
— $\frac{1}{2}$	— 3	
— $\frac{3}{4}$	— 2,25	
— 21	— 1,75	
— $\frac{1}{4}$	— 0,75	— 2,75
— $\frac{1}{2}$	— 0,75	
— $\frac{3}{4}$	— 0,5	
— 22	— 0,75	

Zeit	Einlauf in cmm	
	in $\frac{1}{4}$ Minute	in 1 Minute
6 Uhr 23	—	— 2,0
— 24	—	— 1,0
— 25	—	— 0,5
— 26	—	— 0,75
— 27	—	— 0,5
— 28	—	— 0,5
	in 2 Minuten:	
— 30	— 0,5	— 0,25
— 32	— 0,25	— 0,125
— 34	— 0	0
— 36	— 0,25	— 0,125
— 38	— 0,25	— 0,125

Versuch jetzt beendet, da der Flüssigkeitsaustritt nur noch minimal ist. Die spätere Kontrolle durch Abschluss vom Auge ergibt, dass der Apparat vollkommen schliesst, indem dabei die Flüssigkeitsbewegung vollkommen sistiert wird. Die das Auge deckende Watte ist feucht geblieben; trotzdem fängt das Quecksilber schon an, etwas durch den oberen Teil der Sklera hindurch zu schimmern, als Zeichen der beginnenden Vertrocknung.

Die Untersuchung des nun entleerten Auges ergibt, dass das ganze Innere bis auf geringe Reste der Chorioidea beseitigt worden war.

Versuch vom 29. VI. 1905 (Prot.-Nr. XXXIV).

Bei diesem Versuch wurde das Verhalten der Augenkapsel bei Einwirkung eines dem normalen ungefähr entsprechenden Druckes geprüft, ohne dass dieselbe vorher einem bedeutend erhöhten Drucke ausgesetzt gewesen war.

Frisches Schweinsauge, wie oben angegeben, ausgeräumt und mit Quecksilber gefüllt.

Druck des *Hg* in Auge und Kanüle beträgt etwa 13 mm, Druck im Manometer 12 mm, Gesamtdruck etwa 25 mm *Hg*.

Auge wieder in Quecksilber schwimmend, etwas über die Hälfte untergetaucht und durch feuchte Watte vor Verdunstung geschützt.

Zeit	Einlauf in cmm		
	in $\frac{1}{4}$ Minute	in 1 Minute	in 2 Minuten
7 Uhr 33	—	—	—
— $\frac{1}{4}$	51	60	
— $\frac{1}{2}$	4		
— $\frac{3}{4}$	2,5		
— 34	2,5		
— 35	—	4,75	
— 36	—	4,0	
— 37	—	5,0	
— 38	—	3,0	

Zeit	Einlauf in cmm		
	in $\frac{1}{4}$ Minute	in 1 Minute	in 2 Minuten
7 Uhr 39	2,5	2,75	
— 40	—	2,5	
— 41	—	2,5	
— 42	—	1,75	
— 43	—	2,25	
— 44	—	1,5	
— 45	—	1,5	
— 46	—	1,75	
— 47	—	1,5	
— 48	—	1,5	
— 50	—	1,5	3,0
— 52	—	1,375	2,75
— 54	—	1,125	2,25
— 56	—	1,125	2,25
— 58	—	1,125	2,25
8 Uhr 00	—	1,0	2,0
— 02	—	0,875	1,75
— 04	—	1,125	2,25
			in 5 Minuten:
— 09	—	0,9	4,5
— 14	—	1,05	5,25
— 19	—	0,8	4,0
— 24	—	0,7	3,5
— 29	—	0,75	3,75
— 34	—	0,65	3,25

Versuch jetzt unterbrochen. Die Kontrolle ergibt vollständige Verschlussfähigkeit aller Hähne und Kautschukverbindungen. Gesamteinlauf in einer Stunde 139 cmm. Der Inhalt der Augenkapsel, durch Messung des Volums des nun entleerten Quecksilbers bestimmt, betrug etwa $6,3 \text{ ccm} = 6300 \text{ cmm}$.

Die hier mitgeteilten Beispiele unserer Versuche, die wir leicht vermehren könnten, zeigen, dass unsere Voraussetzung vollkommen zutreffend war, dass also, sowohl bei Erhöhung, als bei Erniedrigung des Augendruckes, eine beträchtliche Nachwirkung stattfindet, in Folge deren sich der Inhalt der Bulbuskapsel lange Zeit hindurch nach dem Eintritt der betreffenden Druckschwankung noch ändert. So hatte z. B. in dem letzten Versuche auch nach einer Stunde die Dehnung noch längst nicht ihr Ende erreicht; in den übrigen Versuchen war das Verhalten entsprechend; wir haben es aber unterlassen, die Zeit bestimmen zu wollen, nach welcher die Dehnung völlig aufhörte, weil dies doch keinen grossen Wert gehabt hätte, und weil die Augewand vielleicht doch mit der Zeit durch die Versuchsbedingungen verändert werden könnte. Wir weisen aber noch besonders auf den zweiten Teil des ersten Versuches hin, welcher zeigt, dass auch nach einer vorausgegangenen starken Dehnung die durch Druckherabsetzung bewirkte Zusammenziehung längere Zeit hindurch fort-

dauert, wenn auch, wie es scheint, weniger lang als die derselben Druckschwankung entsprechende Ausdehnung.

Man könnte noch den Einwand erheben, dass der Einlauf in das Auge nur deshalb stetig weitergehe, weil in dessen Inneren nicht genau der im Manometer herrschende, sondern ein um ein Minimum geringerer Druck vorhanden sei, was aus der Fortdauer des Einlaufs hervorgeht und auch mit unseren Versuchen (Abschnitt III) im Einklang steht. Diese Druckdifferenz würde aber gar nicht auftreten können, wenn die Augenwandung mit vollkommener Elastizität begabt wäre und sofort nach dem Eintritt einer Druckschwankung den derselben entsprechenden Grad von Dehnung annähme und beibehielte; nur durch die stetig weitergehende Dehnung oder Zusammenziehung der Augenwandung wird immer aufs neue etwas Raum gewonnen oder verloren und dadurch der intraokulare Druck stets auf einer Höhe erhalten, die um ein Minimum von der im Manometer herrschenden abweicht und somit die Fortdauer der Flüssigkeitsbewegung gewährleistet.

Die in Rede stehenden Volumsänderungen sind allerdings nur in der allerersten Zeit nach der Änderung des Manometerdruckes beträchtlich und nehmen rasch ziemlich geringe Werte an; sie gewinnen aber durch ihre lange Dauer doch eine erhebliche Bedeutung. So finden wir z. B. in dem letzten Versuche, dass bei konstantem Druck von 25 mm Hg in der ersten Minute 60, in der zweiten nur 4,75 cmm Flüssigkeit (Hg) in das Auge hineingingen, hierauf allmählich immer weniger, nach 15 Minuten nur $1\frac{1}{2}$, nach einer halben Stunde $1\frac{1}{8}$, aber nach einer Stunde immer noch zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ cmm; im ganzen 139 cmm in einer Stunde. Die nachträgliche Volumszunahme war also mit 79 cmm noch merklich grösser als diejenige, welche in der ersten Minute erfolgte. Die Gesamtzunahme betrug etwa $\frac{1}{44}$ des Anfangsvolums des Bulbusinhaltes (von 6160 cmm), wovon also die kleinere Hälfte (60 cmm) auf den unmittelbaren, die grössere (79 cmm) auf den nachträglichen Einlauf entfällt.

Die volle Bedeutung dieser nachträglichen Volumsänderungen wird aber erst klar, wenn wir untersuchen, wie gross der Druck sein müsste, um dieselbe Menge Flüssigkeit momentan in das Auge einzutreiben. Wir haben in einigen zu diesem Zweck angestellten Versuchen, deren Ergebnisse im Wesentlichen übereinstimmten, die Volumina von 1% NaCl-Lösung bestimmt, welche jedesmal in das Auge eingetrieben werden mussten, um den Druck um eine gemessene Quote zu steigern. Es hat sich dabei unter anderem ergeben (Versuch vom 19. Juli 1905, Periode 7—11), dass der Druck von 22 auf 49,5 mm Hg gesteigert werden musste, um während 64 Sekunden eine weit geringere Flüssigkeits-

menge als im letzten Versuche, nämlich 111,3 mm, in das Auge einzutreiben (während in diesem Versuche [vgl. S. 94] 139 mm Hg im Verlauf von einer Stunde bei gleichbleibendem Druck von 25 mm Hg in das Auge eintraten). Lassen wir also dem Auge nur die nötige Zeit, so fließt dasselbe Quantum ohne Druckerhöhung ein, wozu momentan der Druck um mehr als das doppelte gesteigert werden müsste.

Wir lassen hier das Protokoll des oben erwähnten Versuches unter Angabe der Methode folgen.

Versuchsmethode.

Wir benutzten bei diesen Versuchen das weite Manometer unseres Apparates zur Erzeugung der successiven Steigerungen des Injektionsdruckes und das enge Manometer zur Messung der durch den jedesmaligen Eintritt von $NaCl$ -Lösung im Auge erzeugten Drucksteigerung, in folgender Weise.

Zu Beginn des Versuches wurde der Druck in beiden Manometern auf einen gleich hohen, geringen Druck oder auf Null gebracht und dieselbe Druckhöhe auch im Auge hergestellt. Nun wurde die direkte Verbindung zwischen beiden Manometern durch den zwischen ihnen befindlichen Hahn e (Fig. 1) dauernd abgestellt und zunächst auch das Filtrationsrohr vom Auge und vom engen Manometer durch den Hahn a abgeschlossen, während die Hähne b , d und f offen blieben. Wurde jetzt der Druck im weiten Manometer um eine gewisse Quote gesteigert und der zum Auge und zum engen Manometer führende Hahn a geöffnet, so übertrug sich die Drucksteigerung durch das Filtrationsrohr hindurch gleichzeitig auf das Auge und auf das enge Manometer. Es trat, der Drucksteigerung entsprechend, Flüssigkeit in das Auge ein und gleichzeitig hob sich der Druck in dem engen Manometer annähernd auf die im Auge herrschende Höhe, wobei natürlich das Niveau der Quecksilbersäule im absteigenden Schenkel um ebenso viel nach abwärts ging, wie es im aufsteigenden Schenkel sich hob. Die hierzu nötige Flüssigkeitsmenge musste von dem Werte der Verschiebung der Luftblase im Filtrationsrohr in Abzug gebracht werden, um diejenige Menge zu erhalten, welche in das Auge eingetreten war. Auf diese Art liess sich also bei der jedesmaligen Druckerhöhung im weiten Manometer sowohl die dabei im Auge bewirkte Drucksteigerung, als auch die Flüssigkeitsmenge bestimmen, welche zur Erzeugung derselben in das Auge eintreten musste. Nachdem diese Werte abgelesen waren, wurde das weite Manometer durch den Hahn a wieder abgeschlossen und der Druck in demselben aufs neue um eine bestimmte Quote erhöht. Da inzwischen die Filtration im Auge weiterging, und dadurch der Druck im engen Manometer etwas sank, musste dessen Höhe immer noch einmal rasch abgelesen werden, ehe die Verbindung mit dem weiten Manometer wieder hergestellt wurde. Dagegen konnte bei der Bestimmung der Volumszunahme des Auges die minimale Filtration, welche jedesmal zwischen dem Moment der Drucksteigerung und der Ablesung des Einlaufs erfolgte, wegen der Kürze der Zeit (zwischen 7 und 25 Sekunden), unberücksichtigt bleiben und die Volumszunahme dem Einlauf gleichgesetzt werden.

