

Der Circulus venosus Schlemmii steht nicht in offener Verbindung mit der vorderen Augenkammer.

Nach gemeinschaftlich mit Dr. Chr. F. Bentzen
angestellten Versuchen

von

Prof. Th. Leber in Heidelberg.

In einer in diesem Hefte enthaltenen Arbeit hat Gutmann¹⁾ die vielfach behandelte Frage wieder aufgenommen, ob die vordere Augenkammer in offener Verbindung mit dem Venensystem stehe. Er berichtet, dass er an menschlichen Leichenaugen durch Injection in die vordere Kammer mit Tusche oder Berliner Blau den Schlemm'schen Venenkranz und die damit zusammenhängenden Aeste der vorderen Ciliarvenen mit Leichtigkeit zu füllen im Stande gewesen sei und hält es hiernach für „mit Evidenz erwiesen, dass am Leichenaugen die vordere Augenkammer mit dem Raumsystem des Grenzgewebes und mit dem Schlemm'schen Sinus unmittelbar communicirt, und damit die Ansicht Schwalbes und seiner Anhänger für bestätigt.“

¹⁾ Ueber die Natur des Schlemm'schen Sinus und seine Beziehungen zur vorderen Augenkammer.

Bekanntlich habe ich vor 24 Jahren die damals aufgestellte Ansicht Schwalbe's¹⁾, dass die vordere Augenkammer in offener Verbindung mit dem Venensystem stehe, bekämpft und durch Versuche, die mir völlige Beweiskraft zu haben schienen, zu widerlegen gesucht²⁾. Meine Ansicht hat indessen keineswegs ungetheilte Zustimmung gefunden, und zwar hauptsächlich deshalb, weil die Ergebnisse der von anderen Forschern und von mir selbst angestellten Injectionsversuche unter einander nicht übereinstimmten. Da ich zur Zeit des Erscheinens der späteren, theils widersprechenden, theils zustimmenden Arbeiten von Heisrath³⁾, Königstein⁴⁾ und Angelucci⁵⁾ (1880—81) durch äussere Umstände verhindert war, die Versuche selbst wieder aufzunehmen, was zur völligen Aufklärung der auffälligen Verschiedenheit der Ergebnisse nöthig gewesen wäre, so habe ich mich damals auf die kurze Bemerkung beschränkt⁶⁾, dass ich trotz den neugewonnenen Erfahrungen an meinen Schlüssen festhalten und die Aufklärung der sich widersprechenden Beobachtungen der Zukunft überlassen müsse.

¹⁾ G. Schwalbe, Untersuchungen über die Lymphbahnen des Auges und ihre Begrenzungen. II. Theil. (Arch. f. mikr. Anat. VI, S. 261—362 (1870).

²⁾ Th. Leber, Ueber die Filtrationsfähigkeit der Hornhaut. Sitzungsber. der ophth. Ges. 1871. S. 365. E. Riesenfeld, Zur Frage über die Transfusionsfähigkeit der Cornea und die Resorption aus der vorderen Augenkammer. Inaug.-Diss. Berlin 1871. Th. Leber, Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge, v. Graefe's Arch. XIX. 2. (1873).

³⁾ Heisrath, Ueber die Abflusswege des Humor aqueus mit besonderer Berücksichtigung des sog. Fontana'schen und Schlemm'schen Kanals. v. Graefe's Archiv XXVI. 1. S. 202—243 (1880).

⁴⁾ Königstein, Ueber den Canalis Schlemmii. Ibid. XXVI. 2. S. 139—168.

⁵⁾ Angelucci, Ueber Entwicklung und Bau des vorderen Uvealtractus der Wirbelthiere. Arch. f. mikr. Anat. XIX. (1881).

⁶⁾ Th. Leber, Historische Notiz über den Circulus oder Plexus ciliaris venosus. v. Graefe's Arch. XXVI. 2. S. 169—175. (1880).

Ausser den erwähnten haben sich vor und nachher noch zahlreiche andere Beobachter mit der Frage beschäftigt und haben zu deren Lösung Versuche mit den verschiedensten Injectionsflüssigkeiten beim todten und lebenden Auge angestellt. Da nun gerade in den letzten Jahren, abgesehen von der vorliegenden Arbeit Gutmann's, der Gegenstand wieder von verschiedener Seite, insbesondere von Staderini¹⁾, Gifford²⁾ und Rochon-Duvigneaud³⁾ behandelt worden ist, ohne dass eine Einigung der Ansichten erzielt worden wäre, so habe ich mich veranlasst gesehen, die Frage auch meinerseits einer nochmaligen, möglichst eingehenden experimentellen Prüfung zu unterziehen, bei welcher ich mich der eifrigen Mithilfe des Herrn Dr. Bentzen zu erfreuen hatte. Dass diese Prüfung nicht überflüssig war, erhellt schon daraus, dass es zu einer überzeugenden Klarstellung des Sachverhaltes nothwendig ist, die Ursache der widersprechenden Resultate der verschiedenen Beobachter kennen zu lernen, was nur durch eine Variirung der Versuchsbedingungen geschehen kann, wie sie seit der Arbeit von Heisrath nicht wieder vorgenommen worden ist. Dann aber muss ich hervorheben, dass Versuche an Cadaveraugen, wie sie der Autor der jüngsten Arbeit, Gutmann, angestellt hat, nicht geeignet sind, sicher zu entscheiden, ob zwei mit so überaus zarten Wandungen versehene, dicht beisammen liegende Hohlräume, wie das Lückensystem des Fontana'schen Raumes und der Schlemm'sche Venenkranz, unter einander direct zusammenhängen oder nicht. Alle Beobachter, welche mit dieser viel umstrittenen Frage beschäftigt waren, haben stets möglichst frische, oft noch in

¹⁾ Staderini, Ueber die Abflusswege des Humor aqueus. v. Graefe's Archiv XXXVII. 3. (1891).

²⁾ Gifford, Weitere Versuche über die Lymphströme und Lymphwege des Auges. Archiv f. Augenheilk. XXVI. (1893).

³⁾ Rochon-Duvigneaud, L'angle de la chambre antérieure et le canal de Schlemm. Arch. d' Ophth. XII. p. 732—744 (1892), XIII. p. 20—32, 108—116 (1893).

der Orbita befindliche Augen zur Injection verwendet und weniger frische nur zum Vergleich benützt; gilt es doch das Vorkommen von Zerreissungen, durch welche Gefässlumina eröffnet werden könnten, möglichst sicher auszuschliessen und dem Auftreten cadaveröser Veränderungen der Gewebe, die eine grössere Durchlässigkeit mit sich bringen könnten, zuvorzukommen. Dass ein gewisser Verdacht in dieser Richtung gehegt werden muss, ergibt sich aus der von verschiedenen Beobachtern übereinstimmend angegebenen Thatsache, dass die vorderen Ciliarvenen durch Injection in die Augenkammer um so leichter gefüllt werden, je längere Zeit nach dem Tode vergangen ist. Selbst wenn gröbere Zerreissungen nicht vorkommen, muss man doch auf cadaveröse Lockerung der Endothelien gefasst sein. Ich brauche hier nur an den von mir widerlegten Irrthum der alten Anatomen zu erinnern, dass das Kammerwasser am lebenden Auge in Tröpfchenform durch die Hornhaut hindurch sickere, während es sich um eine Leichenerscheinung handelt, welche durch die bald nach dem Tode beginnende Maceration des Endothels der hinteren Hornhautwand verursacht wird.¹⁾

Gutmann hat das Leichenmaterial des Berliner anatomischen Instituts verwendet, und wenn er auch angiebt, dass die Augen nur bei einer der 18 von ihm benützten Leichen schon macerirt und bei allen übrigen gut erhalten gewesen seien, so ergibt sich doch schon aus der Zeit, nach welcher die Leichen auf die Anatomie zu kommen pflegen, dass ein für solche Versuche als brauchbar anzuerkennendes Material nicht benützt sein kann. Ausserdem wurden noch Versuche an 6 Augen eben verstorbener Affen angestellt, bei denen aber über die nach dem Tode bis zur Anstellung des Versuches verflossene Zeit auch keine genaueren Angaben gemacht werden.

¹⁾ Vergl. v. Graefe's Arch. XIX. 2. S. 125 ff.

Gutmann hat zwar bei Zusammenfassung seiner Ergebnisse dieselben auf das Leichenauge beschränkt, es liegt aber auf der Hand, dass damit, wenn die Versuche einen Werth haben sollen, das unveränderte todte Auge gemeint sein muss.

Ich bin um so mehr genöthigt, in der in Rede stehenden Frage meinen Standpunkt an dieser Stelle zu begründen, weil Gutmann seine Ergebnisse schon auf dem letzten internationalen ophthalmologischen Congress in Edinburg in meiner Gegenwart vorgetragen hat, ohne dass es mir dort gestattet war, irgend etwas darauf zu erwidern¹⁾. Ich bemerke noch, dass ich mich an den dort aufgestellten Präparaten überzeugt habe, dass die thatsächlichen Angaben Gutmann's zutreffend sind, woran ich übrigens auch ohne dies nicht gezweifelt haben würde. Indessen hätte mein persönlicher Antheil an der Controverse mich vielleicht doch nicht bewogen, nach so langer Zeit mich einer nochmaligen, eingehenden Bearbeitung des Gegenstandes zu unterziehen, da einige Bemerkungen genügt haben würden, um zu zeigen, dass das Wesentliche von dem, was ich aus meinen Versuchen gefolgert und seit Jahren vertreten habe, jetzt nur in einer etwas anderen Form von meinen Gegnern ebenfalls angenommen und mir als Widerlegung entgegengehalten wird. Indessen hängt die hier in Rede stehende Frage mit so wichtigen Problemen der Physiologie und Pathologie der Ernährung des Auges, insbesondere mit der Pathogenese des Glaukoms, zusammen, ihre Entscheidung

¹⁾ Den Theilnehmern an dem Congress ist bekannt, dass nach der Absicht der Geschäftsführung ein Theil der Vorträge nur zur Erläuterung der Demonstrationen dienen sollte und dass eine Discussion derselben nicht zugelassen wurde. Da man aber den Vortragenden nicht verwehren konnte, in der von ihnen vorbereiteten Form, einschliesslich der beabsichtigten Polemik, zu sprechen, so war ein in dem Vortrag angegriffenes Mitglied des Congresses ausser Stande, sich zu vertheidigen.

hat das Interesse der Ophthalmologen stets so lebhaft in Anspruch genommen, dass ich es für geboten hielt, nicht ohne nochmalige sachliche Orientirung das Wort zu ergreifen, um damit zu einer endlichen Einigung der widersprechenden Ansichten das meinige beizutragen.

Betrachtet man die Frage von einem etwas allgemeineren Gesichtspunkte aus, so scheint mir, dass gerade für den Ophthalmologen ein offener Zusammenhang zwischen vorderer Augenkammer und Blutgefässen ganz unannehmbar ist. Er widerspricht der täglichen Erfahrung und ist vor Allem mit der Thatsache nicht in Einklang zu bringen, dass es bei Entleerung des Kammerwassers oder bei spontaner Herabsetzung des Augendruckes nicht regelmässig, sondern nur ganz ausnahmsweise, unter abnormen Verhältnissen, zu einem Uebertritt von Blut in die vordere Kammer kommt. Diese Annahme ist auch mit dem Bestehen eines intraocularen Druckes von der bekannten, ziemlich beträchtlichen Höhe unvereinbar, weil bei freiem Abfluss in die Venen der Druck sich nur auf einer Höhe erhalten könnte, welche den gewiss viel niedrigeren Druck in den Venen nur wenig übertrifft. Andererseits wüsste ich keinen physiologischen oder pathologischen Vorgang anzuführen, welcher für die in Rede stehende Annahme spricht.

Bekanntlich stützen sich auch deren Anhänger nicht etwa auf solche Beobachtungen, sondern lediglich auf die Ergebnisse der Injection von Farbstoffen in die vordere Kammer beim todten oder lebenden Auge. Um aus diesen Versuchen sichere Schlüsse zu ziehen, ist es aber durchaus nothwendig festzustellen, was man früher unter offenem Zusammenhang der vorderen Augenkammer mit Blutgefässen verstanden hat und sich darüber zu einigen, was man jetzt unter diesem Ausdruck verstehen will; man läuft sonst Gefahr, dass die ganze Controverse in einen Wortstreit ausartet. Was nämlich Gutmann jetzt als offenen Zusammenhang beider Lückensysteme bezeichnet, ist

von dem, was man ursprünglich darunter verstanden hat, völlig verschieden, und die Art des Ueberganges der Flüssigkeit, welche er jetzt annimmt, ist nichts anderes als der von mir behauptete und von Schwalbe verworfene Vorgang der Filtration. Um dies zu begründen, muss ich etwas näher auf die geschichtliche Entwicklung unserer Kenntnisse auf diesem Gebiete eingehen.

