

Archiv
für
pathologische Anatomie und Physiologie
und für
klinische Medicin.

Bd. LXV. (Sechste Folge Bd. V.) Hft. 4.

XXXII.

Zur Lehre von den Flüssigkeitsströmungen im lebenden
Auge und in den Geweben überhaupt.

Von Dr. Max Kries.

(Hierzu Taf. XX. Fig. 1 — 2.)

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Herrn Prof. Kühne in Heidelberg.)

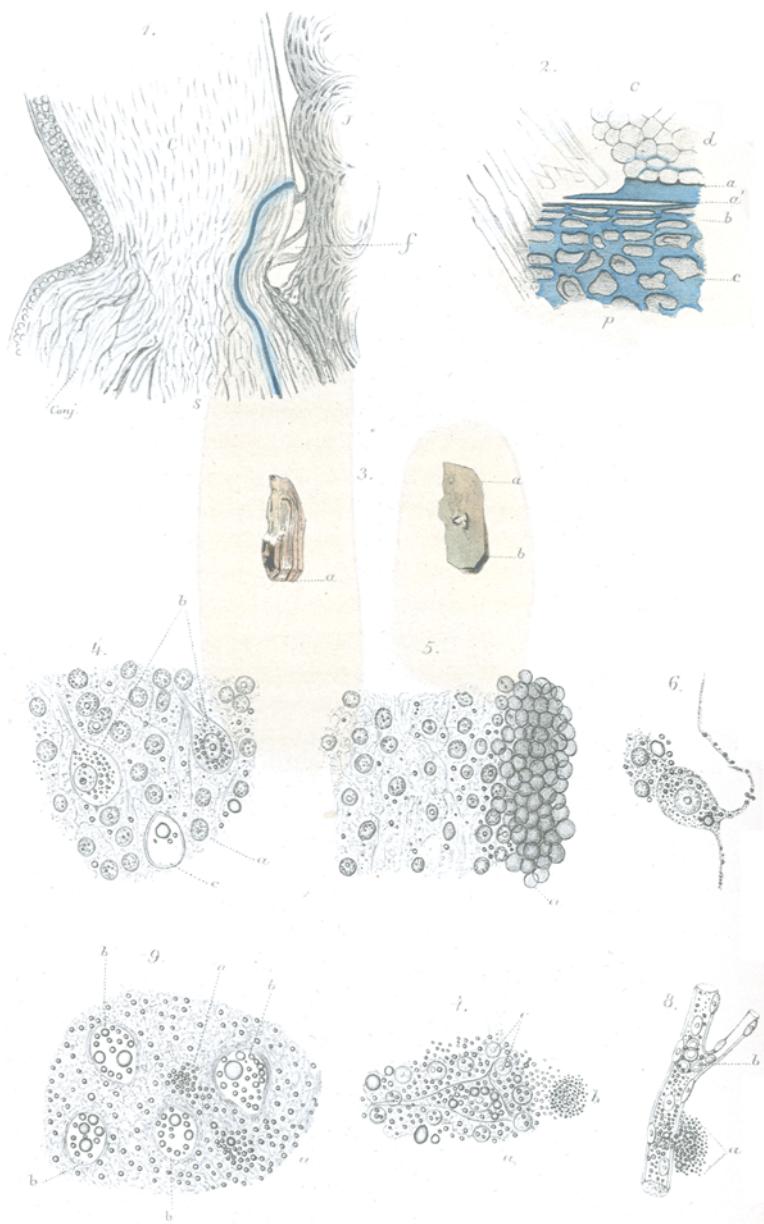
Im Verlaufe meiner Untersuchung über Resorption von der vorderen Augenkammer aus¹⁾ war ich zu der Ueberzeugung gekommen, dass sich auf ähnliche Weise vom Glaskörper aus jedenfalls noch Vieles finden lasse. Ich habe deshalb eine Reihe von Injectionen in dem Glaskörper unternommen, um zu erforschen, auf welchen Wegen die betreffenden Stoffe weitergeschafft würden. Es fehlt hier nehmlich fast gänzlich an eingehenderen Untersuchungen am lebendem Thiere. Die Injectionen von Schwalbe²⁾ sind sämmtlich an todteten und nicht einmal immer frischen Augen gemacht und auch Leber³⁾ hat vorwiegend mit ausgeschnittenen Augen experimentirt, oder unter zu abnormen Verhältnissen, um physiologische Rückschlüsse zu gestatten. Mimocky⁴⁾ untersuchte

¹⁾ Dieses Archiv Bd. LXII. S. 537 ff.