Versuch vom 19. VII. 1905.

Frisches Schweinsauge. Weite Kanüle in den Sehnerven eingebunden.
 Auge in 1% NaCl-Lösung schwebend. Injektion von 1% NaCl-
 Lösung mittels des Filtrationsmanometers.

Periode des Ver- suchs	Zeit in Sekunden	Anfangsdruck im Auge in jeder Periode (enges Man.) in mm Hg	Druck im weiten ¹⁾ Manom. in mm Hg	Erhöhter Druck im Auge (enges Man.) in mm Hg	Verschiebung der Luftblase in mm	Abzug wegen Drucksteigerung im engen Man. in cmm	Wirklicher Einlauf in cmm	Bemerkungen
1.	0'' 13''	0	5					
2.	13'' 13 + 25 = 38''	2	7,5	2	116	1,2	114,8	
3.	38'' 38 + 15 = 53''	5	10	5	136	1,8	134,2	
4.	53'' 53 + 20 = 73''	9,5	15	9	78	2,4	75,6	Luftblase zurück- geführt.
5.	73'' 73 + 19 = 92''	16	20					
6.	92'' 92 + 17 = 109''	20	25	16,5	78,5	4,2	74,3	
7.	109'' 109 + 15 = 124''	22	30	20,5	41	2,7	38,3	
8.	124'' 124 + 14 = 138''	29,5	35	24,5	32	2,7	29,3	
9.	138'' 138 + 13 = 151''	33,5	40	31,5	35	5,7	29,3	
10.	151'' 151 + 11 = 162''	39	45	35	28,5	3,3	25,2	
11.	162'' 162 + 11 = 173''	43,5	50	40,5	26,5	4,2	22,3	
12.	173'' 173 + 10 = 183''	46,5	55	45,5	21,0	3,9	18,1	
13.	183'' 183 + 10 = 193''	52,5	60	49,5	20,0	3,6	16,4	
14.	193'' 193 + 10 = 203''	57	65	55,5	23,5	5,4	18,1	
15.	203'' 203 + 7 = 210''	61	70	61	21	5,1	15,9	
				64,5	19,5	4,5	15,0	
				71	18	6,0	12,0	

¹⁾ Die Ablesungen am weiten Manometer waren wegen der Einrichtung des Apparates nur annähernd richtig, wodurch sich erklärt, dass die Zahlen der 5. Kolumne zum Teil etwas grösser oder gleich denen der 4. Kolumne sind, während sie durchweg etwas kleiner sein müssen. Dies ist ohne Bedeutung, da die Zahlen der 5. Kolumne allein massgebend sind.

Hieraus berechnen sich folgende Werte der Volumszunahme des Auges für eine Druckzunahme von 1 mm bei verschiedenen Druckhöhen:

Periode des Versuchs	Anfangs- druck in einer Periode	Erhöhter Druck	Druck- differenz d	Volums- zunahme V	Verhältnis von Druck u. Vol.-Zunahme $V:d$
1.	0	2	2	114,8	57,4
2.	2	5	3	134,2	44,7
3.	5	9	4	75,6	18,9
4.	9,5	16,5	7	74,3	10,6
5.	16	20,5	4,5	38,3	8,5
6.	20	24,5	4,5	29,3	6,5
7.	22	31,5	9,5	29,3	3,1
8.	29,5	35	5,5	25,2	4,6
9.	33,5	40,5	7,0	22,3	3,2
10.	39	45,5	6,5	18,1	2,8
11.	43,5	49,5	6,0	16,4	2,7
12.	46,5	55,5	9,0	18,1	2,0
13.	52,5	61	8,5	15,9	1,9
14.	57	64,5	7,5	15,0	2,0
15.	61	71	10,0	12,0	1,2

Wir brauchen kaum zu bemerken, dass die Zahlen obiger Tabelle keine Normalwerte sein sollen, sondern sich nur auf den betreffenden Versuch beziehen. Wir führen sie aber an, weil sie das betreffende Verhalten sehr gut veranschaulichen.

Es schien uns von Interesse, mit dem Verhalten des Auges das einer Hohlkugel mit elastischer Wandung aus homogenem Material zu vergleichen, weshalb wir noch einige Versuche mit Kautschukballons angestellt haben. Es trat dabei zu unserem Erstaunen kein wesentlicher Unterschied zwischen beiden hervor; auch hier war eine ziemlich anhaltende Nachdehnung zu konstatieren, die aber sehr viel schneller abnahm und deren Gesamtbetrag relativ weit geringer war als am Auge.

Wir benutzten u. a. einen dickwandigen und steifen Ballon, beträchtlich grösser als das Auge, von 59 mm äusserem Durchmesser und 72 ccm Inhalt.

Versuch vom 4. VII. 1905 (Prot.-Nr. XLV).

Der Ballon wurde wasserdicht mit dem Filtrationsmanometer verbunden und ein Druck von 25 mm Hg hergestellt; Zimmertemperatur 24° C.

Bei der Grösse des Ballons musste die Luftblase dreimal zurückgeführt werden, bis derselbe so weit gefüllt war, dass der Einlauf langsam weiter ging; es waren dazu 4 Minuten erforderlich.

Zeit	Einlauf in cmm	Zeit	Einlauf in cmm
5 Uhr 04		5 Uhr 18	2,5
— 08	1146,0	— 19	2,25
— 09	20,0	— 20	2,0
— 10	7,5	— 21	2,0
— 11	5,5	— 22	2,25
— 12	3,0	— 23	1,0
— 13	4,5	— 24	1,25
— 14	3,75	— 25	1,5
— 15	1,75	— 26	1,75
— 16	3,0	— 27	0,75
— 17	2,5		

Der Versuch wurde jetzt abgebrochen und zur Kontrolle der Ballon dicht neben ihm vom Manometer abgeklemmt. Der Einlauf hörte jetzt vollständig auf, zum Beweis, dass alle Verbindungen und Hähne sicher schlossen.

Wie man sieht, schien um diese Zeit der Einlauf noch längst nicht sein Ende erreicht zu haben.

Der Gesamteinlauf betrug rund 1216 cmm, wovon auf die ersten 4 Minuten 1146, auf die übrigen 19 Minuten 70 cmm entfallen.

Vergleichen wir diesen Versuch mit einem bei gleichem Druck am Auge angestellten, z. B. mit dem Versuch mit *Hg*-Füllung vom 29. Juni 1905 (S. 93—94), so finden wir bei beiden, wie schon bemerkt, eine lang anhaltende Nachdehnung. Der Gesamteinlauf war zwar beträchtlich grösser als beim Auge, aber bei den weit grösseren Dimensionen des Ballons relativ ein wenig geringer; sein Verhältnis zum Inhalt betrug $\frac{1}{39}$ (beim Auge $\frac{1}{44}$). Die kürzere Versuchszeit (23 Minuten, gegen 1 Stunde in dem Versuch am Auge) macht dabei wenig aus, weil der Einlauf schon nach 10 Minuten auf einen sehr geringen Wert zurückging. In 20 Minuten kamen alsdann im Ganzen nur noch 215 cmm ($= \frac{1}{335}$ des Anfangsvolums) hinzu und der Einlauf war am Ende dieser Zeit auf $\frac{3}{4}$ cmm ($= \frac{1}{96000}$ des Anfangsvolums) herabgesunken. Die absoluten Mengen des Einlaufs stimmen in dieser zweiten Periode sehr nahe mit denen des in Rede stehenden Versuches am Auge überein; da aber der Inhalt des Ballons mehr als elfmal grösser war, so war seine relative Volumszunahme in diesem Verhältnis geringer als die des Auges.

X.

Über das Verhältnis von Einlauf, Menge des Filtrats und Volumszunahme bei Filtrationsversuchen am Auge.

Die im vorhergehenden Abschnitt mitgeteilten Ergebnisse stehen, wie man sieht, in direktem Widerspruch zu den Grundlagen der heutigen Lehre vom Augendruck. Diese geht davon aus, dass man

den Augapfel in Bezug auf die hier in Betracht kommenden Verhältnisse mit hinreichender Annäherung als eine vollkommen elastische, mit Flüssigkeit gefüllte Kapsel betrachten könne, deren Füllungszustand immer genau dem Grade der Dehnung der Wandung und somit auch dem darin herrschenden Drucke entspricht. Wir haben noch bis vor kurzem diese Lehre als selbstverständlich richtig angesehen und der Eine von uns hat sich darauf berufen gegenüber Uribe y Troncoso, welcher gegen dessen Bestimmungen der Filtration den Einwand erhoben hatte¹⁾, dass er nicht die durch Filtration aus dem Auge austretende, sondern die aus dem Manometer in das Auge eintretende Flüssigkeitsmenge gemessen habe. Th. Leber hat dagegen bemerkt²⁾, dass die beiderlei Flüssigkeitsmengen genau gleich sein müssten, und dass er deshalb zu seinem Vorgehen vollkommen berechtigt gewesen sei.

Uribe y Troncoso gab an, bei seinen Filtrationsversuchen gefunden zu haben, dass mehr Flüssigkeit im Auge zurückbleibt, als man nach den Ablesungen am Filtrationsmanometer annehmen kann. Die von ihm mitgeteilten Versuche schienen aber diese Behauptung keineswegs zu rechtfertigen und jedenfalls gaben sie uns keinen hinreichenden Grund, daran zu zweifeln, dass, wenn die Filtration erst in regelmässigen Gang gekommen ist, in gleichen Zeiten immer dieselbe Flüssigkeitsmenge in das Auge ein- und aus demselben austritt. Nachdem wir aber durch unsere Versuche mit Quecksilberfüllung uns überzeugt hatten, wie gross die Rolle ist, welche die Dehnung bei Filtrationsversuchen spielen kann, haben wir die Versuche von Uribe y Troncoso mit verbesserten Methoden wiederholt und haben dabei gefunden, dass wirklich von der in das Auge einlaufenden Flüssigkeit nur ein Teil durch Filtration nach aussen geht, und dass ein erheblicher Teil derselben und zwar nicht nur im Anfang, sondern auch während des weiteren Verlaufs des Versuches im Auge zurückbleibt. Th. Leber hat sich in Folge dessen beeilt³⁾, die Richtigkeit des von Uribe y Troncoso erhobenen Einwandes anzuerkennen, ohne jedoch seine Bedenken gegen die Beweiskraft der von diesem Forscher mitgeteilten Versuche zurückzunehmen.

Auf diese Versuche müssen wir hier nochmals zurückkommen, teils zur Rechtfertigung unserer Auffassung derselben, teils um ein darüber entstandenes Missverständnis aufzuklären.

¹⁾ Ann. d'Ocul. Tom. CXXXIII. p. 9 (janv. 1905).

²⁾ Ibid. Tom. CXXXIII. p. 402 (juin 1905).

³⁾ Ibid. Tom. CXXXIV. p. 217 (sept. 1905).