Nachdem es mir vor etwa 30 Jahren gelungen war, den sogen. Schlemm'schen Kanal des Menschen von den Blutgefässen aus zu injiciren, war ich nicht nur im Stande, mich mit Bestimmtheit von der Blutgefässnatur desselben zu überzeugen, sondern auch genauere Angaben über die Lage und das Verhalten dieses venösen Gefässkranzes und über seine Verbindungen mit den benachbarten Gefässen zu machen¹⁾. Ich habe gezeigt, dass derselbe kein einfacher ringförmiger Kanal ist, wie man bis dahin annahm, sondern dass er häufig an einem Theil des Umfangs in 2 oder 3, zuweilen sogar in zahlreiche, gleich grosse, vielfach anastomosirende Aeste zerfällt, somit eine bald mehr, bald weniger ausgesprochene plexusartige Beschaffenheit besitzt; dass er ferner an seinem hinteren Rande kleine Venen aus dem Capillarnetz des Ciliarmuskels aufnimmt, und durch netzförmig unter einander zusammenhängende intrasklerale Venen mit dem engmaschigen episkleralen Venennetz und den daraus hervorgehenden Aesten der vorderen Ciliarvenen zusammenhängt. Es konnte mir dabei nicht zweifelhaft sein, dass es sich um ein den Blutgefässen angehörendes Lückensystem handelt, da ich, abgesehen von etwaigen, leicht erkennbaren Extravasaten, die mit der Injectionsmasse gefüllten Gefässe, besonders an

¹⁾ Th. Leber, Anat. Untersuchungen über die Blutgefässe des menschlichen Auges. Denkschrift. d. k. Akad. d. Wiss. zu Wien. Math.-naturw. Cl. Bd. XXIV. 1865 und Untersuchungen über den Verlauf und Zusammenhang der Gefässe im menschlichen Auge. v. Graefe's Archiv XI. 1. S. 1—57 (1865).

v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie. XLI. 1.

Flächenpräparaten, überall in zweifellose Venen übergehen sah, an ihnen dieselbe scharfe Begrenzung wie an den damit in Verbindung stehenden Venen fand und auch an feinen Dickendurchschnitten injicirter Präparate mich von dem Vorhandensein einer allerdings sehr zarten, mit Kernen versehenen Gefässwand überzeugen konnte.

Die meinen damaligen Untersuchungen zu Grunde liegenden Injectionspräparate haben sich grossen Theils gut erhalten und können noch heute zum Beleg meiner damaligen Angaben und Abbildungen benützt werden. Ueber das Verhalten des Gefässkranzes bei Thieren hatte ich damals noch keine Untersuchungen angestellt; ich habe aber später im Einklang mit den Angaben von Rouget gefunden, dass an der entsprechenden Stelle bei den von mir untersuchten Säugethieren sich ein zierliches, ringsum annähernd gleich beschaffenes circuläres Venennetz findet, welches ich auch, unter Beifügung einer vollständigeren Zeichnung des Schlemm'schen Venenkranzes vom Menschen, durch Abbildungen dargestellt habe¹⁾.

Bei Gelegenheit der neuerdings gemeinschaftlich mit Dr. Bentzen angestellten Versuche haben wir auch nicht versäumt, wieder eine Anzahl von Blutgefässinjectionen zur Füllung des Plexus ciliaris vorzunehmen. Wie ich schon früher gefunden hatte, ist es nicht schwer, bei grösseren Thieraugen, z. B. vom Schwein und Schaf, durch eine in den Skleralcanal einer Vena vortiosa oder einer Arteria ciliaris longa eingeführte feine Canüle eine Blutgefässinjection des Auges zu erhalten. Es gelang uns auf diesem Wege, zierliche Injectionen des Venenkranzes herzustellen; niemals trat aber dabei die Masse in die Maschen des Fontana'schen Raumes über, wie doch bei dem Vorhandensein offener Verbindungen erwartet werden musste.

Da nach dem früher Gesagten von einer offenen Ver-

¹⁾ Th. Leber, Die Circulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Graefe-Sämisch's Handb. II. S. 327—332 (1876).

bindung dieses venösen Gefässkranzes mit der vorderen Augenkammer für mich keine Rede sein konnte, so habe ich, als diese im Jahre 1870 von Schwalbe behauptet wurde, sogleich eindringlichen Widerspruch erhoben. Schwalbe hat bekanntlich zuerst die merkwürdige Thatsache mitgetheilt, dass man durch Injection gefärbter Flüssigkeiten in die vordere Augenkammer in ziemlich kurzer Zeit eine Injection des episkleralen Venennetzes erhalten kann, wobei die Flüssigkeit zunächst das Maschenwerk des sog. Fontana'schen Raumes und von diesem aus den Schlemm'schen Canal oder bei Thieren den ihm entsprechenden Venenplexus erfüllt. Schwalbe schloss hieraus, dass die vordere Augenkammer vermittelt des Schlemm'schen Canales in offener Verbindung mit dem Venensystem stehe; den Schlemm'schen Canal erklärte er mit Bestimmtheit nicht für ein Blutgefäss, sondern für einen Lymphbehälter, der nichts weiter sei als eine grössere circuläre Lücke im Maschengewebe des Fontana'schen Raumes und der wie dieses mit der vorderen Augenkammer durch ein freies Lücken- und Spaltensystem in Verbindung stehe. Dieser mit Lymphe gefüllte Canal sollte nun andererseits durch abführende Gefässe mit den vorderen Ciliarvenen in offener Verbindung stehen. Schwalbe liess es dabei unentschieden, ob an dem Uebergang beider Räume Klappen vorhanden sind oder nicht, erklärte aber schliesslich, dass ihm durch das Ergebniss einiger Injectionsversuche und auch sonst die Existenz von Klappen unwahrscheinlich geworden sei.

Er erörtert ausführlich, dass seiner Meinung nach der Uebergang der Injectionsmasse aus der vorderen Kammer in die Ciliarvenen weder durch Gefässzerreissung, noch durch Filtration zu Stande kommen könne; seine Darstellung lässt sonach dem Leser keinen Zweifel, dass er sich den Uebergang zwischen Lymph- und Blutwegen durch Lücken vor sich gehend denkt, die im Verhältniss

zu den die Filtration vermittelnden Poren der Gefässwand als sehr gross vorzustellen sind.

Im gleichen Sinne hat sich wenige Jahre später Waldeyer¹⁾ ausgesprochen, welcher sich den Schwalbe'schen Ansichten vollkommen anschloss. Da er den Schlemm'schen Canal bei gelungenen Injectionen des Auges von der Art. ophthalmica oder der Vena cava sup. aus ungefüllt bleiben sah, dagegen die Angabe Schwalbe's bestätigen konnte, dass derselbe bei Injection der vorderen Augenkammer selbst unter geringem Druck regelmässig injicirt wurde, und da er niemals Blutkörperchen darin fand, so steht er nicht an, ihn im Einklang mit Schwalbe zum Lückensystem des Iriswinkelgewebes und mit diesem zum lymphatischen Apparat zu rechnen. Er acceptirt damit auch die von Schwalbe gezogene Consequenz, dass hier eine Communication der vorderen Augenkammer mit den Venen der Sklera gegeben sei und vermuthet ebenfalls, dass Klappenvorrichtungen existiren, welche den Rückfluss des Blutes zum Schlemm'schen Canal unmöglich machen, obwohl er eben so wenig wie Schwalbe und später Heisrath, Königstein und Angelucci im Stande war, solche an den betreffenden Gefässen nachzuweisen.

Da mir, wie schon bemerkt, die Annahme eines offenen Zusammenhanges zwischen vorderer Kammer und Venensystem mit physiologischen und pathologischen Erfahrungen im Widerspruch zu stehen schien, und die Schwalbe'sche Auffassung des Schlemm'schen Kanals sich mit den Ergebnissen meiner Blutgefässinjectionen nicht in Einklang bringen liess, habe ich zunächst unter Mithilfe von Dr. E. Riesenfeld die Injectionen in die vordere Kammer wiederholt. Ich hatte schon vor Schwalbe, hauptsächlich mit Injection von Carminlösung die gleiche Beobachtung gemacht, ohne aber zur Veröffentlichung derselben ge-

¹⁾ Waldeyer, Mikroskop. Anatomie der Cornea, Sklera etc. in Graefe-Saemisch's Handb. I. S. 228 (1875).

kommen zu sein, hatte sie aber anders gedeutet. Ich fand jetzt bei Wiederaufnahme der Versuche, dass Carminlösung mit Leichtigkeit in die vorderen Ciliarvenen übergang, dass aber bei Anwendung einer Lösung von Berlinerblau der Farbstoff zurückgehalten wurde und die Venen sich nur mit farbloser Flüssigkeit füllten. Benutzte ich eine violett gefärbte Mischung beider Farbstoffe, so ging eine rein rothe Flüssigkeit in die Venen über, und das Berlinerblau blieb ebenfalls in der vorderen Kammer zurück. Zur Erklärung dieser Beobachtungen nahm ich an, dass durch den in der vorderen Kammer herrschenden Druck wässrige Flüssigkeit aus den Maschen des Fontana'schen Raumes in die leeren und offen stehenden Venen des Plexus ciliaris hinübergepresst werde, wobei das in Lösung befindliche Carmin mit überginge, „während das colloïde Berlinerblau, welches von Salzlösungen gefällt wird und thierische Membranen nicht zu durchdringen vermag, zurückbleibt.“ Meine Versuche schienen mir das Vorhandensein offener Communicationen mit Sicherheit auszuschliessen, da Lücken von einer Weite, dass zu deren Verschluss die Hilfe von Klappen nothwendig scheint, unmöglich von einer Mischung zweier Farbstofflösungen nur den einen Bestandtheil durchlassen, den anderen zurückhalten können. Auf demselben Standpunkte stehe ich auch heute noch und glaube behaupten zu können, dass die angegebenen Versuchsergebnisse sich nur mit der Annahme einer Filtration durch die Gefässwand vereinigen liessen. Es wird hieran Nichts geändert, dass damals Schwalbe und später andere Forscher, abweichend von mir, die Gefässinjection auch mit Berlinerblaulösung erhalten haben; es war ja denkbar, dass die Gefässwand unter gewissen Bedingungen auch das Berlinerblau hindurchfiltriren lässt, unter anderen nicht, während bei offener Communication sich ein Unterschied zwischen verschiedenartigen Farbstoffen ebenso wenig denken lässt, wie er bei der Injection feinsten Capillaren und noch feinerer

Lückensysteme beobachtet wird; hat ja doch das gelöste Berlinerblau selbst zur Füllung der feinsten Gallencapillaren Verwendung gefunden.

Meine Angaben über die Blutgefässnatur und das sonstige Verhalten des *Circulus venosus Schlemmii* und des ihm entsprechenden *Plexus ciliaris* beim Säugethier wurden im Jahre 1880 von Königstein vollkommen bestätigt und durch Mittheilungen über den *Circulus venosus* des Huhnes ergänzt. Eine weitere Bestätigung brachte bald darauf (1881) die Arbeit von Angelucci, welcher, ausser dem Menschen und verschiedenen Säugethieren, auch Vögel, Reptilien, Amphibien und Fische darauf hin untersuchte. Auch Heisrath, welcher einen offenen Zusammenhang der vorderen Kammer mit den Blutgefässen vertheidigte, erklärte, dass meine Darstellung der anatomischen Verhältnisse des Schlemm'schen Kanals gegenüber denen Schwalbe's und Waldeyer's allein zutreffend sei.