²⁾ Schultze's Archiv Bd. VI. S. 1 ff. u. S. 261 ff.

³⁾ Graefe's Archiv XIX. 2. S. 87 ff. u. XX. 2. S. 205 ff.

⁴⁾ Graefe's Archiv XI. 2. S. 84 ff.



zwar am lebenden Thiere, aber auf umgekehrtem Wege von ausserhalb des Auges aus.

Es ist nun für derartige Versuche sehr wesentlich, dass nicht nur die Gewebe nicht abgestorben, sondern auch das Auge selbst in seiner normalen Lage und in seinen normalen Beziehungen sei, da sonst die Einwirkung der Blut- und Lymphcirculation, die ja für die Ernährung von der allerhöchsten Bedeutung sind, verloren geht. Die Untersuchung frischer, noch nicht abgestorbener Augen ergiebt höchstens, wie die Saftströmungen sein könnten, und nur das lebende Auge in der natürlichen Lage und möglichst schonend behandelt kann Aufschluss geben, wie dies wirklich geschieht. Beispielsweise hat Leber¹⁾ durch Anwendung von Eisenvitriollösung und Ferrideyankalium an der frisch ausgeschnittenen Cornea die Kittleisten zwischen den Epithelien und die Hornhautgrundsubstanz tingirt; am lebenden Auge habe ich nun nach einer ähnlichen Methode dieselben Gewebstheile gefärbt²⁾). Zugleich aber wurde nachgewiesen, dass neben dem reinen Diffusionsstrom der ausgeschnittenen Cornea, der von der vorderen Kammer aus einfach nach vorn geht, noch eine besondere Gewebsströmung vorhanden ist, die vom Centrum der Hornhaut nach der Peripherie führt. Die Grundsubstanz der Gewebe, und also auch die Kittleisten, verhalten sich nicht blos histologisch verschieden den angegebenen Reagentien gegenüber, sondern spielen auch die physiologische Rolle des Zuträgers von Ernährungsmaterial für die Zellen unter dem Einfluss der in den Geweben durch Blut- und Lymphlauf, Verdunstung u. s. w. verursachten Strömungen. Während demnach die Beobachtung der gefärbten Kittleisten etc. auch am frischesten ausgeschnittenen Organ nur eine histologische Differenz anzeigt, so erlaubt dasselbe Bild, wenn von einem noch lebenden Auge erhalten, die manichfachsten Schlüsse auch auf die physiologischen Verschiedenheiten der Gewebsbestandtheile³⁾.

Was nun im Besonderen die Versuche betrifft, über die ich hier zu berichten habe, so wurden sie auf folgende Weise ange-

¹⁾ Graefe's Archiv XIV. 3. S. 300 ff.

²⁾ I. c.

³⁾ Die soeben erst erschienenen Arbeiten von Arnold und Thoma, Versuche mit Indigecarmine betreffend, haben, wie weiter unten zu ersehen, zu ganz ähnlichen Resultaten bezüglich der Kittsubstanz der Epithelien geführt (Dieses Archiv Bd. LXIV.).