Uribe y Troncoso hatte zwei Methoden angewendet, um die Menge der durch das Auge filtrierenden Flüssigkeit zu bestimmen; beide kamen in dem von ihm angeführten Versuche gleichzeitig zur Ausführung. Die erste Methode bestand darin, die während des Versuches aus dem Auge austretende Flüssigkeitsmenge mit den nötigen Vorsichtsmassregeln zu sammeln und zu wiegen. Bei der zweiten, indirekten Methode wurde das Gewicht der zurückgebliebenen Flüssigkeit ermittelt, indem das Auge vor Beginn und nach Beendigung des Versuches gewogen und die Differenz beider Gewichte genommen wurde. Bei beiden Methoden war die gefundene Flüssigkeitsmenge kleiner, als diejenige, welche nach den Ablesungen am Filtrationsmanometer in das Auge eingedrungen war. Dies ist an sich selbstverständlich, weil wenigstens ein Teil der Flüssigkeit, welche in der ersten Minute in das Auge eintritt, zweifellos nur dazu dient, dasselbe wieder zu füllen und ihm die gewünschte Spannung zu verleihen. Beide Methoden gaben aber in dem Hauptpunkt von einander abweichende Resultate. Nach der zweiten Methode war die Menge der im Auge zurückgebliebenen Flüssigkeit geringer als diejenige, welche in der ersten Minute in das Auge eingetreten war; sie wog nur 78, diese dagegen 245 mg. Hieraus folgt, dass nach dieser Methode nicht nur sämtliche, während der übrigen Versuchszeit in das Auge eingelaufene Flüssigkeit, sondern auch noch ein Teil des Einlaufs der ersten Minute das Auge durch Filtration wieder verlassen haben müsste. Auf Grund dieser Methode müsste man es also für vollkommen gerechtfertigt halten, wie wir es getan hatten, abgesehen natürlich von der ersten Minute, die Grösse der Filtration in der Zeiteinheit der des Einlaufs gleichzusetzen.

In Bezug auf die erste Methode hat ein eigentümliches Missverständnis obgewaltet. Uribe y Troncoso hatte über den Einlauf wörtlich angegeben: „il entre dans l'oeil 372 mm³ ou soit en poids $372 \times 2,01 = 0,747$ g.“ Da 372 cmm einer $\frac{3}{4}\%$ NaCl-Lösung nicht 747 mg wiegen können, so enthält dieser Satz jedenfalls einen Fehler; wenn es 747 mg waren, so musste das Volumen nicht 372, sondern 2×372 cmm betragen; waren es aber richtig 372 cmm, so konnte deren Gewicht nur die Hälfte von 747 mg sein. In einer Note gibt Uribe y Troncoso zwar an, dass er für jeden Millimeter der Länge des Filtrationsrohrs ein Gewicht von 2,01 mg gefunden habe; da aber der Fabrikant angegeben hatte, dass das Rohr richtig kalibriert sei und Uribe y Troncoso das Vorhandensein eines solchen Fehlers gar nicht ausdrücklich hervorhob, so war anzunehmen,

dass die Zahl 372 richtig und die Zahl 747 durch irgend ein Versehen unrichtig sei; hiernach würde sich die Berechnung für diese Methode anders herausgestellt haben, als Uribe y Troncoso angegeben hatte. Nun ist aber, wie dieser Forscher neuerdings berichtet hat und was sehr zu bedauern ist, das Filtrationsrohr tatsächlich falsch kalibriert und etwa doppelt so weit, als es sein sollte, woraus sich ergibt, dass die Rechnung von Uribe y Troncoso richtig war. Nach der ersten Methode müssten danach im Auge 409 cmm zurückgeblieben sein; in der ersten Minute traten 245 cmm in dasselbe ein; zieht man diese von obigen 409 cmm ab, so bleiben 164 cmm übrig. Diese Methode lässt also, im Gegensatz zu der ersteren, annehmen, dass nicht nur die ganze, in der ersten Minute eingelaufene Flüssigkeitsmenge, sondern auch von der übrigen noch ein nicht unbeträchtlicher Teil im Auge zurückblieb.

Uribe y Troncoso gibt selber an, dass beide Methoden einander widersprechende Resultate lieferten. Die zweite Methode wurde viermal mit übereinstimmendem Ergebnis angewendet, die erste in einer grösseren Zahl von Fällen, deren Resultate wieder unter einander übereinstimmten. In dem von ihm als Beispiel angeführten Versuch (table I) kamen beide Methoden gleichzeitig zur Anwendung, das Resultat war entgegengesetzt. Uribe y Troncoso bemerkt weiter, dass seine erste Methode einer beträchtlichen Fehlerquelle unterworfen sei, nämlich dem Verlust durch Verdunstung von Flüssigkeit, welche bei der hohen Lage von Mexiko viel erheblicher sein müsse, als an Orten, die nahe dem Meeresspiegel gelegen sind. Wenn sich dieser Verlust durch Verdunstung hätte vermeiden lassen, so würde, wie man leicht einsieht, das Ergebnis dieser Methode weniger verschieden von dem der anderen ausgefallen sein.

Uribe y Troncoso ist trotz dieser Fehlerquelle der Ansicht, dass das Ergebnis der ersten Methode für die Mehrzahl der Fälle als richtig anzusehen sei; für das entgegengesetzte Resultat der zweiten Methode hat er keine Erklärung gegeben. Wir glauben nun, dass ein Autor den Beweis für eine Behauptung nicht geliefert hat, wenn die Ergebnisse zweier zur Prüfung derselben angewendeter Methoden sich direkt widersprechen, und wenn zudem noch diejenige Methode, deren Ergebnis er für das richtige hält, mit einem erheblichen Fehler behaftet ist, dessen Grösse sich nicht beurteilen lässt. Uribe y Troncoso hat allerdings einen Grund angegeben, warum er das Ergebnis seiner ersten Methode für massgebend hält, dass nämlich der intraokulare Druck bei den Versuchen nicht konstant, sondern in bestän-

diger Zunahme begriffen gewesen sei. Dieser Grund ist aber nicht stichhaltig, weil der Augendruck bei richtiger Anstellung der Versuche, wie wir im III. Abschnitt gezeigt haben, im wesentlichen konstant ist. Bei den Versuchen von Uribe y Troncoso wurde er höchst wahrscheinlich deshalb inkonstant und zu niedrig gefunden, weil er durch die Ausführung der Messung jedesmal eine beträchtliche Herabsetzung erfuhr; unter diesen Umständen bleibt selbstverständlich die Menge des Einlaufs hinter der des Filtrats zurück, wie der Eine von uns an anderer Stelle dargelegt hat¹⁾. Wie es sich bei fehlerfreier Ausführung der Versuche verhält, ist aus den Mitteilungen von Uribe y Troncoso gar nicht zu entnehmen, und es bedurfte erst neuer Untersuchungen, um zu zeigen, dass nicht unerhebliche Unterschiede zwischen der Menge des Einlaufs und des Filtrates auch dann vorkommen, wenn der Druck während des ganzen Versuches im wesentlichen konstant erhalten wird.

Wir wenden uns nun zur Mitteilung dieser Versuche, über deren Ergebnis an anderer Stelle²⁾ schon kurz berichtet worden ist.

Versuchsmethode.

Um bei der Messung der Filtration des Auges Verluste durch Verdunstung und Benetzung der mit dem Filtrat in Berührung kommenden Gegenstände möglichst zu vermeiden, haben wir die Filtration unter gefärbtem Petroleum vor sich gehen lassen, wobei das Filtrat sich in dem Petroleum senkt und davon scharf absetzt. Die Messung liess sich alsdann durch Überführung in ein fein graduiertes Messrohr sehr genau ausführen. Wir haben mit dieser Methode in einigen Versuchen die Wägung des Auges vor und nach der Filtration, zuweilen auch zu verschiedenen Zeiten während derselben, kombiniert. Die Wägung wurde entweder in Luft oder ebenfalls unter Petroleum vorgenommen, wobei die wirklichen Gewichts-differenzen mit Benutzung der spezifischen Gewichte des Petroleums und der verwandten *NaCl*-Lösung berechnet wurden.

Wenn man ein Auge, an welchem durch Verbindung mit dem Manometer die Filtration in Gang gebracht ist, in Petroleum eingetaucht erhält, welches durch einen kleinen Zusatz von Alcannin rosenrot gefärbt ist, so kann man den Vorgang der Filtration daran sehr schön beobachten.

Um den Austritt der Flüssigkeit zu erleichtern und möglichst regelmässig von statten gehen zu lassen, haben wir dabei stets die Oberfläche

¹⁾ Ann. d'Ocul. Tom. CXXXV p. 270—291 (avril 1906).

²⁾ Th. Leber, Über die Filtration aus der vorderen Augenkammer usw. Bericht üb. d. XXXII. Versammlung d. Ophthalm. Gesellschaft. S. 241.

des Auges von den anhaftenden Resten der Bindehaut, der Augenmuskeln und des Orbitalgewebes sorgfältig rein präpariert. Man sieht alsdann sehr bald an der Oberfläche des Auges, an verschiedenen Stellen, besonders an den Austrittsstellen der Venen, flache farblose Tropfen zum Vorschein kommen, welche sich auf dem Auge nach unten senken, allmählich vergrössern

und, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht haben, sich vorbauchen und zuletzt abreißen und langsam im Petroleum nach unten senken. Geht die Senkung in einem Glastrichter vor sich, so vereinigen sich die Tropfen in dem Trichterhals zu einer zusammenhängenden Flüssigkeitsmenge, welche sich von dem überstehenden Petroleum scharf absetzt; dabei tritt niemals, wie bei Öl, an der Grenze beider Flüssigkeiten Emulsionsbildung auf, was die Verwendung von Öl zu diesem Zwecke ausschliesst. Auch wird bei Verwendung von Petroleum bei der Überführung in ein Messgefäß die Genauigkeit der Messung so gut wie gar nicht durch Tröpfchenbildung und mangelhafte Vereinigung der wässrigen Flüssigkeit gestört.

Das Filtrat war in der Regel schwach gelblich gefärbt, leicht opalisierend und gab nach Zusatz von wenig Essigsäure beim Kochen eine starke Trübung, die sich nach einigem Stehen zu feinsten Flöckchen zusammenzog. Die Eiweisssreaktion war erheblich stärker als bei normalem Kammerwasser. Einmal war das Filtrat von beigemengtem Blut rötlich gefärbt; man hatte schon während des Versuches aus den *Venae vorticosae* sanguinolente Flüssigkeit austreten sehen.

Zur Messung fanden wir, nachdem bei einigen Versuchen etwas anders verfahren worden war, folgende Methode als die beste (vgl. Textfig. 14).

Der Hals des Trichters wurde kurz abgeschnitten (damit die Senkung des Filtrates möglichst rasch erfolgen konnte) und in rechtem Winkel an das Ende eines genau kalibrierten und in $\frac{1}{100}$ ccm geteilten Rohres von

1 ccm Inhalt angeschmolzen. Das freie Ende dieses horizontal gestellten Rohres stand durch einen Kautschuk mit einer Luerschen Spritze in Verbindung. Während der Dauer des Versuches war der Kautschuk abgeklemt, so dass das Filtrat nicht in das Messrohr übertreten konnte, sondern sich

Fig. 14.

im untersten Teil des Trichters ansammelte. Nach Beendigung des Versuches wurde die Klemme weggenommen und durch sanftes Anziehen des Spritzenkolbens das Filtrat in das Messrohr hinübergesaugt. Um den Fehler durch Benetzung der Glaswände geringer zu machen, brachten wir auch zuweilen vor Beginn des Versuchs in den Trichterhals eine kleine Menge wässriger Flüssigkeit, die im Messrohr gemessen und nachher in Abzug gebracht wurde. Das rein präparierte Auge wurde anfangs durch Abtupfen mit Filtrierpapier von freier Flüssigkeit sorgfältig befreit und nach Schluss der Filtration mehrmals aus dem Petroleum herausgehoben, wieder eingetaucht und am Trichterrande abgestreift, um die noch anhaftenden Reste des Filtrats zu gewinnen.