Hiernach konnte Schwalbe in seiner Anatomie der Sinnesorgane (1887) nicht umhin, die Blutgefässnatur des Schlemm'schen Kanales anzuerkennen und zuzugeben, dass er ringsum von Endothel ausgekleidet sei. Nur insofern hielt er noch an seiner früheren Meinung fest, als er annahm, dass dieser Gefässraum unter normalen Verhältnissen blutleer sei und sich lediglich bei Stauungen im Gebiete der vorderen Ciliarvenen mit Blut fülle. In der Arbeit Gutmann's wird nun mitgetheilt, dass auch Waldeyer seine Ansicht von der Lymphgefässnatur des Schlemm'schen Kanals zu Gunsten der von der Blutgefässnatur desselben geändert habe, und ihn nunmehr für einen venösen Sinus halte. Da auch der neueste Autor, welcher sich auf Grund von Blutgefässinjectionen mit dem Gegenstande beschäftigt, Rochon-Duvigneaud, sich für die Blutgefässnatur erklärt und den Namen *Sinus scleralis* vorschlägt, so ist also in dem wichtigsten Punkte nunmehr eine Einigung der Ansichten in dem von mir vertretenen Sinne erzielt.

Der von Schwalbe gemachte Vorbehalt, dass der Schlemm'sche Kanal unter gewöhnlichen Verhältnissen blutleer sei und nur bei Stauungszuständen Blut führe, ändert an dem Sachverhalt nichts Wesentliches und scheint mir auch, angesichts der gegentheiligen Angaben verschiedener Beobachter, nicht haltbar zu sein, abgesehen davon, dass das Vorkommen eines blutleeren Blutgefässraumes doch etwas recht ungewöhnliches wäre. Dass man an Leichenaugen gewöhnlich den Schlemm'schen Venenkranz nicht mit Blut gefüllt findet, erklärt sich vollkommen durch den Umstand, dass nach dem Tode der Filtrationsstrom des Kammerwassers fort dauert, so lange noch ein hinreichender Druck in der vorderen Augenkammer vorhanden ist, und dass das in die Venen übertretende Kammerwasser das darin enthaltene Blut auswaschen muss, sodass nur bei besonders starker Füllung eine beträchtlichere Menge davon zurückbleibt. Man darf also nicht erwarten, den Gefässkranz regelmässig mit Blut gefüllt zu finden, sondern wird es ganz begreiflich finden, wenn das Lumen, wie es übereinstimmend angegeben wird, meistens leer erscheint. Dasselbe gilt aber auch für die die Sklera durchsetzenden Aeste der vorderen Ciliarvenen, bei denen man demnach mit demselben Recht behaupten könnte, dass sie im Leben kein Blut führten. Dass übrigens der Canal nicht nur bei Erhängten, sondern auch bei Menschen, die an Krankheiten aller Art gestorben sind, nicht selten Blut führt, haben seit Iwanoff und Rollett¹⁾ verschiedene Beobachter angegeben.

Heisrath fand bei Durchsicht eines grösseren Materials im Schlemm'schen Canal häufiger Blutkörperchen, ohne dass Blutstauung vorgelegen haben konnte. Wenn er den Leichen mit dem Kopf eine geringe Tiefstellung gab und die Augen in dieser

¹⁾ Iwanoff und Rollett, Bemerkungen zur Anatomie der Irisanheftung und des Annulus ciliaris. v. Graefe's Archiv XV. 1. S. 54. (1869).

Stellung der Einwirkung der Müller'schen Flüssigkeit aussetzte, so fand er den Canal stark mit Blut gefüllt, ebenso bei Thieren den Ciliarplexus, wenn sie ohne Blutverlust getödtet und an den Beinen aufgehängt wurden. Königstein fand bei einer von der Aorta aus injicirten Kindesleiche am einen Auge den Canal leer, am anderen Auge dagegen, wo vor der Injection das Kammerwasser abgelassen worden war, theils mit Blutkörperchen, theils mit Injectionsmasse gefüllt. Rochon-Duvigneaud sah beim 6 monatlichen Foetus den Canal stark mit Blut gefüllt, während er ihn allerdings nach der Geburt bei für diese Untersuchung geeigneten enucleirten Augen blutleer fand, desgleichen aber auch die intraskleralen Venen.

Ich selbst habe gelegentlich bei Untersuchung normaler wie pathologischer Augen so häufig etwas Blut im Circulus venosus angetroffen, dass ich an der Constanz der Blutfüllung während des Lebens nicht zweifeln kann. Da indessen Schwalbe bei den Mittheilungen Heisraths bemängelt hat, dass die Natur der Krankheiten, an denen die betreffenden Individuen gestorben waren, nicht angegeben ist und auch die durch Senken des Kopfes der Leiche erzeugte Blutfüllung nicht gelten lassen will, so habe ich noch das Material unserer Sammlung auf diesen Punkt hin durchgesehen und lege kurz die Ergebnisse vor.

Unter 17 normalen oder nur mit Katarakt behafteten menschlichen Augen wurde Blutgehalt nur zweimal völlig vermisst; in der Regel war eine theilweise Blutfüllung zu constatiren, mitunter fanden sich allerdings nur kleine Gruppen rother Blutkörperchen. Leider ist in vielen Fällen die Todesursache nicht bemerkt. Eine theilweise Blutfüllung eines oder mehrerer Gefässe des Venenkranzes wurde beobachtet bei Tod durch eitrige Meningitis (1 Fall), durch acute Pneumonie (1 Fall), durch Diabetes mellitus (3 Fälle); kleine Gruppen von rothen Blutkörperchen fanden sich in zwei weiteren Fällen von Diabetes, einer davon complicirt mit Lungentuberculose. Ferner wurde Blutgehalt gefunden bei 4 normalen Augen, die wegen Orbitaltumor exstirpirt werden mussten, von denen besonders einer beweisend ist durch die Angabe, dass Compressionerscheinungen des Bulbus fehlten, und dass das Sehvermögen ungestört war.

Hier war an allen 5 untersuchten Schnitten des Auges ein Theil der Lumina bluthaltig, die grosse Vene nur an den Enden, die mittelgrossen zu $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ des Inhalts, die kleinen mehrfach ganz mit Blut gefüllt. An dem Auge eines Hingerichteten war der Gefässkranz zwar im Allgemeinen blutleer, aber an zwei Schnitten wurden doch an einem Ende der grossen Vene einige rothe Blutkörperchen gefunden.

Mir scheint, dass nach allen diesen Ergebnissen man doch dem Circulus venosus den Blutgehalt unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht wohl mehr absprechen kann.

Die Bezeichnung des in Rede stehenden Venenkranzes als Sinus, welche Gutmann nach Waldeyer's Rath wieder zur Annahme empfiehlt und die auch Rochon-Duvigneaud bevorzugt, ist schon von Fr. Arnold¹⁾ und Retzius²⁾ vorgeschlagen worden; es spricht für sie, dass sie den venösen Charakter des Lückensystems und die Aehnlichkeit mit den Sinus der Dura mater zum Ausdruck bringt. Letztere giebt sich besonders dadurch kund, dass die äusserst zarte Gefässwand fest mit dem dichten Gewebe der Sklera zusammenhängt, wodurch auch im ungefüllten Zustande das Lumen klaffend gehalten wird. Da aber besonders für das Auge der Säugethiere, bei welchen der Gefässkranz aus einem dichten circulären Netz annähernd gleich breiter Venen besteht, die Bezeichnung Sinus mir nicht passend erschien, und eine ähnliche Beschaffenheit theilweise auch beim menschlichen Auge vorhanden ist, so habe ich seiner Zeit als allgemeinen Ausdruck die Bezeichnung Circulus, und für Thiere Plexus venosus ciliaris vorgeschlagen und würde auch jetzt lieber daran festhalten. Für das menschliche Auge könnte ja der Name des zweiten Entdeckers³⁾ hin-

¹⁾ Friedr. Arnold, Anat. u. physiol. Unters. über das Auge. 1832. S. 10 ff.

²⁾ Retzius, Ueber den Circulus venosus im Auge. Müller's Archiv für Anat. etc. 1834 (S. 292—295).

³⁾ Bekanntlich hat Halbertsma gezeigt, dass schon Albinus den Venenkranz injicirt hat, wie aus dem 1775 herausgegebenen Catalog seiner Präparate hervorgeht.

zugefügt und statt Canalis, Circulus venosus Schlemmii oder auch kurz Circulus Schlemmii gesagt werden.

Es steht also fest, dass eine offene Verbindung der vorderen Kammer mit dem Venensystem im anatomischen Sinne nicht existirt, und dass wir es im Kammerwinkel mit zwei von einander getrennten Lückensystemen zu thun haben, die nur in der innigsten räumlichen Berührung mit einander stehen. Hieraus folgt mit Nothwendigkeit, dass der Uebergang von Flüssigkeit aus dem, einen Anhang der vorderen Kammer bildenden Lückensystem des Fontana'schen Raumes in den Schlemm'schen Venenkranz und durch ihn in die abführenden Zweige der vorderen Ciliarvenen, von zufälligen Zerreissungen abgesehen, nur auf dem Wege der Filtration erfolgen kann. Dieser Consequenz haben sich auch Schwalbe und Gutmann nicht entziehen können. Letzterer eignet sich den Ausspruch Schwalbe's¹⁾ an, dass Einrichtungen für den Durchtritt vorhanden sein müssen, mögen sie nun in offenen Löchern des Endothels oder in Kittsubstanzlinien desselben zu suchen sein. Ein solcher Durchtritt durch feinste Gewebslücken ist es aber gerade, was man unter Filtration versteht. Was beide Autoren jetzt noch als offene Communication bezeichnen, ist also von dem, was ich früher Filtration genannt habe, nicht verschieden, und in diesem Sinne musste ich davor warnen, die Controverse nicht zu einem blossen Wortstreit werden zu lassen.

Wie lebhaft diese Filtration ist, ergiebt sich aus dem raschen Sinken der Flüssigkeitssäule, welche den Injectionsdruck unterhält und aus dem Aussickern von Flüssigkeit aus den abgeschnittenen Enden der Bindehaut- und Muskelgefässe, sowie aus der bald hinzutretenden Durchtränkung der Bindehaut und des subconjunctivalen Gewebes. Es ist auch nicht zu bezweifeln, dass diese Filtration bei völliger

¹⁾ Anatomie der Sinnesorgane S. 178.

Integrität der in Betracht kommenden Gewebe erfolgt, da sie auch beim eben getödteten Thier und bei Anwendung indifferenten Flüssigkeit, wie physiologischer Kochsalzlösung, eintritt. Wird die Flüssigkeit mit einem löslichen, diffusionsfähigen Farbstoff z. B. mit carminsaurem Ammoniak versetzt, so kommt zuerst eine farbige Injection der circumcornealen Gefäße zu Stande, auf welche dann eine gleichmässige Färbung des die Gefäße einschliessenden Gewebes durch Diffusion des Farbstoffes in die Umgebung des ersteren folgt.

Nun haben wir aber noch Rechenschaft darüber zu geben, wie die widersprechenden Resultate zu deuten sind, welche von verschiedenen Beobachtern und von mir selbst bei Injection in die vordere Kammer von Berlinerblaulösungen und von Suspensionen feinkörniger Substanzen, insbesondere von Tusche, erhalten wurden. Diese Frage hat jetzt längst nicht mehr die Wichtigkeit wie früher, wo aus den positiven Injectionsresultaten auf einen offenen Zusammenhang zwischen vorderer Kammer und Venensystem geschlossen wurde. Nachdem diese Annahme aus anderen Gründen als unhaltbar erkannt worden ist, kann es sich nur noch darum handeln festzustellen, ob die Wandungen des Circulus venosus durchlässig genug sind, um nicht nur gelösten Farbstoffen, sondern auch feinsten körnigen Substanzen und dem durch Berührung mit Salzen aus seiner Lösung fällbaren Berlinerblau unter Umständen den Durchtritt zu gestatten oder nicht. Die Entscheidung dieser Frage ist an sich interessant und auch für die Beurtheilung der Lebensvorgänge nicht ohne Bedeutung; doch sind die Beobachtungen an todten Augen nur mit Vorsicht zu Schlüssen über das Verhalten am lebenden Auge zu verwerthen.