stellt. Bei einem gut aufgebundenen Kaninchen wurde ein Faden unter den Rectus superior durchgeführt, das Auge nach innen und unten gezogen und dort festgehalten. Eine Spritze, die 30 Cubikcentimeter fasste, wurde zu 20 Ccm. mit einer zehnprozentigen Lösung von Ferrocyanikalium gefüllt, während die übrigen 10 Ccm. Luft enthielten. Mit einer feinen Einstichsäule versehen, wurde die Spritze etwas hinter dem Aequator bulbi, um die Linse nicht zu verletzen, eingeführt, der Stempel langsam um 2 Ccm. vorwärts bewegt und eine bis zwei Minuten in dieser Stellung gelassen. Erst nachdem der Stempel wieder in seine ursprüngliche Stellung zurückgebracht war, wurde die Spritze wieder entfernt. Auf solche Weise wurden höchstens ein bis zwei Tropfen der Lösung, also circa 5—10 Milligramm krystallisierten Blutlaugensalzes, in den Glaskörperraum gebracht. Nach dieser Methode, die möglichste Schonung des Auges erstrebte und ohne jeglichen Nachtheil ertragen wurde, die aber erst nach zahlreichen missglückten Versuchen zur Anwendung kam, gelang es mir, Augen zu erhalten, an denen selbst nach der Reaction mit Eisenchlorid der Einstichspunkt nur mit Mühe aufzufinden war. Sämtliche injicirte Flüssigkeit musste also innerhalb des Glaskörperraumes geblieben sein, und nur von dort aus war Diffusion und Resorption möglich. Nachdem das Versuchstier noch 1—4 Stunden am Leben geblieben war, wurde es mittelst Enthauptung getötet, die Augen sofort ausgeschnitten und in eine alkoholische Lösung von Eisenchlorid mit ein paar Tropfen Eisessig gebracht. Um die Einwirkung des Reagens zu beschleunigen, wurde zuweilen der Bulbus im Aequator aufgeschnitten, doch hatte dies keinen besonderen Vortheil. Nachdem die Augen gehärtet waren, zeigte sich nun Folgendes. Zunächst war eine stetige Zunahme der Blaufärbung im Glaskörper von hinten nach vorn zu bemerken. Um den Sehnerveneintritt war fast gar keine Färbung; dagegen war sie besonders intensiv in einem Ringe um den Linsenrand, wo sich die Hyaloidea zwischen Linse und Corpus ciliare hineinwölbt. Histologische Details waren nicht zu sehen, indem in der überwiegenden Grundsubstanz des Glaskörpers den spärlichen Zellen und Zellenbruchstücken gegenüber und bei der tiefblauen Färbung des Ganzen Nichts nachzuweisen war. Weiterhin war sehr starke Blaufärbung im Petit'schen Kanal und den Wandungen desselben; auch die Linsenkapsel zeigte in ihrer hinteren Hälfte im Bereiche der teller-

förmigen Grube und des Petit'schen Kanals deutliche Bläbung. Innerhalb der Linsensubstanz war die Färbung nur schwach; mikroskopisch war bei dünnen Schnitten nichts zu sehen, bei dickeren schwache diffuse Blaufärbung. Intensivere Färbung war am hinteren Pole, und hier konnte man schon mit blossem Auge öfter eine Blaufärbung des hinteren Linsensterne sehen, die auch mikroskopisch bestätigt wurde. Mit blossem Auge konnte man auch wahrnehmen, dass die Färbung innerhalb der Linsenkapsel nicht gleichmässig, sondern mehr gefleckt war, doch konnte dafür kein genügender Grund aufgefunden werden. An solchen stärker gefärbten Stellen sah man zuweilen an Präparaten eine einzelne farblose Linsenfaser, nur zum Theil mit einem blauen Ueberzuge versehen, am Ende herausragen. Dadurch scheint es mir erwiesen, dass auch in der Linse es nur die Zwischensubstanz ist, die das Blutaugensalz aufnimmt. Der exacte Beweis ist hier sehr schwer zu führen, da die Linse selbst nur sehr wenig aufnimmt und eben deswegen an dünnen Schnitten sehr wenig zu sehen ist. Neben den schon erwähnten einzelnen positiven Bildern an stärker gefärbten Stellen ist es besonders das Verhalten der Zwischensubstanz an dem hinteren Linsensterne, was ich für beweisend halte. Die Linsenfärbung, die bei kurzer Dauer des Versuches noch gar nicht wahrzunehmen ist, dringt auch im Verlaufe von 3—4 Stunden — länger dauerten bisher meine Versuche nicht — nur höchstens bis zu einem Sechstel der Linsendicke ein. Bei der geringen Menge eingebrachten Blutaugensalzes und dem raschen Abfluss auf anderen Wegen wäre intensivere und durchgehende Linsenfärbung nur bei verlängerter Dauer des Versuches und bei wiederholten Injectionen während desselben möglich, was ich einer späteren Untersuchung vorbehalte.

Die Netzhaut zeigte sich nach vorn gleichfalls gefärbt, aber nie sehr stark, während die Choroidea fast ungefärbt blieb. An der Netzhaut waren Einzelheiten nur sehr schwer zu erkennen, da die durch die Natur der Reagentien gebotene Behandlung des Auges einer feineren Untersuchung derselben gerade nicht besonders günstig war. Die Opticusfaserschicht war nur sehr schwach gefärbt, etwas stärker die Ganglienzellenschicht, wo es mir wiederum die Kittsubstanz um dieselben zu sein schien, noch etwas stärker die Molecularschicht. Von den weiter nach aussen gelegenen

Schichten bekam ich keine hinreichend deutlichen Bilder; nur zeigten sich einmal die glashellen Leisten, die sich von der Pigmentepithelschicht zwischen Stäbchen und Zapfen erstrecken, besonders intensiv gefärbt.