Die Wägungen des Auges wurden bei diesen Petroleumversuchen entweder in Luft oder ebenfalls in Petroleum vorgenommen, weil wir so die Fehler durch wechselnde Mengen von anhängendem Petroleum am sichersten vermeiden konnten. Die Wägung in Petroleum war unerlässlich, um den Gang der Filtration nicht zu sehr zu stören, wenn das Auge auch mehrmals während des Versuchs gewogen werden sollte. Wir bestimmten zu diesem Zweck mit der Mohrschen Wage das spezifische Gewicht des benutzten Petroleums und der 1% *NaCl*-Lösung bei der während unserer Versuche herrschenden Zimmertemperatur von 24° C. (nur einmal betrug dieselbe 25° C.). Es ergab sich für Petroleum 0,8085, für 1% *NaCl*-Lösung 1,0054. Hiernach berechnet sich in einfacher Weise das Volumen der im Auge zurückgebliebenen 1% *NaCl*-Lösung aus der Gewichts Differenz vor und nach der Filtration. Wäre das Auge in Luft gewogen worden, so wäre das zu bestimmende Volumen gleich der Gewichts Differenz geteilt durch das spezifische Gewicht der *NaCl*-Lösung. Bei der Wägung in Petroleum findet man aber die Gewichte um so viel geringer, als das Gewicht des gleichen Volumens Petroleum beträgt, somit ist das zu bestimmende Volumen im Verhältnis zu der Differenz der spezifischen Gewichte grösser.

Nennt man das Anfangsgewicht des Auges p'
 das Anfangsvolumen „ „ v'
 das Endgewicht „ „ p''
 das Endvolumen „ „ v''
 das Gewicht der im Auge zurückgebliebenen Menge 1% *NaCl*-Lösung P
 das Volumen derselben V ,

so ist

$$V = v'' - v'$$

$$P = p'' - p' = V \cdot 1,0054.$$

Das Anfangs- und Endgewicht des Auges in Petroleum, π' und π'' , erhält man durch Abzug der Gewichte der gleichen Volumina Petroleum:

$$\pi' = p' - v' \cdot 0,8085$$

$$\pi'' = p'' - v'' \cdot 0,8085.$$

Nennt man die Gewichts Differenz beider Wägungen d , so ist

$$d = \pi'' - \pi' = p'' - p' - (v'' - v') \cdot 0,8085.$$

Führt man hierin die obigen Werte ein, so hat man

$$\begin{aligned} d &= P - V \cdot 0,8085 = V(1,0054 - 0,8085) \\ &= V(1,0054 - 0,8085), \end{aligned}$$

somit
$$V = \frac{d}{1,0054 - 0,8085} = \frac{d}{0,1969}.$$

Man braucht somit nur die Differenz der Wägungen in Petroleum durch die Differenz der spezifischen Gewichte von 1% *NaCl*-Lösung und Petroleum zu dividieren, um das gesuchte Volumen der im Auge zurückgebliebenen Flüssigkeit zu erhalten.

Selbstverständlich wurde bei Wiederholung der Wägungen auf das sorgfältigste darauf geachtet, dass alle mit dem Auge in Verbindung gebrachten und mitgewogenen Teile: Kanüle und deren Inhalt, Kautschuk, Klemme usw., immer genau gleich waren.

Wir teilen jetzt einen dieser Versuche mit, um den Gang derselben vor Augen zu führen.

Versuch vom 10.VII.1905." (Prot.-Nr. XLIX, Nr. 5 der Tabelle auf S. 109.)

Frisches Schweinsauge, Kanüle in den Sehnerven eingeführt, Auge mit der Cornea nach oben in Petroleum eingetaucht.

Gewicht des Auges, nebst Kanüle, Kautschuk, Klemme, Faden usw., in Petroleum gewogen 5,124 g.

Zimmertemperatur 25° C.

Zeit	Druck in mm Hg	Einlauf in cmm in 1 Min.	Bemerkungen
6 Uhr 08	26		
— 1/2	"	345	Luftblase bei Abschluss vom Auge zurückgebracht.
— 3/4	"		
— 09	"	337	
— 10	"	24,5	Luftblase wieder bei Abschluss vom Auge zurückgebracht.
— 11	"	16,5	
— 12	"	26	
— 13	"	13	Flüssigkeitsaustritt fängt an, an der Oberfläche des Auges bemerkbar zu werden.
— 14	24	11,5	
— 15	"	10,5	
— 16	"	9,5	
— 17	"	9,5	
— 18	"	9,0	
— 19	"	9,25	
— 20	"	8,0	
— 21	"	8,25	
— 22	"		
— 23	"	7,75	
— 24	"	7,5	
— 25	"	7,0	
— 26	"	7,5	
— 27	"	7,0	
— 28	"	6,5	Ein flacher Flüssigkeitstropfen am Auge fängt an, sich vorzubauhen.
— 29	"	6,75	
— 30	"	6,25	
— 31	"	6,5	
— 32	"	6,25	
			Der Tropfen vergrößert sich.

Zeit	Druck in mm Hg	Einlauf in cmm		Bemerkungen
		in 1 Min.		
6 Uhr 34	24	5,875	in 2 Min.: 11,75	Zwei grosse Tropfen hängen von der Oberfläche der Cornea in das Petroleum hinein.
— 36	„	5,75	11,5	
— 39	23	5,3	in 3 Min.: 16,0	
— 41	„	5,25	in 2 Min.: 10,5	
— 43	„	5,0	10,0	Der erste Tropfen löst sich ab und sinkt langsam in den Grund des Trichterrohrs hinunter.
— 45	„	4,75	9,5	
— 47	„	4,5	9,0	
— 49	„	4,625	9,25	
— 51	„	4,625	9,25	Luftblase wieder bei Abschluss vom Auge zurückgebracht.
— 55	„	4,44	in 4 Min.: 17,75	
7 Uhr 00	„	4,25	in 5 Min.: 21,25	
— 05	„	4,1	20,5	
— 10	24	4,1	20,5	7 Uhr 12 Senkung des zweiten Tropfens.
— 20	„	4,9	49	7 Uhr 26 „ „ dritten „
— 30	„	4,05	40,5	7 Uhr 40 „ „ vierten „
— 40	„	3,8	38,0	
— 48	„	3,62	in 8 Min.: 29,0	

Versuch nach 100 Minuten Dauer beendet. Das abgesetzte Filtrat wird in das Messrohr hinübergesaugt, seine Menge beträgt 280 cmm.

Gewicht des Auges nach Schluss des Versuches in Petroleum 5,300 g, somit Gewichts-differenz der Petroleumwägungen $5,300 - 5,124 = 0,176$ g. Hieraus ergibt sich das Volumen der im Auge zurückgebliebenen Flüssigkeit

$$= \frac{0,176}{0,1969} = 0,894 \text{ ccm} = 894 \text{ cmm.}$$
 Der Gesamteinlauf während 100 Minuten betrug $345 + 378 + 368 + 157,25 = 1248,25 \text{ cmm.}$

Es ergibt sich hieraus folgende Bilanz:

Menge des Filtrats (direkt gemessen)	280	cmm
Im Auge verbliebene Flüssigkeit (aus der Gewichts-differenz berechnet)	894	„
Verlust	74,25	„
Summe, gleich dem Gesamteinlauf	1248,25	cmm.

Es ergibt sich also, dass in diesem Versuch von der gesamten, in 100 Minuten in das Auge eingeflossenen Flüssigkeitsmenge, im Betrage von ungefähr $1\frac{1}{4}$ ccm, noch nicht ganz der vierte Teil, oder wenn man den Verlust dem Filtrat hinzurechnet, $\frac{1}{3,5}$ derselben, nach aussen filtrierte, während der ganze Rest, also nahezu $\frac{3}{4}$ des Einlaufs, im Auge zurückblieb.

Da es zu weit führen würde, alle hierher gehörigen Versuche

in extenso mitzuteilen, so geben wir zunächst eine tabellarische Übersicht derselben. Wir werden sie dann im Zusammenhang besprechen und einzelne, die zu bestimmten Zwecken angestellt wurden, noch gesondert anführen.

Aus der nebenstehenden Tabelle (S. 109), in welche sämtliche von uns angestellten einwandfreien Versuche aufgenommen sind, ergibt sich, dass bei allen Versuchen von der während längerer Zeit (40—100 Minuten) in das Auge eingelaufenen Flüssigkeit nur ein Teil, höchstens etwas mehr als die Hälfte, zuweilen aber auch nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{5}$ durch Filtration nach aussen ging, und dass die ganze übrige Menge im Auge zurückblieb. Von diesen Beträgen sind jedoch natürlich diejenigen in Abzug zu bringen, welche zu Beginn des Versuchs in das Auge eintraten, und die jedenfalls nur dazu dienten, das collabierte Auge wieder zu füllen und die wir als Füllungswerte bezeichnen. Eine scharfe Grenze zwischen ihnen und dem übrigen Teil des Einlaufs lässt sich nicht ziehen; wir haben deshalb, etwas willkürlich, die in der ersten oder den beiden ersten Minuten eingelaufenen Mengen besonders berechnet und in Abzug gebracht¹⁾; aber auch dann bleibt die Gesamtmenge des Filtrats hinter der des so reduzierten Einlaufs beträchtlich zurück, wie sich aus der unten folgenden kleinen Tabelle ergibt. Es folgt daraus, dass nicht nur im Anfang des Versuchs, sondern fortdauernd, ein Teil der einlaufenden Flüssigkeit nicht nach aussen filtrierte, sondern im Auge zurückbleibt.

Versuchs-Nr.	Einlauf in den ersten 1—2 Min. in cmm	Späterer Einlauf in cmm	Gesamteinlauf in cmm	Menge des Filtrats in cmm	Differenz zw. Gesamteinlauf und Filtrat (zurückgebliebene Flüssigkeit) in cmm	Differenz zwischen späterem Einlauf u. Filtrat in cmm
1. (XXXIX)	250	363	613	200	413	63
2. (XL)	273	533	806	450	356	83
3. (XLI)	442	337	779	175—180	599—604	157—162
4. (XLVIII)	447	427	874	210	664	217
5. (XLIX)	682	566	1248	280	968	286
6. (L)	491	656	1147	430	717	225
7. (LI)	577	502	1079	315	764	187
8. (LII)	375	898	1273	700	573	198
9. (LIV)	976	770	1746	480	1266	290
10. (LV)	215	344	559	110	449	234
11. (LVI)	869	1324	2193	1265	928	59

¹⁾ Bei Versuch 11 mussten auch die im Beginn der einzelnen Perioden desselben aufgetretenen Füllungswerte in Abzug gebracht werden.

Ord.-Nr.	Nr. des Versuchs- protokolls	Druck in mm Hg ¹⁾	Temperatur in C°	Einführung der Kantile in	Filtrat aufgefängen unter	Dauer des Einlaufs in Minuten	Geringsster Einlaufs in der Minute	E. in cmm Gesamter Einlaufs	F. in cmm Gemessene Menge des Filtrats	Zurückgebliebene Flüssigkeit a. der Gewichts Differenz berechnet in cmm	S = F + V Summe v. Filtrat u. zurückgeblieb. Flüssigkeit in cmm	Verlust, Differenz zwischen Einlaufs und nebensteh. Summe D = E - S	Verhältnis zwisch. Menge d. Filtrats u. des Einlaufs F : E
1.	XXXIX.	23,5	28	den Glaskörper	Petroleum	60	4,3	613,5	200				1 3,06
2.	XL.	26	27,5	"	"	120	4,2	806	450				1 1,8
3.	XLL.	26	28,5	"	NaCl-Lösung	100	2,4	779,5	175—180				1 4,3
4.	XLVIII.	24	24	"	Petroleum	100	3,6	874,5	210	521 ²⁾	731	143,5	1 4,1
5.	XLIX	24,5	25	"	"	100	3,6	1248	280	894 ²⁾	1174	74	1 4,4
6.	L.	24,5	24	"	"	100	4,7	1146,75	430	579,8 ²⁾	1009,8	136,95	1 2,7
7.	LI.	24,5	37,8 ¹⁾	"	"	75	5,2	1079,25	315				1 3,4
8.	LII.	25,5	39 ¹⁾	die vordere Kammer	"	60	12,75	1273,5	700				1 1,8
9.	LIV.	25	24	"	"	40	12,0	1746,25	430				1 3,6
10.	LV.	26	15,8 ¹⁾	"	"	100	1,0	559,25	110				1 5,1
11.	LVI.	24,5	24	"	"	80	15,5	2193,25	1265	771 ²⁾	2036	157,25	1 1,7

¹⁾ Mittel bei geringen Schwankungen. ²⁾ Wägungen in Luft. ³⁾ Wägungen in Petroleum.