In meinen Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge musste ich die Antwort darauf schuldig bleiben, wie die widersprechenden Resultate der Versuche mit Berliner Blau

von Schwalbe und von mir zu erklären sind. Gutmann hat mir mit Unrecht vorgeworfen, dass ich alle positiven Resultate auf Gefässzerreissungen geschoben habe. Ich habe lediglich in Bezug auf meine eigenen Versuche gesagt, dass ich angesichts der völligen Constanz der negativen Resultate in der mit Riesenfeld angestellten Versuchsreihe die seltenen Fälle, wo ich bei früheren Versuchen eine Injection mit Berlinerblau erhalten hatte, und die wenigen Beobachtungen, wo ich später eine ganz umschriebene Füllung einzelner Gefässe mit Berlinerblau eintreten sah, ungezwungen auf Zerreissungen beziehen konnte. Ich war dazu um so mehr berechtigt, weil ich bei meinen Injectionen der Blutgefässe gerade im Bereich des Circulus venosus nicht selten kleine Extravasate gefunden hatte, obwohl erstere bei constantem Druck und mässiger Druckhöhe vorgenommen worden waren. Ich habe viel zu grosse Achtung vor der Zuverlässigkeit der Beobachtungen Schwalbe's, als dass es mir hätte einfallen können, seine gegentheiligen Resultate einfach auf Versuchsfehler zurückzuführen. Es lag auf der Hand, dass unter den von ihm angegebenen Umständen, bei Benutzung völlig frischer Augen und bei niedrigem Injectionsdruck ein regelmässiges Vorkommen von Gefässzerreissungen zum mindesten sehr unwahrscheinlich war. Ich habe mich daher darauf beschränkt zu bemerken:¹⁾ „in welcher Weise die gegentheiligen Resultate Schwalbe's zu erklären sind, muss ich dahingestellt sein lassen“, und habe mir nur erlaubt, darauf hinzuweisen, dass sich bei Schwalbe's Versuchen, im Gegensatz zu denen von Riesenfeld und mir, eine auffallende Inconstanz der Resultate bemerkbar machte, welche auch von Schwalbe selbst hervorgehoben worden ist. Wo solche Unterschiede im Erfolg eines anscheinend einfachen Versuches auftreten, so liegt dies immer daran, dass die

¹⁾ v. Graefe's Archiv XIX. 2. S. 103.

Versuchsbedingungen nicht die gleichen sind. Dass ich die abweichenden Resultate Schwalbe's nicht zu erklären vermochte, konnte mich aber in der Verwerthung der meinigen im Sinne der Filtrationstheorie nicht beirren; denn so viel stand für mich fest: wenn aus einer, zwei gelöste Farbstoffe enthaltenden Flüssigkeit der eine Farbstoff zurückgehalten, der andere durchgelassen wird, so können keine offenen Verbindungen, sondern nur feinste Gewebssporen vorhanden sein, einerlei ob unter anderen Bedingungen der sonst zurückgehaltene Farbstoff diese Poren zu passieren vermag.

Schwalbe selbst hat später¹⁾ seine Resultate bei Wiederholung der Versuche mit Berliner Blau, Alkannin-Terpentinöl und Asphalt-Chloroform durchaus bestätigt gefunden; positive Resultate erhielten ferner bei Versuchen an todtten Augen mit verschiedenen gelösten und körnigen Farbstoffen Calori²⁾, Waldeyer, Heistrath, Rochon-Duvigneaud, Gifford und Gutman, während Königstein und im Wesentlichen auch Merian³⁾ und Staderini negative Resultate erhielten. Auch die von diesen Autoren erzielten Erfolge waren aber, wie die früheren Schwalbe's, keineswegs constant und das Gelingen der Injection hing, wie Heistrath zeigte, wesentlich von den Versuchsbedingungen ab, so dass sie, je nach Umständen, entweder erfolgte oder ausblieb. Ich kann die hierüber gemachten Angaben Heistrath's durchaus bestätigen; da er sich aber gegen die Annahme einer Filtration ausgesprochen hat, ist eine nochmalige Auseinander-

¹⁾ Anatomie der Sinnesorgane 1887. S. 176—179.

²⁾ Calori, De risultamenti ottenuti iniettando i canali di Fontana e di Petit e la camera anter. dell'occhio umano e dei mammiferi domest. Mem. dell'istit. delle sc. med. di Bologna. Ser. 3. T. V. (1874) citirt nach Staderini.

³⁾ K. Merian, Versuche über die Lymphwege des Auges. Preisschr. d. Baseler med. Fac. von 1871. Herausgeg. von His, Arch. f. Anat. u. Phys. Anat. Abth. 1891.

setzung der in Betracht kommenden Umstände nicht zu umgehen.

Als ich meine Untersuchungen anstellte, war die Frage, ob und unter welchen Bedingungen die normale Gefäßwand für colloide und feinkörnige Substanzen durchgängig ist, noch wenig geprüft. Doch habe ich schon die Erfahrung gekannt und berücksichtigt¹⁾, dass bei länger dauernden Injectionen unter constantem Druck Leimlösung durch die Gefäße in das umgebende Gewebe hindurchfiltriren kann, und dass unter Umständen bei der Filtration einer Berlinerblaulösung der Farbstoff zurückgehalten wird. So hatte C. Ludwig²⁾ bei Injection von Berlinerblau-Glycerin in den Harnleiter, wobei die Harnkanälchen bis zu den Malpighi'schen Kapseln gefüllt wurden, eine Filtration von farblosem Glycerin beobachtet, welches in Tröpfchen an der Nierenoberfläche zum Vorschein kam. In analoger Weise wie Ludwig erklärte ich mir das Ausbleiben einer sichtbaren Füllung der circumcornealen Gefäße bei Injection von Berlinerblaulösung in die vordere Kammer, durch die Ausfällung des Farbstoffes bei dem Contact mit dem salzhaltigen Kammerwasser. Auch Heistrath hat später das Ausbleiben der Injection auf diese Eigenschaft des Berlinerblaus zurückgeführt, hat aber mit Unrecht geglaubt, dass sie von allen früheren Beobachtern unberücksichtigt geblieben sei. Dass dieser Vorwurf mich nicht trifft, ergibt sich aus dem oben gegebenen Citat aus meiner Arbeit. Dem Berlinerblau geht ausserdem, als colloïdem Körper, die Fähigkeit ab, zu diffundiren; es wird hierdurch für die Injectionstechnik besonders werthvoll, weil es nicht, wie diffusionsfähige Farbstoffe, z. B. Carminlösung, nach beendigter Injection durch die Gefäßwand hindurch in das umgebende Gewebe sich verbreiten kann. Die Filtration

¹⁾ v. Graefe's Archiv XIX. 2. S. 122.

²⁾ C. Ludwig u. Th. Zawarykin, Zur Anatomie der Niere. Sitzungsber. d. Wiener Akad. XLVIII. v. 5. Nov. 1863.

durch Gewebslücken würde aber durch letztere Eigenschaft nicht gehindert werden; das wesentliche Hinderniss ist die Fällbarkeit durch Salzlösungen selbst von geringer Concentration. Da alle thierischen Membranen damit durchtränkt sind, so wird das mit ihnen in Berührung kommende Berlinerblau je nach Umständen mehr oder minder rasch und vollständig in feineren oder gröberen Partikelchen ausgeschieden werden. Dies braucht indessen kein absolutes Hinderniss der Filtration zu sein, da deren Zustandekommen von dem Verhältniss zwischen der Grösse der Körnchen und der Weite der Poren abhängt. So erweist sich auch ein gutes Papierfilter bekanntlich gegenüber der Feinheit der Tuschkörnchen als ganz unzulänglich und lässt eine intensiv schwarze Flüssigkeit durchgehen, obwohl keine Spur von Farbstoff in Lösung ist. Auch sonstige Umstände mögen auf das Zustandekommen der Filtration von Einfluss sein. So hat E. Hering¹⁾ schon vor längerer Zeit angegeben, dass mit Leim versetzte Berlinerblaulösung bei lang dauernder Injection die Gefässwand durchdringt, womit auch spätere Erfahrungen von J. Arnold²⁾ übereinstimmen. Die zur Erforschung der Diapedesis angestellten Versuche dieses Forschers sind auch für die hier behandelte Frage von grosser Wichtigkeit. J. Arnold fand zunächst, dass bei der Diapedesis die rothen und weissen Blutkörperchen, welche die Gefässe verlassen, niemals die Endothelzellen selbst durchdringen, sondern stets zwischen ihnen, an verbreiterten Stellen der sog. Kittleisten, den Stigmata

¹⁾ E. Hering, Zur Lehre vom Leben der Blutzellen. 2. Mitth. Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. 57. Abth. 2. (1868).

²⁾ J. Arnold, Ueber Diapedesis. Virch. Arch. LVIII. (1873). Ueber Parenchymcanäle und deren Beziehung zu dem Blut- und Lymphgefässsystem. Centralblatt für die medicin. Wiss. 1874. No. 1. — Ueber die Beziehung der Blut- und Lymphgefässe zu den Saftcanälen. Virch. Arch. LXII. — Ueber das Verhalten der Wandungen der Blutgefässe bei der Emigration weisser Blutkörper. Ibid. (1875.) — Ueber die Kittsubstanz der Endothelien. Virch. Arch. LXVI (1876.)

und Stomata, hindurchtreten, und dass auf demselben Wege nachher auch mit Berlinerblau gefärbte Leimmassen und körnige Substanzen, insbesondere Tuschekörnchen, die Gefässe verlassen können. Weitere Versuche an Fröschen zeigten, dass dies nicht nur für die pathologischen Zustände der Blutstauung und Entzündung gilt, sondern dass auch beim normalen lebenden Thier bei Infusion von Tuschesuspension in das Blut Tuschekörnchen zwischen den Endothelzellen nach aussen gelangen und Kittleistenzeichnungen der letzteren und Füllung der Saftkanäle des angrenzenden Bindegewebes zu Stande bringen. Bemerkenswerth ist ferner die Beobachtung, dass bei Injection der Lymphgefässe der Schwimnhaut, wenn vorher der Unterschenkel unterbunden ist, die Masse durch die Wand der Lymphgefässe in das umgebende Gewebe und zuweilen bis in die Blutgefässe übertritt. Wenn diese Versuche auch nur beim Frosche angestellt sind, so legen sie doch die Möglichkeit nahe, dass auch von der vorderen Kammer des Säugethieres aus colloide und körnige Substanzen durch die intacte Gefässwand in das Innere der Blutgefässe übergehen können.

Auch Gutmann ist dieser Ansicht, unter Berufung auf eine kürzlich erschienene Arbeit von Kolossow¹⁾, welcher mit einer neuen Methode der Osmiumbehandlung genauere Beobachtungen über die Beschaffenheit der Intercellularlücken der Endothelien der serösen Häute und Gefässe angestellt hat. Doch würde es hier zu weit führen, auf diese wesentlich dem histologischen Verhalten gewidmete Arbeit näher einzugehen.

Mit körnigen Farbstoffen hatte ich anfangs keine Versuche angestellt, und die später unter meiner Leitung damit vorgenommenen Versuche von Brugsch und von Tücker-

¹⁾ Kolossow, Ueber die Structur des Pleuroperitoneal- und Gefässepithels. Arch. f. mikr. Anat. XLII. (1893).

mann beschränkten sich auf das lebende Auge. Da bei diesem der Uebergang der körnigen Substanzen in die Gefässe aus gewissen Gründen Hindernisse findet, sind derartige Versuche für die hier behandelte Frage nur wenig zu verwerthen und ich will daher erst am Schluss dieser Arbeit noch kurz darauf eingehen.

Um mir nun mit Berücksichtigung der bisher vorliegenden Erfahrungen von neuem ein Urtheil über die streitige Frage zu bilden, habe ich mit Herrn Dr. Bentzen an frischen Thieraugen und auch an einigen möglichst frischen menschlichen Augen eine grössere Zahl von Versuchen angestellt (im Ganzen 70), über welche ich jetzt berichten will.

Versuche.

Als wir unsere Injectionen begannen, hatte Herr Dr. Bentzen zum Vergleich mit Augen, an welchen er eine Verwachsung des Kammerwinkels bewirkt hatte, schon eine grössere Zahl von Filtrationsversuchen an der vorderen Kammer des normalen Kaninchenauges gemacht und dabei regelmässig das von mir früher angegebene Verhalten bestätigt gefunden. Auch erhielten wir jetzt bei frischen Schweinsaugen bei Injection einer Mischung von Carmin- und Berlinerblaulösung wieder das frühere Resultat einer rein rothen Injection der circumcornealen Gefässe; desgleichen auch mit einer Mischung von Säurefuchsin- und Berlinerblaulösung, welcher wir der grösseren Bequemlichkeit der Herstellung wegen später den Vorzug gaben. Es ist nämlich etwas umständlich, die Carminlösung ganz neutral zu erhalten, was nothwendig ist, weil das Berlinerblau von alkalischen Lösungen zersetzt wird.