Während, wie schon erwähnt, die eigentliche Choroidea fast gänzlich ungefärbt war, war Corpus ciliare und Iris ziemlich stark blau; besonders war es eine Stelle vom Anfang des Corpus ciliare gegen den Fontana'schen Raum hin, welche beiden Punkte beim Kaninchen sehr nahe beisammen liegen (cfr. Schwalbe in Schultze's Archiv Band VI. Tafel XVI. Fig. 4), die öfters ganz besonders intensiv blau war. Namentlich bei weissen Kaninchen konnte man auch hier wieder sehen, dass wesentlich die Intercellularsubstanz gefärbt war; doch war weiter nichts Bemerkenswertes zu constatiren.

Um so merkwürdiger waren aber die Erscheinungen an der vorderen Kammer. Der Humor aqueus enthielt nur schwache Spuren von Berlinerblau, oft auch gar keines. Nur in dem Winkel des Irisansatzes, dem sogenannten Fontana'schen Raume, war eine stärkere Färbung wahrzunehmen. Zuweilen war die Descemet'sche Membran und einige Cornealamellen, wie bei Injectionen direct in die vordere Kammer, schwach blau gefärbt mit gegen das Hornhautzentrum abnehmender Intensität; meist war an der Cornea gar Nichts zu sehen. Färbung der Cornea trat nur bei vorangegangener Punction der vorderen Kammer ein, worauf ich noch weiter unten zurückkomme. Nun aber zeigte sich constant die unerwartete Erscheinung, dass in der Gegend des Cornealrandes, manchmal etwas vor, manchmal zwischen den Balken des Ligamentum pectinatum, an einer ganz umschriebenen Stelle sehr intensive Blaufärbung eintrat. Bei genauer Einstellung zeigte sich eine Kittleiste zwischen zwei Endothelzellenreihen der Descemet'schen Membran in einem Ringe continuirlich um die ganze Cornea tief dunkelblau gefärbt. Bei Meridionalschnitten ging dann eine scharfe Linie durch die eigentliche Membran hindurch in die Hornhaut über, um in dieser oft fast rechtwinklig nach hinten umzubiegen (Fig. 1). Oester auch war die Umbiegung nicht so scharf, sondern die blaue Linie ging in der Cornea gleich von Anfang an mehr nach hinten und aussen. Diese blaue Linie, zuweilen doppelt, dann wieder einfach werdend, lief in der Substanz der Sclera, und zwar zwischen mittlerem und innerem Drittel der Dicke derselben, also keineswegs

dem Schwalbe'schen Perichoroidalraum entsprechend, nach hinten, um hinter dem Aequator bulbi allmählich zu verschwinden. Auf Flächenansichten (Fig. 2) sah man ähnliche Bilder, wie bei Silbertinction von Bindegewebe, mehr oder weniger zackige Körperchen in dunkelblauer Grundsubstanz. Diese Färbung findet sich nur in der Begrenzung einer einzigen Gewebsspalte, und ist an deren Grenzen die Grundsubstanz nach innen und aussen nur auf geringe Ausdehnung hin gefärbt, dafür aber um so intensiver. Die übrige Sclera zeigte sich gänzlich ungefärbt. Die Eintrittsstelle an der Cornea-Scleralgrenze war nicht immer genau an demselben Orte, zuweilen innerhalb des Fontana'schen Raumes, zuweilen, wie in der Abbildung Fig. 1 etwas vor den Balken des Ligamentum pectinatum gelegen. Die Abbildung Fig. 2 zeigt die Erscheinung von der Fläche gesehen, wobei aber von C nach P hin bei successive tieferer Einstellung gezeichnet wurde, entsprechend dem Verlaufe der Blaufärbung bei Fig. 1. Man sieht deshalb die Zellengrenzen in der Cornea bei b im Profil, bei c schon in Flächenansicht; d bezeichnet das Epithel der Descemet'schen Membran, a die blaugefärbte Kittleiste. Der Contour bei a₁ ist bei tieferer Einstellung gezeichnet, als der bei a. So merkwürdig diese Thatsache ist, so wird sie noch auffallender, wenn man Folgendes bedenkt: 1) ist an der betreffenden Stelle es mir durch kein Mittel möglich gewesen, an nicht injizirten Augen irgend eine histologische Differenz durch eine besonders starke oder schwache Tinction (sie wurde versucht mit Gold, Silber, Carmin, Hämatoxylin, Anilinblau und -roth und einem noch nicht weiter bekannten grünen Naphthalinfarbstoffe) einer Zellengrenze oder gar einer Spalte nachzuweisen. Bei schwarzen Kaninchen ist ungefähr an der betreffenden Stelle ein Pigmentring in der Cornea-Scleralgrenze zu sehen. 2) Es ist rätselhaft, warum sich die Färbung auf eine einzige Kittleiste beschränkt; es müsste also diese einzelne Kittleiste anderer Natur sein, als alle anderen. 3) Die Erscheinung trat nie auf bei direkter Injection in die vordere Kammer. Trotz aller dieser Unwahrscheinlichkeiten ist bei der Constanz, mit der immer dieselben Resultate erhalten wurden, an der Thatsache nicht zu zweifeln, dass wir hier wirklich einen Abflussweg aus dem Gebiete der vorderen Kammer vor uns haben.