So überraschend dieses Ergebnis auch ist, so müssen wir es doch für im Wesentlichen richtig halten, da es in allen Versuchen übereinstimmend wiederkehrte, und da wir auch keine irgend erheblichen Fehlerquellen entdecken konnten. Der Einlauf ergibt sich direkt aus den Ablesungen am Filtrationsrohr; während der Zurückführung der Luftblase war der Hahn zum Auge stets abgeschlossen, es konnte also kein nicht notierter Zufluss stattfinden. Wir haben nochmals festgestellt, dass das Filtrationsrohr genau die vorgeschriebene Kalibrierung hatte; auch haben wir uns überzeugt, dass selbst bei rascherer Flüssigkeitsbewegung, als sie bei unseren Versuchen vorkam, keine Flüssigkeit an der Luftblase vorbeischlüpfte, wodurch die Ablesungen hätten gefälscht werden können. Der sichere Verschluss aller Hähne und Kautschukverbindungen wurde jedesmal am Schlusse des Versuches festgestellt. Während der Dauer desselben war das Auge immer durch übergelegte feuchte Watte vor Verdunstung geschützt. Auch bei den Wägungen können sich nicht wohl erhebliche Fehler eingeschlichen haben. Die grössten Fehler sind wohl bei dem Sammeln und Messen des Filtrats vorgekommen.

Um darüber eine Vorstellung zu erhalten, haben wir die genau abgemessene Menge von 350 cmm Wasser in den Trichter gebracht und in das Messrohr übertreten lassen; die Ablesung ergab nur 300 cmm, so dass 50 cmm durch Benetzung der Glaswände verloren gingen. Da wohl auch am Auge noch etwas von dem Filtrat hängen bleibt, so kann dieser Fehler leicht noch viel grösser werden. In vier von unseren Versuchen (4, 5, 6, 11), in welchen ausser der Filtration auch die im Auge zurückgebliebene Flüssigkeit bestimmt wurde, ergibt sich der Verlust als Differenz zwischen Einlauf und Summe von Filtrat und Volumszunahme; der geringste Verlust (74 cmm) kam in dem oben mitgeteilten Versuch 5 vor; in den übrigen Versuchen betrug er ungefähr das Doppelte; in allen Fällen war er aber viel zu gering, als dass das oben angeführte allgemeine Resultat dadurch irgendwie in Zweifel gestellt werden könnte.

Um auch den möglichen Einwand auszuschliessen, dass die Filtration vielleicht durch das Eintauchen in Petroleum gestört worden sei, haben wir noch einen Versuch (Nr. 3 der Tabelle) in der Weise angestellt, dass wir das Auge in eine genau abgemessene Menge 1% NaCl -Lösung brachten, in welcher die Filtration vor sich ging und dass wir dieselbe, um die Verdunstung zu verhüten, mit einer dünnen Ölschicht bedeckten. Nach Beendigung des Versuchs wurde zuerst die anfangs eingebrachte Flüssigkeitsmenge mit einer Mess-

pipette abgehoben und dann der übrig gebliebene Rest in der oben angegebenen Weise gemessen, was aber wegen Verunreinigung durch Öl nicht ganz exakt gelang. Die Menge betrug annähernd 200, schätzungsweise 175—180 cmm, der Gesamteinlauf ungefähr 780 cmm. Auch dieser Versuch bestätigt also das oben angegebene Resultat, da die Menge des Filtrates (ohne den hier nicht bestimmten Verlust) nicht ganz $\frac{1}{4}$ des Einlaufs ausmacht.

Die Methode bei dieser Versuchsreihe unterschied sich ferner von der früheren durch den Umstand, dass hier das Auge nicht samt den anhängenden Geweben mit Heftnägeln auf einem Brettchen aufgespannt, sondern vollkommen frei präpariert und in eine Schale gelegt oder in der betreffenden Flüssigkeit suspendiert gehalten wurde. Es schien uns möglich, dass die Filtration, resp. der Flüssigkeitsaustritt durch letzteres Verfahren begünstigt werde. Wir haben daher zur Prüfung dieser Vermutung einige Versuche angestellt, bei welchen der Einfachheit halber nicht das Filtrat aufgefangen, sondern nur die Menge des Einlaufs bestimmt wurde. Es ergab sich, dass die Befestigung ohne merklichen Einfluss war, dass aber durch das Freipräparieren der Einlauf, also jedenfalls die Menge des Filtrats, nicht unerheblich gesteigert wird. Die an einem und demselben Auge dadurch bewirkte Zunahme betrug ungefähr $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Menge (von $\frac{3}{4}$ auf 1).

Es hat sich somit ergeben, dass die wirkliche Filtration, auch abgesehen von den Füllungswerten der ersten Minuten, keineswegs dem anfänglichen Betrag des Einlaufs entspricht, sondern erheblich geringer ist. Sie entspricht ungefähr den kleinsten Werten, welche während der Beobachtungszeit vorkommen und die in der Regel die Endwerte sind, bei denen keine merkliche Abnahme mehr vorkommt. Multipliziert man dieselben mit der Dauer der Versuche, so erhält man Zahlen, welche von denen der beobachteten Filtration nicht viel abweichen, meistens etwas grösser sind und die in Anbetracht der bei der direkten Bestimmung der Filtration unvermeidlichen Verluste dem wahren Werte der letzteren ziemlich nahe kommen dürften, wie sich aus folgender Zusammenstellung (auf S. 112) ergibt.

Wenn wir uns nun auf Grund obiger Versuche über die Einflüsse, welche die Filtration beherrschen, weiter zu informieren suchen, so tritt uns zunächst der schon im V. Abschnitt besprochene Einfluss des Ortes der Injektion, ob in den Glaskörper oder in die vordere Kammer, entgegen. Wir haben dort gezeigt,

Ver- suchs- Nr.	Dauer des Versuchs in Min. (<i>T</i>)	Geringster Einlauf in der Minute (<i>e</i>) in cmm	Berechneter Wert der Filtration (<i>T.e</i>)	Be- obachtete Filtration (<i>F</i>)	Mittlere Filtration in der Minute (<i>F/T</i>)	Temperatur der Filtrations- flüssigkeit
1.	60	4,3	258	200	3,33	28 ° C.
2.	120	4,2	504	450	3,75	27,5 ° C.
3.	100	2,4	240	178	1,75—1,8	28,5 ° C.
4.	100	3,6	360	210	2,1	24 ° C.
5.	100	3,6	360	280	2,8	25 ° C.
6.	100	4,7	470	430	4,3	24 ° C.
7.	75	5,2	380	315	4,2	37,8 ° C.
8.	60	12,75	765	700	11,66	39 ° C.
9.	40	12,0	480	480	12	24 ° C.
10.	100	1,0	100	110	1,1	15,8 ° C.
11.	80	15,5	1240	1270	15,8	24 ° C.

dass wir in denjenigen Versuchen, in welchen in den Glaskörper injiziert wurde, unter sonst gleichen Verhältnissen auffallend geringe Gesamtwerte des Einlaufs sowohl, als der Filtration erhielten, und dass dabei der Einlauf während der Dauer des Versuchs sehr viel mehr abnahm als bei Injektion in die vordere Kammer. Wir haben diese Erscheinung auf eine allmähliche Abnahme der Filtration bezogen, indem wir annahmen, dass durch die Injektion in den Glaskörperraum der Kammerwinkel allmählich verengt werde. Den direkten Beweis dafür können wir nicht erbringen, weil in keinem dieser Versuche die Filtration periodenweise gemessen wurde; es ist aber wohl keine andere Annahme zu machen, da bei der Gleichheit des Druckes in beiden Räumen die Dehnung der Augenkapsel nicht wohl verschieden gewesen sein kann.

Wir haben uns weiter der Entscheidung der Frage zugewandt, ob der von uns früher gefundene Einfluss der Temperatur (vgl. Abschnitt VII) auf die Menge des Einlaufs wirklich, wie wir angenommen hatten, auf eine Zunahme der Filtration zu beziehen ist. Es war dies zu erwarten, da ein erheblicher Einfluss der Temperatur auf die Dehnung der Augenwandung nicht wahrscheinlich ist.

Wir haben zu diesem Zweck zwei Versuche (7 und 8) bei erhöhter Temperatur (37,8 und 39° C.) und einen (Versuch 10) bei erniedrigter Temperatur (15,8° C.) angestellt, durch welche unsere Voraussetzung bestätigt wurde. Wir haben uns dabei wieder der oben (S. 60—61) beschriebenen Einrichtung bedient, welche nur für den diesmaligen Zweck einige nebensächliche Änderungen erfuhr. Der erste Versuch (7) kann nicht gerechnet werden, weil bei demselben die Injektion in den Glaskörper vorgenommen wurde, wodurch bei längerer Versuchsdauer

die Filtration, was wir damals noch nicht wussten, durch Verengung des Kammerwinkels beträchtlich vermindert werden kann. In der Tat war trotz der erhöhten Temperatur der Einlauf auffallend gering und betrug in 75 Minuten nur 1079 cmm (auf 100 Minuten berechnet 1439 cmm); er war also nicht viel grösser als wir ihn in einem vorhergehenden Versuch (6) bei einer Zimmertemperatur von 24° C. beobachtet hatten, wo er 1146,75 cmm in 100 Minuten betrug (vgl. Tabelle auf S. 109). Es kann daher nicht Wunder nehmen, dass die Filtration, auf die Zeiteinheit berechnet, nicht grösser war, als in dem letzteren, sondern in beiden Fällen ungefähr gleich (4,2, resp. 4,3 cmm in der Minute). In den beiden folgenden Versuchen, bei denen in die vordere Kammer injiziert wurde, trat dagegen der Einfluss der Temperatur auf das deutlichste hervor.

Im Versuch 8 wurde bei 39° C. wieder ein ähnlich hoher Wert des Einlaufs erhalten, wie wir ihn sonst bei Körpertemperatur beobachtet hatten, nämlich 1273 cmm in 60 Minuten, also auf 100 Minuten berechnet 2122 cmm. Dem entsprechend betrug auch die mittlere Filtration in der Minute fast das dreifache der im Versuche 7 (11,6 zu 4,2) und machte über die Hälfte des Einlaufs aus.

Als wir nun im Versuch 10 die Temperatur der Injektionsflüssigkeit auf $15-16^{\circ}$ C. erniedrigten, wodurch der Einlauf sehr erheblich geringer ausfiel (559 cmm in 100 Minuten), wurde die mittlere Filtration auf 1,1 cmm in der Minute herabgesetzt und ihre Gesamtmenge machte jetzt mit 110 cmm nur $\frac{1}{5}$ des Einlaufs aus (Tabelle auf S. 112).