Wir waren daher sehr erstaunt, als wir sowohl bei Anwendung einer reinen Lösung von Berlinerblau, als auch einer Suspension von chinesischer Tusche in $\frac{3}{4}$ 0/0 NaCl-Lösung bei einem 20 mm Hg noch nicht erreichenden

Druck an völlig frischen, nur 2—3 Stunden alten Schweinsaugen fast augenblicklich von der vorderen Kammer aus die vorderen Ciliarvenen sich füllen sahen. Allerdings hatten wir uns dabei einer Canüle mit seitlicher Oeffnung, einer von uns so genannten Durchstichscanüle, bedient, welche durch Punction und Contrapunction der Hornhaut in die vordere Kammer eingeführt wird, wozu wegen der Dicke der Schweinshornhaut ein nicht unbeträchtlicher Druck nöthig war; man hätte daher allenfalls dieses Resultat noch auf Gefässzerreissung beziehen können.

Diese Annahme wurde aber hinfällig, als wir völlig gleiche Resultate auch bei einer anderen Methode erhielten, bei welcher ein schädlicher Druck auf das Auge sicher vermieden wird. Wir verwendeten nämlich eine sehr feine, konische Glascanüle, welche durch einen Stich mit einem spitzen Linearmesser nach Abfluss des Kammerwassers eingeführt wurde und welche die Oeffnung vollkommen verschloss. Der dabei während der Punction auf die Hornhaut ausgeübte Druck ist so gering, dass er gewiss nicht zu Zerreissungen im Innern des Auges Anlass geben kann; die Injection der circumcornealen Gefässe stellte sich aber auch bei diesem Verfahren bei Anwendung von Berlinerblau mit grosser Regelmässigkeit ein, und war in einem Falle, wo sie ausgeblieben zu sein schien, wenigstens bei der nachher vorgenommenen anatomischen Untersuchung an einigen Gefässen zu constatiren. Auch ergab die letztere gerade bei den zuerst beanstandeten Versuchen keine Anhaltspunkte für die Annahme von Gewebszerreissungen und auch sonst war dies nur ganz ausnahmsweise der Fall.

Mit chinesischer Tusche wurde aber jetzt unter 4 Versuchen nur einmal eine Injection der episkleralen Venen beobachtet. Dagegen erhielten wir mit japanischer Tusche, (welche von Taguchi als besonders feinkörnig empfohlen wird) in drei Versuchen die Gefässinjection ausnahmslos. Die japanische Tusche wurde uns in bester Qualität durch

die Freundlichkeit des Herrn Takudsi Suda zur Verfügung gestellt. Da wir bei mikroskopischer Untersuchung filtrirter Suspensionen dieser und käuflicher chinesischer Tusche keinen Unterschied in der Feinheit der Körnchen bemerken konnten, so müssen wir dahingestellt sein lassen, ob die häufigeren Erfolge mit japanischer Tusche nicht einfach auf Zufall zu beziehen sind.

Auch beim Kaninchenauge wurden mit Tusche positive Injectionsresultate erhalten und zwar unter 5 Fällen, wo japanische Tusche injicirt wurde, constant. Wir bedienen uns aber hier gewöhnlich einer Durchstichscanüle, welche durch die dünnere Hornhaut ohne zu grossen Druck eingeführt werden kann und bei dieser die Oeffnung besser verschliesst, als die conische Glascanüle, die bei der dickeren Schweinshornhaut ihren Zweck vollkommen erfüllt. Doch war der Erfolg auch mit der Glascanüle derselbe, während eine Injection von Berlinerblau ohne Erfolg blieb. — Beim Hammelaug war wieder in drei Fällen das Resultat mit Berlinerblau ein positives. Auch bei diesen Versuchen an Kaninchen- und Hammelaugen wurde das Kammerwasser vor Beginn der Injection entleert.

In allen diesen Fällen wurde nur ein geringer Injectionsdruck angewendet und dafür gesorgt, dass das Einströmen der gefärbten Flüssigkeit in die vorher entleerte vordere Kammer möglichst langsam von statten ging, um auch der Möglichkeit vorzubeugen, dass durch zu plötzliche Ausdehnung des Kammerwinkels Zerreibungen zu Stande kämen. Wir hielten die anfängliche Druckhöhe oft noch etwas unter der normalen, auf 18—20 mm, jedenfalls nicht über 25 mm Hg; erst wenn keine Injection bei letzterem Druck erfolgte, wurde derselbe allmählich auf 30—40 mm Hg gesteigert und erforderlichen Falles mehrere Stunden auf dieser Höhe erhalten, wobei das Auge vor Verdunstung geschützt blieb. Es kam uns eben darauf an, möglichst unter normalen Druckverhältnissen zu operiren und dem

Einwand von Gefäßzerreissungen sicher vorzubeugen. Auch schien es, dass bei anfänglichem Ausbleiben der Injection selbst erheblichere Drucksteigerungen ohne Erfolg seien, was mit den Erfahrungen von Schwalbe und anderen Beobachtern übereinstimmt.

Durch die Gefälligkeit meines Collegen, Prof. J. Arnold, war es uns möglich, auch einige Versuche an frischen menschlichen Augen anzustellen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank sage ¹⁾.

Die ersten Versuche konnten wir zwei Stunden nach dem Tode an einer männlichen Leiche anstellen, deren Augen bei der nachher vorgenommenen histologischen Untersuchung sich als normal erwiesen. An beiden Augen wurde eine Durchstichscanüle mit geringem Druck und ohne Verlust von Kammerwasser eingeführt; am linken Auge reines Berlinerblau, am rechten eine Mischung desselben mit Säurefuchsin injicirt. Der Druck wurde im Verlauf von $\frac{5}{4}$ Stunden allmählich von 25 bis 45 mm Hg gesteigert. Am linken Auge war keine Spur von blauer Injection der circumcornealen Gefässe zu bemerken; an dem mit der Mischung injicirten rechten Auge stellte sich an einigen episkleralen Venen eine schwache röthliche Injection und nach einiger Zeit eine deutliche rein rothe Färbung der den Hornhautrand umgebenden Bindehaut und Sklera ein. Der Versuch lieferte also für das blosse Auge ganz das früher von mir bei Thieren erhaltene Resultat; die mikroskopische Untersuchung zeigte aber später, dass am linken Auge die blaue Masse stellenweise in geringer Menge in das Lumen des Circulus venosus übergegangen war. Am rechten Auge war dies nicht der Fall, dagegen fanden sich hier einige Venen des Ciliarkörpers blau injicirt.

¹⁾ Ueber die bei diesen Versuchen gemachten Messungen der Filtrationsgeschwindigkeit wird Herr Dr. Bentzen an anderer Stelle berichten.

Drei weitere Versuche mit chinesischer Tusche gaben sämmtlich ein positives Resultat und zwar sowohl ohne, als mit vorheriger Entleerung des Kammerwassers.

Zu zwei Versuchen dienten die Augen eines $\frac{5}{4}$ jährigen, vor 14 Stunden an Rachendiphtherie verstorbenen Kindes, die noch gut gespannt waren und fast klare Hornhäute hatten. Am einen Auge wurde eine Durchstichscanüle eingeführt und das Kammerwasser nicht entleert. Bei 25 Mm Hg Druck beginnt schon nach einer Minute die Injection, nimmt allmählig zu und verbreitet sich um den ganzen Hornhautumfang. Im Beginn derselben sieht man feine mit Blut gefüllte Gefässchen auftauchen, die vorher nicht zu bemerken waren und die sich nachher mit Tusche füllen. Offenbar wurde das Blut zuerst aus den tieferen Gefässen nach aussen gedrängt, um dann durch Tusche ersetzt zu werden.

Am anderen Auge begann bei Benutzung einer conischen Glascanüle und nach vorheriger Entleerung des Kammerwassers die Injection bei demselben Druck ebenfalls nach einer Minute und wurde in $\frac{1}{4}$ Stunde ganz vollständig, so dass ausser den episkleralen Gefässen auch die feinsten Verzweigungen der Conjunctivalgefässe injicirt wurden.

Wir haben uns eigens noch durch Dialyse überzeugt, dass die zu dem Versuch benutzte Tusche ausser dem körnigen Pigment nicht noch einen anderen Farbstoff in Lösung enthielt.

Ein dritter Versuch mit chinesischer Tusche wurde 13 Stunden nach dem Tode an dem einen Auge einer weiblichen Leiche mit vorherigem Abfluss des Kammerwassers angestellt. Das Ergebniss schien zuerst negativ zu sein; als aber der Versuch nach $\frac{3}{4}$ Stunden beendet wurde, bemerkte man im unteren Umfang des Auges eine umschriebene Injection der episkleralen und conjunctivalen Gefässe, die, so lange die Canüle lag, nicht wahrgenommen werden konnte. Der Versuch fand bei ungünstiger Beleuchtung statt, die Einführung der Canüle war mühsam, und das Auge war dabei mehrfach gedrückt worden, so dass auf das geringe positive Ergebniss allein kein grosser Werth gelegt werden könnte.

Am anderen Auge wurde zum Vergleich, ohne vorherige Entleerung des Kammerwassers, eine Lösung von Säurefuchsin injicirt. Die Einführung der Canüle war gut gelungen. Bei 23 Mm Hg Druck trat schon nach 2 Minuten am nasalen Hornhautrande eine röthliche Färbung ein, die rasch zunahm und sich bald um den ganzen Umfang verbreitete.

Die letzten 4 Augen konnten leider nicht zur mikroskopischen Untersuchung benutzt werden.

Weitere Gelegenheit zu Versuchen an frischen menschlichen Augen bot sich seither nicht, doch dürften die bisherigen genügen, um darzuthun, dass das menschliche Auge sich dabei nicht wesentlich anders verhält als das Thierauge.

Als wir uns nun danach umsahen, welche in der Anordnung der Versuche gelegenen Umstände die jetzt so häufig, wenn auch nicht constant, erhaltenen positiven Resultate mit Berlinerblaulösung gegenüber den früheren negativen verursacht haben konnten, wurden wir sogleich darauf geführt, dass wir jetzt das Kammerwasser in der Regel vor der Injection hatten abfließen lassen, während bei den früheren Versuchen stets die Canüle ohne Verlust von Kammerwasser eingeführt und die Farbstofflösung in die gefüllte Kammer injicirt worden war.

Um zu prüfen, ob dieser Umstand von Einfluss war, stellten wir eine Reihe vergleichender Versuche in der Weise an, dass an zwei ganz gleichen Augen dieselbe Lösung von Berlinerblau unter demselben Druck und auch unter sonst ganz gleichen Umständen das eine Mal nach Abfluss des Kammerwassers, das andere Mal bei erhaltener vorderer Kammer injicirt wurde. Unsere Vermuthung fand sich in der That bestätigt. Bei drei vergleichenden Versuchen mit je zwei frischen Schweinsaugen trat nach Abfluss des Kammerwassers die Injection jedesmal fast augenblicklich im ganzen Umfang der Hornhaut ein, während sie bei erhaltener vorderer Kammer ausblieb; nur bei einem Auge stellte sich nachträglich noch an einem Theil des Umfangs eine verspätete Injection ein, die wohl darauf bezogen werden konnte, dass gerade bei diesem Versuch die Augen etwas länger als sonst, ca. $4\frac{1}{2}$ Stunden, im warmen Zimmer gelegen hatten und schon merklich

collabirt waren. Von 6 früheren Versuchen mit Berlinerblau, bei denen das Ergebniss stets mehr oder weniger positiv war, waren 4 mit Abfluss, 2 mit Erhaltung des Kammerwassers angestellt; der Abfluss des Kammerwassers war also nicht die alleinige Bedingung, sondern nur ein sehr wesentlicher begünstigender Umstand für das Gelingen der Injection. In einem der beiden Fälle, wo die Injection ohne vorherigen Abfluss des Kammerwassers gelang, war, wie oben erwähnt wurde, das Auge bei Einführung der Canüle stark gedrückt worden; wir konnten jetzt aber auch diesen Fall nicht mehr wohl auf Zerreissung von Gefässen beziehen, da einmal die Injection sehr gleichmässig rings um den Hornhautrand entstanden war, während Gewebszerreissungen wohl kaum an verschiedenen Stellen auf einmal erfolgt sein würden und die mikroskopische Untersuchung, wie schon oben bemerkt wurde, Gefässzerreissungen nicht nachzuweisen vermochte, und da wir ferner bei Compression des Auges zwischen den Fingern, während die vordere Kammer dem Flüssigkeitsdruck ausgesetzt war, die ausbleibende Gefässfüllung nicht absichtlich hervorrufen konnten.