Es bestehen also für den Inhalt der vorderen Kammer zweierlei Abflusswege. Einmal, wie ich in meiner früheren Arbeit gezeigt

habe, durch die Kittleisten des Epithels der Membrana Descemeti, durch dieselbst und durch die Hornhautgrundsubstanz nach dem subconjunctivalen Gewebe hin. Diesen Weg nimmt sowohl die grosse Menge des Kammerwassers, wie es in der hinteren Augenkammer secernirt wird, als auch wahrscheinlich die Flüssigkeit die vorher durch die Linse und auch theilweise durch den Glaskörper gegangen ist, und die aus dem hinteren Abschnitte des Auges stammt. Zweitens geschieht der Abfluss durch die oben beschriebene Stelle von dem Fontan a'schen Raum aus. Hier wird wesentlich Flüssigkeit fortgeführt, die früher den Glaskörper durchtränkte, nachdem sie durch das Corpus ciliare an seiner Ansatzstelle durchgegangen ist. Die Abflussgeschwindigkeit muss so gross sein, dass zwischen diesen beiden Componenten des Kammerwassers höchstens ein minimaler Austausch durch Diffusion möglich ist. Da nun aber das Kammerwasser eine Ansammlung von Flüssigkeit ist, die nicht nur lediglich vom Corpus ciliare abgesondert wird, sondern aus allen Theilen des inneren Auges stammt, so muss Punction der vorderen Augenkammer einen beschleunigenden Einfluss auf die Flüssigkeitsströmung im ganzen inneren Auge haben. Dem entsprechend fand ich auch, wenn diese Operation unmittelbar vor der Injection in den Glaskörper vorgenommen war, alle Erscheinungen viel rascher eintreten, in specie war an der Linse die Färbung um das Drei- bis Vierfache weiter vorgedrungen, als in dem anderen Auge desselben Thieres, das nicht punctirt worden war. Lediglich in diesen Fällen auch war eine Färbung der Hornhaut nachzuweisen, da bei der mangelnden Füllung der vorderen Kammer von allen Seiten her Flüssigkeit angezogen wird.

Was nun histologische Details betrifft, so war, wie schon mitgetheilt, an der Descemet'schen Membran rein nichts zu sehen; auf keine Weise gelang es mir an der betreffenden Stelle weder am Endothel, noch an der Glaslamelle irgend eine präformirte Spalte oder nur eine Texturverschiedenheit nachzuweisen. Bei feiner Einstellung sah man das Berlinerblau als äusserst scharfe, fast schwarze Linie durch die elastische Substanz der Glashaut hindurch gehen. Ebenso zeigt der bei Fig. 1 ziemlich diffuse Streifen — die Figur ist nach einem etwas dicken Schnitte gezeichnet worden — bei genauerer Einstellung und stärkerer Vergrösserung sich als feine Linie, einem Spaltraum entsprechend, der nach der Fläche hin und

her gebogen, das anliegende Gewebe diffus gefärbt erscheinen lässt. Die Färbung beschränkt sich nur auf eine dünne Lamelle der Sclera-Grundsubstanz. Dem entsprechend zeigen Flächenansichten weisse Körperchen auf intensiv blauem Grunde, und bei Schrägschnitten konnte man sich überzeugen, dass nur eine einzige Lage von Körperchen als Negativbilder zu sehen war. Die Gestalt des betreffenden Spaltraumes ist entsprechend dem verfilzten Verlauf der Sclerafasern eine etwas complicirte; zuweilen trennt sich die Spalte in zwei, die eine Strecke weit neben einander herlaufen, um dann wieder in eine einzige zu verschmelzen. Gegen den Aequator bulbi hin nimmt die Färbung an Intensität bedeutend ab und verschwindet gegen das hintere Drittel des Auges vollständig.