Eine gleiche oder noch grössere Filtration in der Zeiteinheit als in Versuch 8, von 12 bzw. 15,9 cmm, erhielten wir zwar auch in den Versuchen 9 und 11 bei einer Temperatur von nur 24° C., bei denen auch der Einlauf erheblich grösser war. Dies kann aber nicht als Gegengrund angeführt werden, da die Filtration auch noch von anderen Umständen abhängt, und da der Einfluss der Temperatur, den wir an einem und demselben Auge nachzuweisen vermochten, an und für sich gar nicht zu bezweifeln ist.

Halten wir die zuletzt erlangten Resultate mit denen der Versuche mit Quecksilberfüllung zusammen, so ergibt sich, dass der Einlauf bei unseren Filtrationsversuchen sich aus zwei Werten zusammensetzt, aus dem Verluste durch Filtration und aus der Volumszunahme durch Dehnung der Bulbuskapsel. Demgemäss haben wir durchweg gefunden, dass in den einzelnen Versuchen einem grösseren Werte der Filtration, wodurch derselbe auch bedingt sein mochte, eine grössere Menge des Einlaufs entsprach.

Von der Volumszunahme des Bulbus wissen wir durch die Versuche mit *Hg*-Füllung, dass sie im Verlauf des Versuches stetig abnimmt und zuletzt null werden muss; wir dürfen also annehmen, dass nach einer gewissen, wenn auch vielleicht sehr langen Zeit ein Zustand eintritt, bei welchem die Nachdehnung aufgehört hat, und wo in der Zeiteinheit nur noch soviel Flüssigkeit in das Auge eintritt, als in der gleichen Zeit aus demselben austritt. Wenn sich die Filtrationsgrösse inzwischen nicht geändert hat, so würde dieser Zustand, bei übrigens gleichen Bedingungen, dem Verhalten des lebenden Auges entsprechen.

Die bisher besprochenen Untersuchungen geben uns aber über das Verhalten der Filtration während der Dauer des Versuchs keinen Aufschluss; wir wissen nicht, ob sie sich an der Abnahme des Einlaufs beteiligt, ob sie gleich bleibt oder sich in entgegengesetztem Sinne ändert; es war daher nötig, zu diesem Zwecke weitere Versuche anzustellen, bei welchen während ihres Verlaufes in bestimmten Zwischenzeiten die stattgehabte Filtration und (einmal auch) die Gewichtszunahme ermittelt wurde. Es hat sich dabei ergeben, dass, wie zu erwarten, die Menge der im Auge zurückbleibenden Flüssigkeit im Anfang am grössten war, dann sich allmählich verminderte und zuletzt gleich null wurde, dass dagegen die Menge des Filtrates zuerst am geringsten war und im Verlauf des Versuches allmählich zunahm.

Es wurden vier derartige Versuche angestellt, sämtlich mit Einlauf in die vordere Kammer (9, 10 und 11 der obigen Tabelle und ausserdem ein weiterer, 12, der in die Tabelle nicht aufgenommen wurde, weil in seinem Verlauf eine Unterbrechung stattgefunden hatte, wodurch er zur Bestimmung der Gesamtwerte von Einlauf und Filtration unbrauchbar wurde). Wenn nur das Filtrat von Zeit zu Zeit gemessen werden sollte, war es nicht nötig, den Gang der Filtration zu unterbrechen; das Auge blieb an das Manometer angeschlossen, und während der Eine von uns die Werte des Einlaufs weiter notierte, führte der Andere rasch die Messung des bis dahin übergegangenen Filtrates aus, was bei der Langsamkeit der Filtration sehr gut gelang. Zur Bestimmung des Gewichtes musste natürlich das Auge jedesmal vom Manometer abgenommen und in Petroleum gewogen werden, was sich aber auch sehr rasch und ohne nennenswerte Störung des Versuches ausführen liess.

Wir teilen zunächst diesen mit Wägung kombinierten Versuch in seinen Einzelheiten mit und lassen darauf eine tabellarische Übersicht aller betreffenden Versuche folgen.

Versuch 11 vom 17. VII. 1905.

Fisches Schweinsauge. Filtration von 1% *NacC*-Lösung. Kanüle in die vordere Kammer eingeführt. Zimmertemperatur von 24° C.

1. Periode (von 10 Minuten).

Zeit	Druck in mm Hg	Einlauf in 1 Min. in cmm	Bemerkungen	Gesamt- einlauf	Gewicht des Auges in Petro- leum	Volumenzunahme, aus der Gewichts- differenz berechnet für 10 Min. für 20 Min.	Menge des Filtrats für 10 Min. für 20 Min.
5 Uhr 01	25,5	—	—	—	—	—	—
— 02	—	362	Luftblase bei Abschluss vom Auge	—	4,579 g	—	—
— 03	—	138	zurückgeführt, dann Hahn sofort	—	—	—	—
— 04	24	38	wieder geöffnet.	—	—	—	—
— 05	—	25	—	—	—	—	—
— 06	—	22,5	—	—	—	—	—
— 07	—	20,0	—	—	—	—	—
— 08	—	18,75	Ein grosser Flüssigkeitstropfen unten	—	—	—	—
— 09	—	17,75	am Auge sichtbar.	—	—	—	—
— 10	—	17,0	Versuch unterbrochen, Filtrat durch	676,5 cmm	—	—	—
— 11	—	17,0	mehrfaches Abstreifen des Auges ge- sammelt und gemessen. Auge in Petroleum gewogen.	in 10 Min.	4,697 g	599 cmm	68 cmm
2. Periode (von 10 Minuten).							
5 Uhr 14	—	—	Filtration wieder begonnen.	—	—	—	—
— 15	—	82,25	—	—	—	—	—
— 16	—	19,25	Alle 2 Minuten abgelesen, auf 1 Mi- nute berechnet.	—	—	—	—
— 18	—	18,875	—	—	—	—	—
— 20	—	18,25	Wieder ein grosser Tropfen am Auge	—	—	—	—
— 22	—	17,5	sichtbar.	—	—	—	—
— 24	—	17,5	Versuch wieder unterbrochen. Mes- sung und Wägung wie oben.	245,75 cmm in 10 Min.	4,713 g	81 cmm	117 cmm

Zeit	Druck in mm Hg	Einlauf in 1 Min. in cm	Bemerkungen	Gesamt- einlauf	Gewicht des Auges in Petro- leum	Volumenzunahme, aus der Gewichts- differenz berechnet für 10 Min. für 20 Min.	Menge des Filtrats für 10 Min. für 20 Min.
3. Periode (von 20 Minuten).							
5 Uhr 29		—	Alle 2 bis 5 Minuten abgelesen, auf 1 Minute berechnet. Luftblase bei Abschluss vom Auge zurückgebracht.				
— 31		41,125					
— 33		17					
— 34		—					
— 37		21					
— 39	24,5	18,625	Versuch unterbrochen. Messung und Wägung.	413,75 cm in 20 Min.	4,727 g	71 cm	167,5 cm
— 44		18,4					
— 49		17,45					
4. Periode (von 20 Minuten).							
5 Uhr 54	24	—	} Beobachtung durch Zufall vereitelt. Abschluss. Messung und Wägung.	ca. 435 cm in 20 Min.	4,731 g	10 cm	207,5 cm
— 56		52,25					
— 59		20					
6 Uhr 04		17,2					
— 09		17,25					
— 12 ¹ / ₂		?	5. Periode (von 20 Minuten).	422,25 cm in 20 Min.	4,731 g	0	165 cm
— 14		?					
6 Uhr 21	24	—					
— 26		34,4					
— 31	23	16,75					
— 36		15,75	Abschluss. Messung und Wägung. Die Messung des Filtrates fällt etwas weniger genau aus, weil das Mess- rohr die Gesamtmenge des Filtrates nicht mehr fasst, und die Messung deshalb durch Umfüllen in einen kleinen Messcylinder vorgenommen werden muss.			0	330 cm
— 37		15,5					
— 38	25,5	22,5					
— 41		16,7					

Die umstehende Übersicht sämtlicher Versuche (S. 118—119) zeigt, dass in jedem einzelnen Versuche die Menge des Filtrates im Anfang am geringsten war und dann stetig zunahm, mit alleiniger Ausnahme der fünften Periode von Versuch 11, in welcher sie wieder merklich geringer war, als in der vierten Periode. Diese Regel bewährte sich auch bei verschiedenen Temperaturen, wie aus dem Vergleich des bei niedriger Temperatur ($15,8^{\circ}$ C.) angestellten Versuches 10 mit den übrigen, bei 24° C. angestellten hervorgeht; auch die überaus geringen Werte des Filtrates in diesem Versuch zeigen die stetige Zunahme im Verlauf der Zeit, wie die weit höheren Werte der anderen Versuche. Dieselbe Zunahme bietet auch der Versuch 12 in seinen beiden, durch ein grösseres zeitliches Intervall geteilten Abschnitten.

Dieses Ergebnis setzt uns endlich in den Stand, die Frage zu beantworten, welche schon im ersten Abschnitt aufgeworfen wurde und bis jetzt noch nicht vollständig entschieden werden konnte, ob die im Verlauf eines Versuches auftretende Abnahme des Einlaufs ganz oder auch nur teilweise auf eine Abnahme der Filtration bezogen werden kann. Unsere Versuche mit filtrierenden Membranen, welche die Beobachtungen Runebergs bestätigten, hatten die Möglichkeit offen gelassen, dass die Filtration sich an der gedachten Erscheinung beteilige; unsere übrigen Beobachtungen hatten gezeigt, dass der Hauptanteil jedenfalls dem immer mehr abnehmenden Zurückbleiben von Flüssigkeit im Auge zuzuschreiben ist. Jetzt können wir den Anteil der Filtration ganz zurückweisen, da wir statt einer Abnahme im Gegenteil eine Zunahme des Filtrates im Verlauf des Versuches beobachtet haben. Diese Zunahme hatte auch bei ziemlich langer Versuchsdauer (bis zu 100 Minuten) noch nicht ihr Ende erreicht. Mit der Zeit muss sie natürlich aufhören; ob die geringere Filtration in der fünften Periode des Versuches 11 schon als Ausdruck eines mehr stationären Verhaltens oder als Folge irgend einer zufälligen Störung zu betrachten ist, muss dahingestellt bleiben.

Diese Zunahme des Filtrates deutet darauf hin, dass gewisse Hindernisse für den Übertritt der Flüssigkeit in die Gefässe, vielleicht auch für den Flüssigkeitsstrom in den letzteren, durch die Bewegung der Flüssigkeit allmählich beseitigt werden. Man könnte auch daran denken, dass eine gewisse Zeit darüber hinging, bis die Flüssigkeit überhaupt erst in die abführenden Gefässe gelangt; dagegen spricht aber die Beobachtung bei Injektion von filtrierenden Farbstofflösungen, bei welcher man in kürzester Zeit von der vorderen Kammer aus die episkleralen Gefässe gefüllt findet.