Bei einem Versuch am Kaninchenauge blieb die Injection trotz Abfluss des Kammerwassers aus; auch Schwalbe hat schon gefunden, dass die Injection beim Schwein besonders leicht gelingt, und auch sonst sind zwischen den Augen verschiedener Thiere Unterschiede in dieser Beziehung beobachtet worden.

Da meine früheren Versuche mit negativem Resultat zum grössten Theil an Hundeaugen angestellt worden waren, wurde noch ein vergleichender Versuch bei diesem Thier angestellt, welcher den Einfluss des Kammerwasserabflusses wiederum schlagend bestätigte.

Das Thier wurde durch Chloroform betäubt und dann durch Verbluten getödtet; die Augen sofort in situ zum Versuch benutzt. Am rechten Auge nach Abfluss des Kammerwassers be-

ginnt, bei 27 MmHg Druck, nach 4 Minuten die Injection der circumcornealen Gefässe mit Berlinerblau an verschiedenen Stellen des Umfangs zugleich und ist sehr bald complet; am linken Auge, bei erhaltener vorderer Kammer, tritt bei demselben Druck auch nach 3 Stunden keine Injection der Gefässe hervor. Die Untersuchung der Augen an Celloidinschnitten ergab indessen, dass auch an diesem Auge in einige Gefässe der Sklera etwas blaue Masse eingedrungen war, was sich aber während des Versuches nicht erkennen liess.

Da Schwalbe angiebt, dass bei seinen Versuchen während der Einführung der Canüle in den meisten Fällen der grösste Theil des Kammerwassers abfloss, während dies bei meinen Versuchen mit Riesenfeld nicht der Fall war, so ist hiernach die Ursache der widersprechenden Resultate jedenfalls der Hauptsache nach auf diesen Unterschied der Versuchsbedingungen zurückzuführen.

Auch Heisrath, welcher die verschiedenen Umstände, welche auf das Zustandekommen der Injection von Einfluss sind, besonders sorgfältig studiert hat, hebt schon den Einfluss der vorherigen Punction der vorderen Kammer hervor. Je weniger Flüssigkeit vor Beginn des Versuchs in der vorderen Kammer sich befand, um so leichter gelang ihm die Injection; unter den von ihm ausprobirten günstigsten Versuchsbedingungen sah er sie aber auch bei Vermeidung des Abflusses von Kammerwasser an frischen Augen regelmässig zu Stande kommen.

Von anderen Autoren erhielt Königstein mit Berlinerblau durchweg negative Resultate, Gifford fast ausnahmslos; Rochon-Duvigneaud konnte zwar bei Injection von Berlinerblau-Gelatine mit der Pravaz'schen Spritze fast immer, wenigstens partiell, die Venen füllen, bemerkt aber, dass die Injection von der vorderen Kammer aus nicht mit der Regelmässigkeit erfolgte wie eine directe Gefässinjection. Leider lässt sich in Ermangelung darauf bezüglichlicher Angaben nicht feststellen, ob auch die negativen Resultate der zuletzt genannten Autoren wesentlich dem Umstande zuzu-

schreiben sind, dass das Kammerwasser vor der Injection nicht entleert wurde.

Für den Uebergang der Tusche in die Venen ist die vorausgeschickte Entleerung des Kammerwassers von viel geringerer Bedeutung. Beim frischen Schweinsauge kam mit japanischer Tusche die Injection auch bei erhaltener vorderer Kammer fast ausnahmslos zu Stande, nur etwas später, und die Füllung der Gefässe war anfangs schwach, von mehr grauer Farbe, und auch nicht immer vollständig. Es geht hieraus klar hervor, dass es sich lediglich um die Wirkung der Verdünnung durch das Kammerwasser handelt.

Die bisher mitgetheilten Versuche haben also herausgestellt, dass nicht nur Lösungen von Berlinerblau, sondern auch feinste körperliche Partikel beim frischen todten Auge unter gewissen Bedingungen von der vorderen Kammer aus in die vorderen Ciliarvenen übergehen, das Berlinerblau aber in der Regel nur nach vorheriger Entleerung des Kammerwassers, nicht bei erhaltener vorderer Kammer. Durch diesen und durch eine Reihe anderer Umstände, welche auf das Gelingen der Injection von Einfluss sind und auf welche ich zum Theil noch zurückkomme, erklärt sich nun auch die Inconstanz der Versuchsergebnisse und der diametrale Gegensatz zwischen meinen früheren Versuchen und denen von Schwalbe vollständig. Ich stehe daher auch nicht an zu erklären, dass meine früheren Versuche, obwohl sie für ihren eigentlichen Zweck, die Frage des offenen Zusammenhanges zwischen Augenkammer und Blutgefässen vollkommen genügten, doch zur Aufklärung aller hier in Betracht kommenden Umstände unzulänglich waren und einer Ergänzung bedurften.

Es kann nun auch kein Zweifel mehr an der Richtigkeit der oben ausgesprochenen Vermuthung gehegt werden, dass das Ausbleiben der Gefässinjection mit Berlinerblau einer Fällung dieses Farbstoffes durch das Kammerwasser zuzuschreiben ist. Der directe Beweis dafür wird

geliefert, wie schon Heisrath angegeben hat und wir bestätigen können, durch die mikroskopische Untersuchung des Inhaltes der vorderen Kammer nach beendigem Versuch, bei welcher man den Farbstoff in feinen Flöckchen ausgeschieden findet, während der Inhalt der Canüle ganz unverändert geblieben ist.

Die Hauptmenge des Farbstoffs wird gewiss schon in der vorderen Kammer zurückgehalten, es ist aber möglich, dass etwas davon noch in die Kittleisten der Gefäße gelangt, ohne aber in merklicher Menge in das Gefäßlumen überzugehen. Jedenfalls scheint eine Verstopfung der Lücken des Endothels keine wesentliche hindernde Rolle dabei zu spielen, wie aus folgendem Versuch hervorgeht. Bei Injection einer Mischung von Berlinerblau- und Säurefuchsinlösung war eine rein rothe Injection der Gefäße entstanden; der Versuch wurde jetzt unterbrochen, der Inhalt der vorderen Kammer abgesaugt und eine reine Lösung von Berlinerblau injicirt. Als der Druck von 25 auf 35 mm Hg gesteigert wurde, trat an mehreren Stellen eine partielle Injection der circumcornealen Gefäße von violetter Färbung ein. Bei der ersten Injection konnte also die Füllung der Gefäße mit Blau nur deshalb ausgeblieben sein, weil dasselbe in der vorderen Kammer vollständig ausgefällt wurde, aber nicht weil die Poren des Endothels dadurch verstopft waren, sonst hätte es bei der zweiten Injection nicht in die Gefäße übergehen können; bei dieser wurde der Uebergang wohl dadurch ermöglicht, dass durch die doppelte Entleerung der vorderen Kammer das jetzt eingeführte Berlinerblau nur in sehr fein vertheiltem Zustande ausgeschieden wurde.

Es fragt sich nun, in welcher Form das Berlinerblau bei gelungener Injection in die Gefäße gelangt. Es sind hier zwei Fälle möglich; entweder es kommt überhaupt keine Ausfällung desselben zu Stande, weil durch die vorhergehende Entleerung des Kammerwassers keine hin-

reichende Menge von Salzlösung vorhanden ist, oder die Fällung kommt zwar zu Stande, aber der entstehende Niederschlag ist so fein, dass er ebenso wie die Tuschekörnchen die Interellularlücken der Endothelhäute passiren kann. Wir haben, um dies zu entscheiden, die während der Injection aus den Enden der abgeschnittenen Gefässe ausfliessende blaue Flüssigkeit mikroskopisch untersucht und in drei Fällen regelmässig den Farbstoff in äusserst feinen Partikelchen ausgeschieden gefunden. Dies beweist, dass die letztere Annahme zutrifft, dass wenigstens der grösste Theil des Farbstoffs vor und während des Passirens der Gefässwand niedergeschlagen wird. Hiernach muss man annehmen, dass das Berlinerblau dann in die Gefässe übergeht, wenn der entstehende Niederschlag eine hinreichende Feinheit besitzt, während es bei Ausscheidung gröberer Flöckchen in der vorderen Kammer zurückbleibt. Der Einfluss der Entleerung des Kammerwassers ist hiernach ohne weiteres verständlich, denn die Ausfällung wird um so rascher und vollständiger erfolgen und der entstehende Niederschlag wird sich um so mehr zu größeren Flocken und Häutchen zusammenziehen, je mehr Kammerwasser mit ihm in Berührung kommt. Es wird hiernach auch klar, warum ein auf das Auge ausgeübter stärkerer Druck oder ein besonders rasches Einströmen der Lösung in die vordere Kammer nach Heisrath das Entstehen der Injection begünstigt, weil der Uebergang der Flüssigkeit in die Gefässe zu rasch erfolgt, als dass zu einer vollständigen Ausfällung des Farbstoffes Zeit gelassen wäre. Wenn dann erst die Gewebslücken mit Berlinerblau erfüllt sind, so wird durch den nachrückenden Filtrationsstrom die Gewebsflüssigkeit auf die Seite gedrängt und die weitere Ausfällung des Farbstoffes verzögert. Erfolgt aber die Injection von Anfang an langsamer, ist der Druck in der vorderen Kammer gering, so kommt die Füllung der Gefässe entweder gar nicht zu Stande oder sie ist unvoll-

ständig und kommt oft später zum Stillstand, und kann dann auch durch höheren Druck nicht wieder hervorgerufen werden. Ist der Farbstoff in zu groben Flöckchen in der Flüssigkeit suspendirt, so wird auch ein noch so starker Druck nicht im Stande sein, ihn durch die Poren hindurchzupressen.

Dass filtrirte Suspensionen von Tusche leichter durchgehen als Berlinerblau und dass es dabei keinen grossen Unterschied macht, ob das Kammerwasser vorher entleert worden ist oder nicht, erklärt sich durch die ausserordentliche Feinheit der Tuschekörnchen, die durch das Kammerwasser keine Veränderung erfährt, und durch den Umstand, dass diese Körnchen nicht die Neigung haben, wie die des Berlinerblaus sich zu grösseren Flocken und Häutchen an einander zu lagern.

Alle die hier angeführten Umstände sind auch ebenso viele Gründe für die Annahme einer Filtration und gegen die eines offenen Zusammenhanges. Es ist daher schwer begreiflich, wie Heisrath, welcher die das Zustandekommen der Gefässfüllung beeinflussenden Momente so eingehend studirt hat, sich gegen die Filtration aussprechen konnte. Die von ihm dagegen geltend gemachten Gründe widerlegen sich nach dem Gesagten leicht; so die mangelnde Diffusionsfähigkeit des Berlinerblaus, die ja nur in Betracht kommen kann, wo es sich um Durchgang durch homogene Membranen, also durch physikalische Poren handelt, nicht aber bei dem Passiren feinsten Spalten zwischen den Gewebeelementen, die man als anatomische Poren bezeichnen kann; ebenso die Ausfällung des Berlinerblaus in der vorderen Kammer und der Durchgang von Suspensionsflüssigkeiten.

Wenn aber Heisrath die Schnelligkeit geltend macht, mit welcher die Injection erfolgt, so ist dem entgegenzuhalten, dass diese zwar mitunter fast momentan eintritt, dass aber im Allgemeinen doch die relative Langsamkeit ihres

Zustandekommens auffällt, indem es wenigstens einige Sekunden, gewöhnlich aber eine oder mehrere Minuten und zuweilen noch viel länger dauert, bis eine Gefässfüllung zu bemerken ist. Auch Schwalbe hat schon zugegeben, dass die lange Zeit, welche bis zum Eintritt der Gefässfüllung vergeht, für eine Filtration spricht, desgleichen auch der Umstand, dass bei geringem Druck mehr Zeit dazu erforderlich ist als bei hohem. Er wurde aber durch die Beobachtung irre gemacht, dass er in den Fällen, wo bei hohem Druck die Gefässfüllung ausblieb, doch eine Filtration von farbloser Flüssigkeit erfolgen sah, was nach den heute vorliegenden Erfahrungen ja nicht anders zu erwarten ist.

