

Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge.

Von
Th. Leber.

Im Folgenden beabsichtige ich eine Reihe von Untersuchungen mitzutheilen über die Abflusswege des Humor aqueus, das Filtrationsvermögen der Hornhaut und einige sich daran anschliessende Fragen.

Die betreffenden Versuche wurden von mir schon vor Jahren begonnen, später wurde ein Theil derselben gemeinschaftlich mit Dr. E. Riesenfeld weiter geführt, der davon in seiner Dissertation Mittheilung gemacht hat, aber erst in der letzten Zeit gelangten sie zu einem gewissen Abschluss. Des Zusammenhanges wegen wird es nothwendig sein, auch die in der Riesenfeld'schen Dissertation enthaltenen Angaben an ihrem Ort nochmals kurz zu reproduciren und dies um so mehr, als die Weiterführung der Versuche zum Theil zu anderen Ergebnissen geführt hat, als sie damals erwartet wurden.

I.

Einleitende Bemerkungen über den Ursprung und Abfluss des Humor aqueus.

Die Absonderung des Humor aqueus wird bekanntlich schon lange in die Ciliarfortsätze und

an die hintere Fläche der Iris verlegt. In der That scheinen die Ciliarfortsätze hierfür ganz das geeignete Organ. Ihr grosser Gefässreichthum, und die enorme Verbreiterung des Strombettes durch die zahlreichen Theilungen und Anastomosen, insbesondere der capillaren Venen, welche an Weite die zuführenden Arterien bedeutend übertreffen, stempeln die Ciliarfortsätze unverkennbar zu einem für reichliche Flüssigkeitsabsonderung bestimmten Organ. Beim Menschen setzen sich die Processus ciliares in geringerer, bei manchen Thieren aber in voller Entwicklung auf die hintere Fläche der Iris fort, ja bei einigen, z. B. beim Ochsen sind sie völlig auf die Hinterfläche der Iris vorgeschoben, so dass also auch diese letztere an der Secretion des Humor aqueus mehr oder minder theilnehmen wird.

Indessen ist es durch physiologische Versuche bisher nicht nachgewiesen und dürfte auch schwer zu beweisen sein, dass der Humor aqueus ausschliesslich hinter der Iris und nicht auch zugleich von ihrer vorderen Fläche abgesondert wird. Wohl aber gibt es eine Reihe von pathologischen Thatsachen, welche das mangelnde Experiment ersetzen und auch schon lange zu diesem Beweis verwendet worden sind, dass nämlich der Humor aqueus ausschliesslich hinter der Iris secernirt werde, zuerst die hintere Kammer ausfülle und von dieser erst in die vordere Kammer gelange.

Bei vollständigem Pupillarabschluss durch circuläre hintere Synechie nimmt der Raum der vorderen Kammer stetig ab, der der hintern dagegen zu, bis die erstere fast völlig aufgehoben und die Iris bis zur Hinterfläche der Hornhaut hervorgebuchtet ist. Eine verminderte Absonderung von Humor aqueus ist wegen der Ausdehnung der hintern Kammer nicht anzunehmen und überdies nimmt die Füllung des Auges im Ganzen keines-

wegs ab, sondern in der Regel zu, es kommt zu Drucksteigerung und Sehnervenexcavation.

Schon im Jahre 1707 wurde Méry*) durch die Zergliederung eines Auges mit *Cataracta accreta* zu der richtigen Ansicht über den Ort geführt, wo die Absonderung des Kammerwassers stattfindet. Er suchte und fand in den Ciliarfortsätzen das secernirende Organ und bezeichnete sie, den unvollkommenen anatom. Vorstellungen seiner Zeit entsprechend, als kleine Drüsen. Dieselbe Ansicht wurde später auch von Haller**) und von Zinn***) vertreten, auf diese und ähnliche Beobachtungen gestützt. Doch gibt Zinn zu, dass die vordere Fläche der Iris auch etwas Flüssigkeit liefern könne, da beim Foetus schon vor Durchbruch der Pupillarmembran die vordere Kammer einige Tropfen Flüssigkeit enthalte.

Beer†) bestätigte diese Theorie durch seine Beobachtungen über die Genese der Hornhautstaphylome (1805). Er bewies, dass es für die Entstehung eines Hornhautstaphyloms von der grössten Wichtigkeit ist, ob die Verbindung zwischen Vorder- und Hinterkammerraum erhalten bleibt oder nicht. Im letzteren Fall muss nach Irisvorfällen ein Staphylom entstehen, wenn überhaupt die Absonderung des Humor aqueus fort dauert.

Es kann nach diesen Erfahrungen wohl als festgestellt betrachtet werden, dass mindestens

*) Méry, *Scavoir si le glaucoma et la cataracte sont deux différentes ou une seule et même maladie. Mém. de l'Acad. des sc. 1707 p. 498—499.*

**) Albr. v. Haller, *Histor. arter. oc. (1754) p. 48 und Elementa physiolog. T. V. p. 412 (1757).*

***) Zinn, *Descr. anat. oc. hum. Goett. 1755 (2. ed. Wrisberg 1780 p. 130 ff.)*

†) Beer's *Ansicht der staphylomatösen Metamorphose des Auges und der künstlichen Pupillenbildung. Wien 1805. S. 50.*

die Hauptmenge des Humor aqueus in der hintern Kammer secernirt wird.

Die Absonderung muss wohl eine stetige und fortdauernde sein, um denjenigen Theil des Kammerwassers zu ersetzen, welcher in jedem Augenblicke verloren geht.