Physiologisch zeigen die Versuche wieder die Wichtigkeit der Grundsubstanz für die Ernährung der Gewebe, besonders für gefäßlose, wie die Cornea, Linse u. s. w. Mit derselben Leichtigkeit, mit der z. B. Kochsalzlösung eine Leimgallerte durchdringt, vermag auch die Grundsubstanz der Gewebe die Ernährungsflüssigkeit aufzunehmen. Von den Venen am Cornealrande wird die Flüssigkeit, die die Cornea bereits passirt hat, rasch weiter geschafft, durch Verdunstung an der Oberfläche der Hornhaut das Gewebe flüssigkeitsärmer gemacht; durch diese beiden Factoren wird beständig neue Nährflüssigkeit gewissermaassen nachgesogen. Grundsubstanz, das Product der Zellen, dient zugleich auch als Träger der Ernährungsflüssigkeit für dieselben Zellen, von denen sie abstammt, und dieser Strom durchdringt die Cornea, wie ich in meiner früheren Arbeit schon gezeigt habe, von der vorderen Kammer aus bis in die Kittleisten des vorderen Epithels. Es sind, wie ich gleichfalls schon früher gezeigt habe, nicht blos diffundirende Stoffe, wie Blutlaugensalz, sondern auch Colloidsubstanzen, wie Stärke, mit denen sich die Corneagrundsubstanz zu imbibiren vermag, und es steht demnach nichts im Wege, anzunehmen, dass die Ernährung der Hornhaut allein von der vorderen Kammer her unter Benutzung der Grundsubstanz geschieht. Die Spalträume der Cornea sind lediglich als Abzugskanäle aufzufassen, was ja auch schon ihre Bezeichnung als capillare Lymphbahnen implicite enthält, da doch sonst nirgends Jemand die Ernährung eines Gewebes durch Lymphgefässe annimmt. Was aber für die Cornea gilt, muss auch für andere Gewebe gelten. Während ein, wenn ich mich so ausdrücken darf, größerer Strom

von Nährflüssigkeit die Blutbahnen durchläuft, besteht jeweils im Kleinen ein Diffusionsstrom aus den Blutcapillaren durch die Grundsubstanz der Gewebe nach deren Spalträumen, welche mit Recht allgemein als Anfänge der Lymphgefässe angesehen werden. Auf diesem Wege durch Vermittelung der Grundsubstanz geschieht erst die Ernährung der einzelnen Zellen, da nur hier die Strömung mit der erforderlichen Langsamkeit von Statten geht, um einen innigen Stoffaustausch möglich zu machen. Deshalb konnte man zwar in der Grund- und Kittsubstanz der Cornea und Selera noch Berlinerblau niederschlagen; sind aber die minimalen Mengen von Blutlaugensalz bis in die Spalträume der Gewebe vorgedrungen, so verschwinden sie einmal innerhalb des Lymphgefäßsystems viel zu rasch, um noch nachgewiesen zu werden.

Die Resultate meiner Versuche lassen sich in Kurzem demnach zusammenfassen, wie folgt:

1. Es besteht im Augeninnern eine allgemeine Flüssigkeitsströmung von hinten nach vorn.
2. Dieselbe Strömung lässt sich auch innerhalb der Linse nachweisen.
3. Die Ernährungsflüssigkeit für die Linse hat vorher den Glaskörper passirt, entspricht also in ihrer Strömung dem Verlaufe der fötalen Arteria hyaloidea; Träger derselben ist die Zwischensubstanz.
4. Die Ernährung der Cornea geschieht von der vorderen Kammer aus unter Vermittelung der Kitt- und Intercellulärsubstanz.
5. Das Kammerwasser ist ein Gemisch von Transsudat des Ciliarkörpers mit Flüssigkeit, die vorher schon sämmtliche Theile des inneren Auges durchströmt hat.
6. Für das Kammerwasser besteht ein doppelter Abflussweg, einmal durch die Cornea nach dem subconjunktivalen Gewebe, zweitens vom Fontana'schen Raum aus durch die Substanz der Selera.
7. Die Punction der vorderen Kammer wirkt beschleunigend auf den Stoffwechsel im Augeninneru, in specie der Linse.
8. Die Intercellulärsubstanz ist auch im Allgemeinen als Träger der Ernährungsflüssigkeit für Parenchym- und Bindegewebszellen anzusehen.