Wenn endlich Heisrath geltend macht, dass das Berlinerblau nicht überall, sondern nur an einer bestimmten Stelle, im Kammerwinkel, in die Gefässe übergeht, die seiner Meinung nach offen ist, so ist zu entgegnen, dass dies eben die einzige Stelle ist, wo das Venenlumen nur durch eine minimal dünne Gewebsschicht von dem Lückensystem des Fontana'schen Raumes getrennt wird. Dass hier wirklich eine Filtration stattfindet, wird sich weiterhin aus der Mittheilung der anatomischen Befunde mit Sicherheit ergeben.

Nach dem Gesagten ist es nun auch leicht verständlich, warum ich früher, wo ich das Kammerwasser bei Beginn des Versuchs nicht entleerte, bei Injection einer Mischung von Berlinerblau- und Carminlösung eine rein rothe Injection der circumcornealen Gefässe beobachtete, ebenso aber auch, dass andere Beobachter wie Heisrath unter günstigeren Versuchsbedingungen „beide Farbstofflösungen in den vorderen Ciliarvenen constatiren konnten.“

Ob letzteres Ergebniss mit oder ohne vorherige Entleerung des Kammerwassers erhalten wurde, lässt sich aus der kurzen Mittheilung nicht entnehmen. Nach den neuen Versuchen von Dr. Bentzen und mir muss ich aber an-

nehmen, dass die Vermischung der Berlinerblaulösung mit einem anderen Farbstoff eine weitere Erschwerung für das Gelingen der Veneninjection abgibt. Obwohl wir, wie bemerkt, mit reinem Berlinerblau nach Entleerung des Kammerwassers an frischen Schweinsaugen fast ausnahmslos eine blaue Füllung der Venen erhielten, war dies nicht der Fall, wenn eine Mischung der Berlinerblau- mit Carmin- oder Säurefuchsinlösung benutzt wurde; bei 6 Versuchen zur Hälfte mit, zur Hälfte ohne vorherige Entleerung des Kammerwassers trat constant eine rothe Injection der Gefässe ein, nur bei einem Auge folgte auf die anfangs rein rothe Injection später eine violette Füllung einzelner Gefässe nach, die aber sehr bald ins Stocken kam und sich nicht weiter ausbreitete.

Dabei wurde noch die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass nach etwa 10 Minuten die violette Färbung der Gefässe immer mehr ins blaue überging, ohne dass doch die Injection weiter fortschritt; die Füllung der Gefässe war ungleichmässig, der blaue Inhalt stellenweise deutlich in Stücke getheilt und in Ruhe. Dabei verlor sich die vorher durch Diffusion des Säurefuchsin entstandene gleichmässige Röthung der Bindehaut mehr und mehr. Nach Beendigung des Versuches war der Inhalt der vorderen Kammer rein blau gefärbt, der blaue Farbstoff in feinen Flöckchen ausgeschieden, die Cornea und Iris intensiv roth gefärbt. Die Injection war also durch Verstopfung der Gefässe zum Stillstand gekommen, und das in der vorderen Kammer enthaltene Fuchsin theils von der Hornhaut und Iris absorbirt, theils durch Diffusion in das anhängende Gewebe vertheilt und verschwunden, während die in der Canüle enthaltene Farbstofflösung ihre violette Farbe unverändert behalten hatte.

Auch beim völlig frischen menschlichen Auge trat bei erhaltener vorderer Kammer, wie schon oben berichtet worden ist, eine rein rothe Injection der Gefässe auf.

Es ist hier daran zu erinnern, dass Heisrath auch bei Benutzung verschiedener Sorten von Berlinerblau Ungleichheiten des Erfolgs beobachtet hat. Dass käufliches Berlinerblau von verschiedener Qualität ist, habe ich früher

schon selbst erfahren; unser jetzt benutztes, von Grübler bezogenes Präparat enthielt, wie die Dialyse ergab, nur Spuren von Ferrocyankalium, während eine andere Sorte ihre geringere Löslichkeit offenbar einem grösseren Salzgehalt verdankte. Vermuthlich werden die von Heisrath beobachteten Unterschiede ebenfalls darauf beruht haben, dass das Berlinerblau bald besser, bald weniger gut ausgewaschen war und im letzteren Falle durch Berührung mit dem Kammerwasser noch leichter als sonst gefällt wurde. In ähnlicher Weise könnte auch der Zusatz einer anderen Farbstofflösung gewirkt haben.

Bei den von Merian erhaltenen negativen Resultaten könnte auch der Umstand mitgewirkt haben, dass kein gewöhnliches Berlinerblau, sondern Richardson's Blau, vermischt mit Weingeist und Glycerin, zur Injection benutzt wurde.

Mit anderen Farbstoffen haben wir nur wenige Versuche angestellt und zwar mit Alkannin-Terpenthinöl, bei denen wir die von Schwalbe und Gifford erhaltenen positiven Injections-Resultate bestätigt fanden. Es war dies von vornherein zu erwarten, da das Terpenthinöl, wie ich vor Jahren gezeigt habe, thierische Gewebe mit der grössten Leichtigkeit durchdringt. Bei Einstichs-injectionen in die Hornhaut füllen sich damit nicht nur die Saftkanälchen der letzteren, und die Lymphgefässe der Bindehaut, sondern auch die intercellularen Lücken des Hornhautepithels, ja es dringt sogar das Terpenthinöl in feinsten staubartigen Tröpfchen in das Protoplasma der Epithelzellen selbst ein. Es kann also nicht überraschen, dass damit auch von der vorderen Kammer aus mit Leichtigkeit die circumcornealen Blutgefässnetze zu injiciren sind; über die hier zur Discussion stehende Frage erhalten wir aber mit einem solchen Injectionsmaterial keine sichere Auskunft. Die Verbreitung geschieht ja, dem Gesagten zu Folge, auch unabhängig von etwaigen Spalträumen und

Gewebslücken durch einen der Diffusion nahestehenden Vorgang.

Mit Asphaltchloroform, womit Schwalbe und Gifford ebenfalls positive Resultate erhielten, haben wir keine Versuche angestellt; sie schienen mir entbehrlich zu sein, nachdem ich mich überzeugt hatte, dass selbst feinkörnige feste Stoffe ohne Zerreissung in die Gefässe übergehen. Man wird dies hiernach von einer mit so grosser Leichtigkeit in die feinsten Gewebslücken eindringenden Flüssigkeit wie das Asphaltchloroform nur begreiflich finden. Doch sind auch mit dieser Injectionsmasse nicht alle Versuche sonstiger Beobachter positiv ausgefallen. Staderini erhielt bei der Katze nach dem Tode an dem in der Orbita gelassenen Auge nur feine Asphaltstreifen längs den Gefässen, nicht aber in deren Lumen; dagegen trat beim enucleirten Auge Injection der circumcornealen Gefässe ein, die jedoch von Staderini auf Zerreissungen bezogen wird.

Dagegen muss ich bedauern, dass wir nicht mehr dazu gekommen sind, Versuche mit defibrinirtem Blut anzustellen, womit Heistrath ebenfalls experimentirt hat. Ich lege weniger Gewicht auf seine Beobachtung, dass in die Augen lebender Frösche injicirtes Säugethierblut in die Venen übergang, da man bei der Kleinheit des Organs und der Zartheit der Theile Verletzungen von Gefässen wohl schwer mit Sicherheit ausschliessen kann. Dagegen wäre es von Interesse, die Beobachtung Heistraths mit allen Cautelen zu wiederholen, der bei Säugethier- und Menschenaugen defibrinirtes Blut aus der vorderen Kammer in die Ciliarvenen übergehen sah. Schon im Eingang dieser Arbeit habe ich betont, dass bei Abfluss des Kammerwassers im Leben die rothen Blutkörperchen den entgegengesetzten Weg in merklicher Menge nicht nehmen, was trotz dem Durchgang von Tuschkörnchen bei ihrer verhältnissmässig viel bedeutenderen Grösse wohl begreiflich

ist. Es wäre daher sehr merkwürdig, wenn unter gewissen Bedingungen trotzdem ein reichlicher Uebergang von rothen Blutkörperchen stattfände.

Es bleibt jetzt noch die Aufgabe übrig, den Weg, welchen das Berlinerblau und die Tuschekörnchen von der vorderen Kammer bis zu dem Venenlumen nehmen, durch histologische Untersuchung direct zu verfolgen.

An Flächenpräparaten der Hornhaut ist zunächst zu ersehen, dass beide Substanzen in die Intercellularlücken des Endothels der vorderen Kammer eindringen und eine zierliche Zeichnung der Zellencontouren erzeugen; dasselbe sieht man auch an Celloidinschnitten gehärteter Augen. Ueberraschend ist aber die Beobachtung, wie leicht diese Farbstoffe auch in das Gewebe der Iris eindringen und dasselbe bis zu einer ziemlichen Tiefe, zuweilen in ihrer ganzen Dicke durchsetzen. Bei Berlinerblauinjection erscheint das Irisgewebe diffus blau gefärbt, indem der Farbstoff gleichmässig zwischen die Bindegewebsfibrillen eingedrungen ist. Diese Infiltration geht nicht nur vom Kammerwinkel aus, wo die Lücken des Fontana'schen Raumes und ein Theil des Gewebes des Ciliarkörpers dicht mit dem Farbstoff durchtränkt sind, sondern auch von der vorderen Fläche, und ist oft nahe dem Pupillarrand am ausgesprochensten. Wo Tusche eingedrungen ist, liegen die Körnchen gleichmässig zwischen den Fibrillen vertheilt, nur stellenweise mehr oder weniger dicht, wobei sie auch gewisse Fibrillenzüge bevorzugen können; sehr ausnahmsweise liegen sie reihenweise längs den Ausläufern von Zellen. An einem Auge nahm die Dichte der Infiltration gegen die hintere Fläche der Iris stetig zu, wie wenn die Körnchen sich hier allmählich angesammelt hätten.

Im Fontana'schen Raum sind die Maschen dicht mit Farbstoff erfüllt, der auch die Bälkchen bedeckt und färbt. Trotz der Feinheit der Schnitte erscheinen nur die gröberen

Bälkchen als helle Züge, an den feineren bedarf es starker Vergrößerung, um zu erkennen, dass der Farbstoff auch ihnen nur oberflächlich aufliegt. Unmittelbar nach aussen von diesem Gewebe liegen die Lumina des Circulus venosus, die vielfach Farbstoff enthalten; an einer Reihe von Augen lässt sich ein continuirlicher Uebergang desselben durch die Gefässwand wahrnehmen. An mit Berlinerblau injicirten Schweinsaugen erscheinen die Gefässquerschnitte auf der proximalen Seite, zuweilen auch ringsum von blauer Masse umgeben, gleichzeitig ist die Innenfläche des Lumens blau gefärbt und stellenweise sieht man deutlich die Färbung durch die Gefässwand zwischen den Endothelzellen hindurchdringen. In der nächsten Nähe nach aussen liegen andere injicirte Gefässe, welche die Sklera quer und schräg durchsetzen; an manchen Schnitten trifft man sie auch mit den Venen des Plexus ciliaris in Verbindung; auch die episkleralen und conjunctivalen Venen finden sich injicirt.

Dasselbe Verhalten ist nach Tuscheinjection am Schweins- und Kaninchenaugen zu constatiren. Bei Oelimmersion erscheint die Innenfläche der Gefässe mit Tuschkörnchen bedeckt und diese ziehen sich durch das Gefässendothel hindurch in das umgebende Gewebe hinüber, welches sie in netzförmiger Anordnung durchsetzen.

Von besonderem Interesse war das Ergebniss bei dem oben mitgetheilten Versuch am menschlichen Auge mit Berlinerblauinjection, die 2 Stunden nach dem Tode vorgenommen werden konnte und wo mit dem blossen Auge keine Injection zu sehen war. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass an einem Theil des Umfangs die blaue Masse von innen her nur bis zu einer gewissen Tiefe in das Gewebe des Fontana'schen Raumes eingedrungen war und von dem Circulus venosus noch weit entfernt blieb. An einem anderen Theil des Umfangs war aber das Maschenwerk fast überall in seiner ganzen Dicke infiltrirt; hier erreichte die blaue Masse den Circulus venosus an seinem

peripheren Ende und drang in das Gefässlumen ein; an einigen Schnitten sah man auch an einer weiter nach der Hornhaut zu gelegenen Stelle eine Spur von blauer Färbung in das klaffende Lumen der grossen Vene eindringen. Die Bälkchen des Fontana'schen Gewebes waren überall nur von einer dünnen Schicht des Farbstoffes bedeckt. Wo dieser in das Gefäss eindrang, sah man mit der grössten Deutlichkeit die blaue Färbung zwischen den Endothelzellen der Gefässwand und auf deren Oberfläche sich in das Gefässlumen hineinziehen. Von der Fläche gesehen, erschienen die Endothelzellen einfach in ihrer ganzen Ausdehnung blau gefärbt; im Profil sah man zwischen je zwei Zellen nur eine feine blaue Linie in das Lumen eindringen und in den blau gefärbten Contour der Innenfläche des Endothels übergehen.