Versuchs-Nr.	Periode des Versuchs	Zeitdauer in Minut.	Druck in mm Hg	Temperatur	Einlauf (e) in cmm	
					wirklicher	auf 10 Minut. berechnet
11 (LVI)	1. Periode	10	26	24° C.	(in 10 Min.) 676,5	676,5
"	2. "	10			(in 10 Min.) 245,75	245,75
"	3. "	20			(in 20 Min.) 413,75	206,87
"	4. "	20			(in 20 Min.) 435,0	217,5
"	5. "	20			(in 20 Min.) 422,25	211,12
"	Ganz. Versuch	80			2193,25	
9 (LIV)	1. Periode	10	25	24° C.	1144,5	
"	2. "	10			184,5	
"	3. "	10			171,5	
"	4. "	10			245,75	
"	Ganz. Versuch	40			1746,25	
10 (LV)	1. Periode	10	26	15,8° C.	282,75	282,75
"	2. "	10			30,75	30,75
"	3. "	20			79,75	39,875
"	4. "	20			54,75	27,375
"	5.+6. "	40			111,25	27,81
"	Ganz. Versuch	100			559,25	
12 (LIII)	I. Teil					
"	1. Periode	25	26	24° C.	554,5	
"	2. "	25			369,75	
"	1.+2. "	50			924,25	
12 (LIII)	II. Teil					
(nach 57 Min. Pause)	1. Periode	25			302,75	
"	2. "	25			284,50	
"	3. "	25			260,75	
"	1.+2.+3.Per.	75			848,00	

Im direkten Gegensatz zu diesem Verhalten der Filtration steht das der Volumszunahme des Auges durch zurückgeliebene Flüssigkeit. Ganz im Einklang mit dem, was zu erwarten, ist dieselbe im Anfang sehr beträchtlich, sinkt dann rasch auf einen ziemlich geringen Wert herab, um sich von da an mit abnehmender Geschwindigkeit weiter zu vermindern und zuletzt null zu werden.

Im Versuch 11 wurde dieselbe durch die Gewichts differenzen direkt ermittelt, in den übrigen Versuchen (9, 10 und 12) aus dem Unter-

Volumszunahme (v) durch Wägung bestimmt, in cmm		Menge des Filtrats (f)		$s = f + v$	Verlust $d = s - e$
wirkliche	auf 10 Min. berechn.	wirkliche Menge	auf 10 Min. berechn.		
599	599	68	68	667	9,5
81	81	117	117	198	47,75
71	35,5	335	167,5	406	7,75
20	10	415	207,5	435	0
0	0	330	165	330	92,25
771		1265		2036	157,25
Volumszunahme als Differenz von $e - f$ berechnet					
1079,5	1079,5	65	65		
109,5	109,5	75	75		
51,5	51,5	120	120		
25,75	25,75	220	220		
1266,25		480			
282,75	282,75	0	0		
23,25	23,25	7,5	7,5		
57,25	28,625	22,5	11,25		
32,25	16,125	22,5	11,25		
53,75	13,44	57,5	14,375		
449,25		110,0			
489,50	196	65	26		
234,75	93,9	135	54		
724,25		200			
82,75	33,1	220	88		
44,50	17,8	240	96		
— 9,25		270	108		
118,00		730			

schied zwischen Einlauf und Filtrat berechnet. Ihr Verhalten stimmt aber in diesen letzteren Versuchen mit dem des ersteren so sehr überein, dass sie sich gegenseitig zur Bestätigung dienen.

Die hohen Einlaufswerte der ersten Minuten hatten wir selbstverständlich immer auf Volumszunahme, auf Wiederfüllung des zuvor entspannten und mehr oder minder collabierten Auges bezogen. Wir ersehen aber aus den Versuchen, dass diese Volumszunahme, wenn auch in sehr viel geringerem Masse, noch lange Zeit fort dauert, obwohl das Auge seine normale Form und Spannung vollkommen wieder

erlangt hat. Ihr Ende erreichte sie frühestens nach 50—60 Minuten, hatte aber zuweilen auch nach 100 Minuten noch nicht ganz aufgehört.

Auf die mutmassliche Ursache dieses Verhaltens werden wir am Schlusse dieser Arbeit zurückkommen.

XI.

Filtrationsversuche bei Körpertemperatur am vorher nicht entspannten Auge.

Aus den oben mitgeteilten Versuchen ergibt sich die Berechtigung des Einwandes, den Uribe y Troncoso gegen die bisherigen Messungen der Filtration des Auges erhoben hat, dass wir dabei nur den Einlauf, aber nicht das Filtrat selbst gemessen haben, und dass es nicht ohne Weiteres zulässig ist, beide für gleich gross zu erklären. Da wir aber eine Methode gefunden haben, durch welche am ausgeschnittenen Auge das Filtrat mit hinreichender Genauigkeit direkt gemessen werden kann, so scheint sich die Aussicht zu bieten, unser Ziel auf diesem Wege zu erreichen. Die bisher erlangten Resultate sind aber noch nicht derart, dass wir daraus den Betrag der vitalen Filtration mit Bestimmtheit ersehen und als Mass für die Kammerwasserabsonderung verwerten könnten. Es hat sich nämlich hier eine ähnliche Schwierigkeit ergeben, wie früher bei den Messungen des Einlaufs, dass nämlich die Werte im Verlauf der Zeit nicht konstant waren. Wie oben besprochen wurde und aus der Tabelle auf S. 118—119 zu ersehen ist, nahm in den bisherigen Versuchen die Menge des Filtrats (im Gegensatz zu der des Einlaufs) mit der Zeit zu. Hierdurch entsteht wieder eine Unsicherheit in der Beurteilung der Resultate; können wir auch als wahrscheinlich annehmen, dass die maximalen Werte als die richtigen zu betrachten sind, so blieb doch meistens ungewiss, ob der Versuch lange genug fortgesetzt wurde, um zu denselben zu gelangen. Auch wurde keiner von diesen Versuchen bei Körpertemperatur angestellt, was, wie wir gesehen haben, zur Gewinnung von Normalwerten notwendig ist, da die Filtration mit der Temperatur der Einlaufsflüssigkeit zunimmt.

Wir waren leider aus äusseren Gründen genötigt, diese Versuche abzurechnen, und müssen es dahingestellt sein lassen, ob bei einer späteren Wiederaufnahme derselben sich die angegebene Schwierigkeit beseitigen lässt. Wir haben aber noch einen anderen Weg versucht,

der uns zu brauchbaren Resultaten geführt hat, über welche wir jetzt berichten wollen.

Während des Lebens dürfen wir Zu- und Abfluss gleich gross setzen und annehmen, dass das Volumen des Auges im Verlauf der Zeit ungeändert bleibt. Als Ursache der bei unseren Versuchen auftretenden Zunahme des Augeninhaltes haben wir die vorausgehende, nach dem Tode oder nach der Enucleation erfolgende Entspannung und Abgabe von Flüssigkeit nachgewiesen. Wollen wir die erstere vermeiden, so müssen wir der letzteren vorbeugen; wir können dies dadurch tun, dass wir im Augenblick des Todes so viel Flüssigkeit in das Auge eintreten lassen, dass der Augendruck nicht absinkt, sondern genau so hoch bleibt wie zuvor im Leben. Es lässt sich erwarten, dass der Einlauf, wenn dies gelungen ist, nicht die sonst vorkommenden hohen Anfangswerte zeigen, sondern sich von Anfang bis zu Ende auf einer konstanten Höhe erhalten wird. Ist letzteres tatsächlich der Fall, so dürfen wir auch umgekehrt daraus schliessen, dass das Verhalten dem während des Lebens entspricht, und dass, wenigstens sehr annähernd, die Mengen des Einlaufs und des Filtrats übereinstimmen. Wollen wir dabei das Verhalten des lebenden Auges möglichst genau nachahmen, so müssen wir natürlich den Versuch bei Körpertemperatur ausführen.

Es ist uns auf diese Art bei Versuchen am Kaninchenauge gelungen, nach Ablauf einiger weniger Minuten Werte des Einlaufs zu erhalten, welche bis zum Ende des Versuchs vollkommen konstant blieben.

Versuch vom 14. VI. 1905 (Prot.-Nr. XX).

Es wurde an einem lebenden Kaninchen, dessen Kopf an einem Kaninchenhalter befestigt war, die mit dem Manometer verbundene Durchstichskanüle eingeführt und die Höhe des intraokularen Druckes nach der üblichen Weise gemessen. Derselbe betrug 21 mm Hg.

Zwischen Auge und Manometer befand sich das S. 60 beschriebene, zur Injektion erwärmter Flüssigkeit dienende U-Rohr eingeschaltet, das in einem grossen Blechkasten mit Wasser von 37 bis 38° C. aufgehängt war. Trotz der verschiedenen Kautschukverbindungen übertrug sich der leiseste Druck am Auge sehr prompt auf das Manometer und war an kleinen Schwankungen der Luftblase zu erkennen.

Nach Messung des intraokularen Druckes wurde das enge Manometer vom Auge abgeschlossen, im weiten Manometer derselbe Druck hergestellt, die Luftblase auf den Anfang des Filtrationsrohres zurückgebracht und die Verbindung zum Auge wieder geöffnet. Man sah jetzt kleine Schwankungen an der Luftblase auftreten, die aber dabei den gleichen mittleren Stand be-

hielt, offenbar in Folge von kleinen Bewegungen der Lider oder Augenmuskeln.

Nun wurde das im Halter befestigte Tier rasch dekapitiert und, sowie am Filtrationsrohr ein Vorrücken der Luftblase bemerkbar wurde, mit der kleinen Spritze 1% *NaCl*-Lösung in das Manometer eingepresst und dadurch das *Hg* im absteigenden Schenkel des engen Manometers auf dem Nullpunkt erhalten. Momentan stieg dabei durch einen kleinen Überschuss an Flüssigkeit der Druck auf 22 mm, was aber sofort durch die *Hg*-Pumpe korrigiert wurde, worauf der Druck bei wiederhergestellter Verbindung mit dem Auge auf 21 mm *Hg* stehen blieb. Zwischen dem Moment der Dekapitation und dem Beginn der Filtrationsbeobachtung vergingen nur zwei Minuten.

Während der letzteren wurde der ganze Kopf in Watte gehüllt und durch darüber gelegte, in Wasser von 50° C. getauchte Wattebäusche vor Abkühlung geschützt.

Druck	Luft- temperatur im Wärmkasten	Wasser- temperatur	Zeit	Einlauf in cmm
21,5 mm <i>Hg</i>	34,5° C.	37,0° C.	6 Uhr 55	
			— 56	7,0
			— 57	6,5
			— 58	6,5
			— 59	6,0
			7 Uhr 00	5,5
			— 01	6,0
			— 02	6,0
			— 03	6,5
			— 04	5,5
			— 05	5,5
			— 06	6,0
			— 07	5,5
			— 08	5,5
			— 09	6,0
			— 10	4,5 ¹⁾
21 mm <i>Hg</i>	36,8° C.		— 11	5,5
			— 12	5,5
			— 13	5,5
			— 14	5,5
			— 15	5,5
			— 16	5,5
			— 17	5,0
			— 18	6,0

Wie man sieht, hatte sich der Einlauf von der vierten Minute an hier so konstant erhalten, wie es bei der Schwierigkeit, die Versuchsbedingungen genau herzustellen und zu erhalten, nur erwartet werden kann; er betrug im Mittel 5,6 cmm.

¹⁾ Vorübergehende Störung durch Druck auf das Auge.

Versuch vom 20. VII. 1905 (Prot.-Nr. LXI).

Bei diesem Versuch haben wir die Abkühlung des Auges nach dem Tode in vollkommenerer Weise verhütet, indem wir den Kopf des Tieres in den mit warmem Wasser gefüllten Blechkasten einführten, welcher auch das U-förmige Erwärmungsrohr enthielt. Zu diesem Zweck war der Kopfhalter nicht wie gewöhnlich an dem Kaninchenbrett, sondern innerhalb des Blechkastens befestigt; der Kopf des auf dem Rücken aufgebundenen Tieres konnte daher von Anfang an im oberen Teil des Blechkastens befestigt werden, in welchen er durch einen seitlichen Ausschnitt hineinragte. Nach der Dekapitation wurde nun das Brett entfernt, während der am Halter festgehaltene Kopf seine Lage unverändert beibehielt; durch den übergedeckten Deckel des Kastens wurde nun die Temperatur konstant erhalten. Die Einführung der Stichkanüle in die vordere Kammer war bei dieser Einrichtung zwar unbequem, gelang aber vollkommen. Die Druckmessung ergab eine Höhe von 18 mm *Hg*, auf welcher das *Hg* längere Zeit stehen blieb.