Die Beobachtung bestätigt also vollkommen die oben gemachte Voraussetzung einer Filtration zwischen den Gewebeelementen hindurch, wobei noch hervorzuheben ist, dass der Durchgang der Flüssigkeit hier nicht durch einzelne Stomata, sondern in mehr gleichmässiger Weise zu erfolgen scheint. Die Präparate lassen zugleich erkennen, dass bei ausbleibender Injection der Farbstoff zwar in die Maschen des Fontana'schen Raumes eindringt, aber schon aufgehalten werden kann, noch ehe er bis an den Circulus venosus gelangt ist.

Zerreissungen von Gewebe wurden nur bei Schweinsaugen ausnahmsweise beobachtet; wenigstens kann ich z. B. das Eindringen von Farbstoff zwischen Chorioidea und Sklera hinter der Ansatzstelle des Ciliarmuskels nicht anders als durch Zerreissung erklären; mangelnde Schonung beim Ausstechen der Augen mag dazu Veranlassung gegeben haben. Dies gelegentliche Vorkommen verliert aber alle Bedeutung angesichts der schon oben angeführten Gründe und vor allem gegenüber der directen Beobachtung des Ueberganges der Farbstoffe durch die Gefässwand in das Venenlumen.

Das Ergebniss der bisher mitgetheilten Versuche und Betrachtungen kann ich also folgendermaassen zusammenfassen. Ein offener Zusammenhang im anatomischen Sinne zwischen der vorderen Augenkammer und dem Venensystem existirt nicht. Dagegen filtriren beim frischen todten Auge in die vordere Kammer injicirte Flüssigkeiten mit Leichtigkeit durch die Intercellularlücken der Endothelhäute in den Circulus venosus und gehen von da direct in die abführenden Zweige der vorderen Ciliarvenen über. Gelöste Farbstoffe, die in der vorderen Kammer nicht ausgefällt werden, gehen ohne Schwierigkeit mit über, desgleichen suspendirte feinste Körnchen (Tusche), während Lösungen von Berlinerblau nur unter günstigen Bedingungen übergehen, weil der Farbstoff durch Berührung mit dem Kammerwasser ausgeschieden wird und die Körnchen des Niederschlages nicht immer fein genug sind, um die Poren der Scheidewand zu passiren. Wesentlich erleichtert wird der Uebertritt durch vorherige Entleerung des Kammerwassers; bei nicht entleertem Kammerwasser wird bei völlig frischen Augen das Berliner Blau in der Regel in der vorderen Kammer zurückgehalten.

Im Zusammenhalt mit den Versuchen von Gutmann zeigen also die unsrigen, dass eine nochmalige experimentelle Prüfung des Gegenstandes doch nicht überflüssig war. Die Frage war so lange nicht erledigt, als die negativen Injectionsresultate keine allseitig anerkannte Erklärung gefunden hatten und das Verhalten des menschlichen Auges nicht an frischem Material geprüft war. Obwohl mir noch ein Versuch mit Berliner Blau beim frischen menschlichen Auge mit vorheriger Entleerung des Kammerwassers fehlt, so glaube ich doch annehmen zu können, dass dasselbe auch in dieser Beziehung sich vom Thierauge nicht wesentlich unterscheiden wird, erwarte also, dass derselbe ein positives Resultat liefern dürfte. Die grosse Leichtigkeit, mit welcher Gutmann an seinen Augen mit Berliner Blau

und Tusche die Injection erhielt, zeigt ferner, dass auch für das menschliche Auge die Erfahrung Schwalbe's zu Recht besteht, dass die Injection um so leichter gelingt, je längere Zeit nach dem Tode verstrichen ist. Da dieser Umstand mit grösster Wahrscheinlichkeit auf Lockerung des Zusammenhaltes der trennenden Endothelhäute bezogen werden muss, so ist hiermit auch unsere Vermuthung gerechtfertigt, dass das völlig frische Auge sich in gewissem Maasse abweichend verhalten könnte.

Ich stimme aber mit Gutmann darin ganz überein, dass der Uebertritt der in Rede stehenden Substanzen durch die Intercellularlücken der Endothelhäute erfolgt. Nur darf dies nicht im früheren Sinne als offener Zusammenhang bezeichnet werden; es handelt sich vielmehr um den Vorgang, den man allgemein Filtration nennt und auf welchen ich von Anfang an das Zustandekommen der Gefässinjection bezogen hatte.

Zum Schluss möchte ich noch das Verhalten des lebenden Auges berühren, da alle diese Untersuchungen doch nur soweit von Bedeutung sind, als sie Schlüsse auf das letztere gestatten, doch muss ich mich dabei für jetzt auf wenige Bemerkungen beschränken. Ich habe es bisher absichtlich vermieden, darauf einzugehen, weil die meisten Untersuchungen am lebenden Auge, so wenig man dies a priori erwarten sollte, für die Frage der Abflusswege des Kammerwassers nur mit grosser Vorsicht zu verwerthen sind. Bekanntlich haben die Injectionen körniger Farbstoffe in die vordere Kammer des lebenden Thieres, wie zuerst Brugsch¹⁾ unter meiner Leitung gefunden und nachher Tückermann²⁾ bestätigt hat, mit der Schwierig-

¹⁾ A. Brugsch, Ueber die Resorption körnigen Farbstoffs aus der vorderen Augenkammer. v. Graefe's Arch. XXIII. 3. (1877).

²⁾ A. Tückermann, Ueber die Vorgänge bei der Resorption in die vordere Kammer injicirter körniger Farbstoffe. Ibid. XXXVIII. 3. (1892).

keit zu rechnen, dass die injicirte Substanz rasch in ein Fibringerinnsel eingeschlossen und bald von Lymphkörperchen aufgenommen wird; hierdurch muss einmal der natürliche Abfluss gehindert werden und zweitens ein Transport auf Bahnen stattfinden, die nicht ohne weiteres als Abflusswege des Kammerwassers gelten können. Meines Erachtens gestatten diese Versuche bisher überhaupt noch keinen sicheren Schluss über die hier interessirende Frage, wenn ich es auch nicht für ausgeschlossen halte, dass sie bei weiterer Ausbildung noch zu Aufschlüssen führen können.

Dass die mit Tuschekörnchen beladenen Leukocyten von der vorderen Kammer aus in die Iris und Sklera auswandern, ist zur Genüge bekannt, ebenso auch, dass sie in letzterer vorzugsweise dem Verlauf der Gefässe folgen, wo sie offenbar geringeren Widerstand für ihre Fortbewegung finden; freie Tuschekörnchen konnten Brugsch und Tückermann hier nicht finden, während Staderini solche hier ebenso wohl wie in der Iris gefunden haben will. Da es aber unter Umständen nicht so ganz leicht ist zu entscheiden, ob feinste im Gewebe liegende Körnchen in Zellausläufer eingeschlossen sind oder nicht, und auf diesen Umstand von Staderini nicht hinreichend Rücksicht genommen worden zu sein scheint, so ist die aus diesen Versuchen gefolgerte Abfuhr der Tuschekörnchen durch einen den Gefässen folgenden Lymphstrom noch nicht als sichergestellt zu betrachten.

Einen Uebergang der Tusche in Gefässe haben weder Brugsch, noch Staderini, noch Tückermann gesehen, vorausgesetzt, dass nur mässige Tuschemengen injicirt werden, bei welchen man auf die Erhaltung der Integrität der Gefässe rechnen kann; dagegen ist von Gifford der Uebergang der Tusche in die unveränderten Gefässe der Corneo-Skleralgrenze angenommen worden. An den Präparaten, welche Gifford die Gefälligkeit hatte, mir vor einiger Zeit zur Einsicht zu schicken, liegt ein Theil der

tuschehaltigen Leukocyten jedenfalls ausserhalb des Gefässlumens; an anderen Stellen sieht man einen continuirlichen schwarzen Streifen, der das Gefäss nicht durchscheinen lässt, wo aber nach der unregelmässigen Begrenzung dasselbe Verhalten zu vermuthen ist. Gesetzt aber auch den Fall, dass der Farbstoff stellenweise auch innerhalb des Lumens liege, was kann man daraus für den normalen Abfluss des Kammerwassers folgern, da zum Zweck der Einführung der Tusche ein Schnitt im Skleralrand im Bereich der hinteren Kammer gemacht wurde, um eine Spritze von hinten her durch die Pupille in die vordere Kammer einzuführen? Natürlich mussten dabei Gefässe verletzt werden, es war also Gelegenheit zum directen Eindringen der Tusche in deren Inneres gegeben.

Was soll man vollends dazu sagen, wenn Gifford und Morf¹⁾ es unternehmen, durch Impfung von Milzbrand in die vordere Kammer die Abflusswege des Humor aqueus kennen zu lernen? Gifford's Präparate zeigen ein üppiges Wachsthum der Bacillen, die zu Fäden verlängert den Kammerwinkel und Fontana'schen Raum durchsetzen, in das Irisgewebe hineinwuchern und stellenweise in deren Gefässlumina einzudringen scheinen, wie denn auch die Thiere gewöhnlich bald durch Allgemeininfection zu Grunde gingen. Es ist zu bekannt, wie wenig die Mikroorganismen bei ihren Wucherungsvorgängen genöthigt sind, sich nach den praexistirenden Gewebslücken und Flüssigkeitsströmen zu richten, wenn auch unter Umständen ihre passive Weiterverbreitung durch letztere bewirkt werden kann, als dass es mehr als eines kurzen Hinweises darauf bedürfte, um diese Methode als durchaus ungeeignet zurückzuweisen.

Ich habe seiner Zeit gezeigt, dass auch am lebenden Auge bei Injection von Flüssigkeit in die vordere Kammer bei einer den Augendruck übertreffenden Druckhöhe ein Ab-

¹⁾ Morf, *Experim. Beiträge zur Lehre von den Abflusswegen der vorderen Augenkammer*. Inaug.-Diss. Zürich 1888.

sinken des Druckes stattfindet, welches auf Filtration in die Gefässe bezogen werden muss. Mit getärbter Flüssigkeit konnte ich nur zwei Versuche anstellen, die kein entscheidendes Resultat gaben. Es ist begreiflich, dass eine sichtbare Injection beim Lebenden schwer zu erzielen sein wird, weil durch den fortdauernden Blutumlauf der in die Gefässe übergehende Farbstoff verdünnt und weggeschwemmt wird.

Auch Heisrath, welcher eine grössere Zahl solcher Versuche angestellt hat, giebt an, dass makroskopisch in der Regel wenig oder nichts von Injection zu beobachten war, dass er aber nach länger fortgesetzter Injection von Berlinerblau bei Säugethieren eine schöne Füllung einzelner Gefässe oder Gefässbezirke erhielt; auch eine Mischung von Berlinerblau- und Carminlösung ging als solche in die Venen über, desgleichen Suspensionen von Zinnober und defibrinirtes Blut. Diese Beobachtungen geben der Annahme eine weitere Stütze, dass auch im Leben der Abfall einer durch Injection in die vordere Augenkammer erzeugten Drucksteigerung durch Filtration in die Venen zu Stande kommt. Hieraus ergibt sich ferner, dass auch bei normalem Augendruck eine Filtration stattfinden wird, welche der Differenz zwischen dem Druck in der vorderen Kammer und in den abführenden Venen entspricht, über deren Menge sich allerdings bisher noch keine Angaben machen lassen, und das endlich die Erhaltung des normalen Augen Druckes, wie das bisher angenommen worden ist, von dem Gleichgewicht zwischen Secretion und Filtration des Humor aqueus abhängt.

Nachdem wir hiermit die Annahme eines offenen Zusammenhanges zwischen vorderer Kammer und Venensystem im früheren Sinne als endgültig widerlegt betrachten dürfen, haben wir damit auch für die Erklärung der abnormen Druckverhältnisse des Auges wieder eine allgemein anerkannte Grundlage gewonnen.