6 Uhr 6 Min. Dekapitation. Während derselben stieg der Druck durch Bewegungen des Tieres auf 22 bis 23 mm, fing dann an zu sinken und wurde durch Injektion von wenig Flüssigkeit auf 20 mm *Hg* gehalten.

Temperatur des Wassers im Wärmkasten 32° C. Beginn der Beobachtung 3 Minuten nach der Dekapitation.

Druck	Zeit	Einlauf in cmm		Bemerkungen
		in 2 Min.	in 1 Min.	
20 mm <i>Hg</i>	6 Uhr 09			
	— 10		10	
	— 11		5,75	
	— 12		4,75	
	— 13		4,5	
	— 14		3,0	
	— 16	8	4,0	
	— 18	8	4,0	
	— 20	8,25	4,125	
	— 21		4,0	
	— 22		3,75	
	— 23		4,0	
	— 24		4,0	
	— 25		4,0	
	— 26		3,5	
	— 27		4,5	
	— 28		4,0	
	— 30	8,0	4,0	
		in 3 Min.		
	— 33	12	4,0	
	— 34		3,5	
	— 35		4,25	
	— 36		3,75	
	— 37		4,0	
	— 38		4,0	
	— 39		4,0	

Störung durch Druck auf das Auge.

Der Einlauf war hier auch von der 4. Minute an konstant und noch gleichmässiger als im vorigen Versuch, er betrug im Mittel ca. 4 mm.

Da sich also bei dieser Versuchsmethode der Einlauf konstant erhielt und da wir annehmen dürfen, dass keine nennenswerte Menge Flüssigkeit im Auge zurückblieb, so folgt daraus, dass dabei auch die Menge des Filtrates zeitlich konstant gewesen sein muss. Wir haben also bei dieser Methode die Schwierigkeit vermieden, welcher wir bei der direkten Bestimmung der Filtration in der Zunahme der Werte im Verlauf der Zeit begegnet sind.

Bei früheren Versuchen an Kaninchen hatte Bentzen eine Filtration von 6 mm, Niesnamoff eine solche von 7 mm in der Minute gefunden, während unsere jetzigen Versuche 4,0 und 5,6 mm ergeben haben. Es wird dadurch aufs neue bestätigt, was der Eine von uns schon bei den damaligen Untersuchungen hervorgehoben hatte, dass der Flüssigkeitswechsel des Auges ein äusserst langsamer ist. Die Filtration und somit auch die Kammerwasserabsonderung scheint sich nach den jetzt erlangten Resultaten um etwas, aber nicht um viel niedriger herauszustellen, als wir bisher angenommen hatten.

Bei der geringen Zahl der angestellten Versuche bedürfen indessen die oben angeführten Zahlen noch der Bestätigung durch weitere Versuche, womöglich auch mit Bestimmung des Druckes in den abführenden Venen, ehe sie als sichergestelltes Mass der Kammerwasserabsonderung zu betrachten sind. Es muss aber hervorgehoben werden, dass es, schon wegen der individuellen Unterschiede, nicht möglich ist, einen Normalwert der Filtration bei einer bestimmten Tierart zu ermitteln, und dass man nur darauf ausgehen kann, die Grenzen der vorkommenden Schwankungen und einen ungefähren Mittelwert festzustellen.

XII.

Elastische Nachwirkung am Auge und deren Bedeutung zur Verhütung von Drucksteigerungen.

Die hier mitgeteilten Untersuchungen, welche zunächst auf die Erforschung der normalen Filtrationsverhältnisse des Auges ausgingen, haben nebenher noch als wichtiges Resultat ergeben, dass das Auge im Stande ist, sich innerhalb ziemlich kurzer Zeit in gewissem Masse Volumsänderungen seines Inhaltes anzupassen, ohne dass es zu Änderungen des Augendruckes zu kommen braucht. Die absoluten Werte dieser Volumsänderungen sind zwar nur gering; die in Rede stehende Eigenschaft des Auges ist aber trotzdem von grosser Bedeutung, weil sie

der Entstehung von Druckschwankungen entgegenwirkt. Kann z. B. das Auge bei vermehrtem Flüssigkeitszufluss allmählich an Raum gewinnen, so wird die sonst unausbleibliche Steigerung des Augen Druckes viel eher vermieden werden. Dies ist noch von besonderer Wichtigkeit wegen der hohen Elastizität der Augenkapsel, in Folge deren, wie die Versuche von v. Schulten und W. Koster gezeigt haben, die bei steigendem Druck eintretenden unmittelbaren Volumszuwüchse äusserst gering sind, so dass schon eine minimale Zunahme des Bulbusinhaltes eine sehr merkliche Druckerhöhung nach sich zieht. Durch die allmähliche Nachwirkung des Druckes kann aber, wie oben gezeigt wurde, die Volumszunahme bei derselben Steigerung des Druckes auf mehr als das Doppelte anwachsen.

Die absoluten Werte derselben bleiben dabei doch ziemlich klein. Um eine Vorstellung davon zu geben, haben wir für den oben (S. 93—94) erwähnten Versuch an einem mit *Hg* gefüllten Schweinsauge, in welchem bei einem Druck von 25 mm *Hg* in einer Stunde 139, rund 140 cmm, und davon in der ersten Minute 60 cmm in das Auge einliefen, die ungefähre Zunahme des Volums, der Oberfläche und des Radius berechnet (wobei Kugelform des Auges angenommen wurde). Der Inhalt desselben nach Schluss des Versuches war = 6300 cmm.

	Vor Beginn des Versuchs	nach Ende	Absolute Zunahme in 1 Stunde	Relative Zu- nahme
Inhalt in cmm	6160	6300	140 cmm	$\frac{1}{44}$
Oberfläche in qmm	1624,86	1631,72	6,86 qmm	$\frac{1}{237}$
Radius in mm	11,374	11,398	0,024 mm	$\frac{1}{474}$

Ist schon die Zunahme des Volums um $\frac{1}{44}$ als unbedeutend zu bezeichnen, so ist die Vergrösserung der Oberfläche um $\frac{1}{237}$ äusserst gering und die des Radius $\frac{1}{474}$ ($= 24 \mu$) längst ausserhalb des Bereichs direkter Beobachtung. Es gilt also für die Endwerte dasselbe, wie für die unmittelbaren Wirkungen der Dehnung, für welche der Eine von uns dieses Verhalten auf Grund der Koster'schen Versuche schon früher¹⁾ dargelegt hat. Bei diesen Versuchen wurde nur die unmittelbare Volumszunahme des Auges bestimmt und auf

¹⁾ Cirkul.- u. Ernährungsverh. d. Auges. 2. Aufl. S. 300.

die Nachwirkung nicht weiter geachtet, vielmehr der gesamte Betrag des späteren Einlaufs auf Filtration bezogen; auch bei den sonstigen Untersuchungen über die Elastizität des Auges scheint die Nachwirkung unberücksichtigt geblieben zu sein.

Was nun die Frage betrifft, worauf dieser verhältnismässig hohe Grad von Nachwirkung bei Druckschwankungen beruht, so kann dabei ausser der Dehnung auch eine Formveränderung des Auges im Spiel sein, durch welche dasselbe sich der Kugelgestalt nähert oder davon entfernt. Da von allen möglichen Körperformen die Kugel bei gegebener Oberfläche den grössten Rauminhalt besitzt, so könnte theoretisch das Auge, auch wenn seine Wandung gar nicht gedehnt würde, durch blosse Annäherung an die Kugelgestalt mehr Inhalt aufnehmen als zuvor. Bei einer solchen Formveränderung wird wesentlich die Biegsamkeit der Augenwand in Anspruch genommen, die nur geringe Kraft in Anspruch nimmt. Tatsächlich sind aber zur Überführung in die Kugelgestalt stets auch gewisse Dehnungen erforderlich; so kann z. B. die stärkere Krümmung der Hornhaut nur dadurch in die geringere der Lederhaut übergeführt werden, dass die Randzone zwischen beiden gedehnt wird. Im Beginn des Druckes muss daher die Dehnung eine ungleiche sein, und erst nach möglichster Annäherung an die Kugelgestalt (die aber nur unvollkommen erreicht wird) kann bei weiterer Steigerung des Druckes eine gleichmässige Weiterdehnung erfolgen.

Diese Voraussetzung wird durch Versuche von W. Koster bestätigt, welcher die Formveränderung des Auges bei steigendem Druck untersucht hat. Er fand mit Hilfe von feinen Messapparaten, dass an ausgeschnittenen Schweinsaugen bei Drucken von 5 bis 80 mm Hg von allen Durchmessern des Auges nur der sagittale sich verlängerte, während die anderen unverändert blieben. Erst bei noch höheren Druckgraden traten auch Verlängerungen an den Äquatorialdurchmessern auf. Beim normalen menschlichen Auge, dessen Durchmesser Koster mit Hilfe von Gipsabgüssen bestimmte, trat eine gleiche Formveränderung auf, die aber nur bis zu einer Druckhöhe von 25 mm Hg zunahm; darüber hinaus erfolgte kaum mehr eine Änderung der Durchmesser, und die noch vorhandene Abweichung von der Kugelgestalt blieb trotz erheblich gesteigertem Drucke fortbestehen.

Die Wirkung beider Einflüsse lässt sich beim Auge, wie man sieht, nur schwer aus einander halten. Da tatsächlich eine gewisse Annäherung an die Kugelgestalt stattfindet, so muss dieser ein gewisser Einfluss zugeschrieben werden. Vermutlich würde aber das

Verhalten an einem genau kugelförmig gestalteten Augapfel nicht wesentlich, wenn vielleicht auch quantitativ verschieden sein. Wir schliessen dies aus dem Umstande, dass alle organisierten Membranen einer besonders starken elastischen Nachwirkung unterworfen sind, und dass wir selbst an elastischen Hohlkugeln aus homogenem Material ein ähnliches Verhalten konstatieren konnten. Wie aus den im IX. Abschnitt berichteten Versuchen mit Kautschukballons hervorgeht, war auch bei diesen eine lang anhaltende Nachdehnung zu konstatieren, die allerdings weit rascher abnahm und deren Gesamtbetrag deshalb relativ viel geringer war als am Auge.

Bei pathologischen Zuständen, im höheren Alter und bei sonstiger Zunahme der Rigidität der Sklera, wird wohl auch die hier besprochene Nachdehnung der Augenwandung geringer werden, und dadurch eine grössere Disposition zu glaukomatöser Drucksteigerung gegeben sein. Dass in den erwähnten Fällen eine solche Disposition besteht, ist ja allgemein angenommen; ihr Auftreten lässt sich aber bei den bisherigen Vorstellungen von der Elastizität der Augenkapsel nicht leicht erklären. Wenn die Dehnbarkeit derselben schon im physiologischen Zustande so äusserst gering ist, wie die Untersuchungen ergeben haben, so versteht man nicht recht, was eine pathologische Sklerosierung daran gross ändern kann. Dies stellt sich aber nach unseren jetzigen Erfahrungen anders. Man hatte die Dehnbarkeit der normalen Augenwandung zu gering angeschlagen, da man sie nur nach den momentanen, aber nicht nach den andauernden Wirkungen einer Drucksteigerung beurteilte; ziehen wir die letzteren mit in Betracht, so müssen wir ihr eine etwa doppelt so grosse Dehnbarkeit zuschreiben und begreifen leicht, dass eine pathologische Sklerosierung sie doch um eine beträchtliche Quote vermindern kann.