Schon das Schlaffwerden der Augen nach dem Tode, das auch nach Abfluss des Blutes und bei Stillstand der Circulation noch immer zunimmt, selbst wenn das Auge vor Verdunstung geschützt wird, beweist dies zur Genüge. Auch abgesehen von der Verdunstung wird das Auge, als eine elastische, mit Flüssigkeit gefüllte und von thierischen Membranen begrenzte Kapsel beständig durch seine Elasticität einen Theil der in ihm enthaltenen Flüssigkeit auspressen; da während des Lebens der Augendruck constant bleibt, so muss die verloren gehende Flüssigkeit beständig wieder ersetzt werden.

Wie gross die Menge der in der Zeiteinheit durch das Auge hindurchtretenden Flüssigkeit ist, ist nicht bekannt und dürfte auch schwer zu bestimmen sein. Die Geschwindigkeit der Absonderung des Humor aqueus nach Paracentesen erlaubt hierauf natürlich keinen direkten Schluss. Man erhält dabei viel grössere Werthe, weil der die Absonderung beschränkende Augendruck anfangs wegfällt und später wenigstens herabgesetzt ist.

Die Abflüsse des Humor aqueus.

Die älteren Autoren waren fast durchgehends der Ansicht, dass der Humor aqueus die Hornhaut durchdringe und aus zahlreichen feinsten Poren an ihrer Aussenfläche wieder zum Vorschein komme. Als Beweis dafür wird von Allen fast übereinstimmend angeführt, dass man durch Druck auf ein ausgeschnittenes Auge an der Hornhautoberfläche zahl-

reiche Tröpfchen zum Vorschein bringen könne, welche sich immer wieder erneuern, so oft man sie auch abwischt.

Das trüb gewordene Epithel, das sich einige Zeit nach dem Tode von der Hornhautoberfläche ablöst, betrachtete man als den eingedickten Rest des Humor aqueus, dessen flüssige Bestandtheile durch Verdunstung verloren gegangen seien.

Von Vielen wurde sogar behauptet, dass der die Hornhaut durchdringende Humor aqueus ihre Durchsichtigkeit bedinge und ihr Ernährungsmaterial darstelle.

Die Annahme von Poren der Hornhaut fand nur wenige Gegner und hat sich, wenn auch in veränderter Gestalt, den neueren Anschauungen entsprechend, bis auf die jetzige Zeit erhalten. Neben dem unmerklichen Durchtritt des Kammerwassers durch die Hornhaut wurde von Manchen auch noch eine Resorption durch abführende Venen angenommen, oft mehr auf Analogie mit anderen Organen, als auf sonstige Beweise gestützt.

Erst in der neuesten Zeit ist von Schwalbe die Ansicht aufgestellt, dass ein offener Zusammenhang zwischen Blutgefäßsystem und vorderer Augenkammer existire.

Wir werden hier zuerst die Frage behandeln, ob ein solcher Zusammenhang wirklich existirt oder nicht.

II.

Ueber den Zusammenhang der vorderen Kammer mit Blutgefäßen.

G. Schwalbe hat*) die merkwürdige Thatsache angegeben, dass man, bei Thier- und Menschenaugen, durch

*) G. Schwalbe, Untersuchungen über die Lymphräume des Auges und ihre Begrenzungen. Arch. f. micr. Anat. VI. (1870) p. 261 ff.

Injection gefärbter Flüssigkeit in die vordere Kammer das den Hornhautrand umgebende episclerale Venennetz und die daraus hervorgehenden vorderen Ciliarvenen füllen kann. Er glaubte, durch diesen Versuch und die sich daran schliessenden weiteren Untersuchungen beweisen zu können, dass die vordere Augenkammer mit den venösen Gefässen des Sclero-Cornealrandes in offener, wenn auch nur mittelbarer Verbindung stehe. Zunächst hänge sie zusammen mit dem Lückensystem des Fontana'schen Raumes (bei Thieren) oder mit dem Schlemm'schen Kanal (beim Menschen), weiterhin mit dem venösen Plexus ciliaris und mit den von diesem ausgehenden, die Dicke der Sclera durchsetzenden Venen.

Die vordere Kammer selbst betrachtet Schwalbe als einen grossen Lymphraum, als kleinere mit ihr communicirende Lymphräume die Maschen des Fontana'schen Raumes bei Thieren und den Schlemm'schen Kanal beim Menschen. Beide erklärt er für gleichwerthig und unterscheidet sie von dem, wie er angibt, nach aussen davon gelegenen Plexus ciliaris, der nach ihm ein wirklicher Venenkranz ist und in offener Verbindung mit den soeben erwähnten Lymphräumen steht. (Die Bezeichnung Plexus ciliaris war früher vom Verf. für den sog. Schlemm'schen Kanal selbst, und für den bei Thieren ihm entsprechenden Venenplexus vorgeschlagen worden, Schwalbe glaubt aber beides unterscheiden zu müssen.)

Die Existenz von Klappen an der Grenze der Blut- und Lymphräume hält Schwalbe nicht für wahrscheinlich. Er konnte dieselben nicht nachweisen und glaubt auch, sie seien überflüssig, da das Einströmen von Blut in den Schlemm'schen Kanal und in die vordere Kammer durch den daselbst herrschenden höheren Druck vermieden werde.

Als Analogon dieses offenen Zusammenhanges zwischen

Lymph- und Bluträumen wird das von Böhm*) geschilderte Verhalten der Gefässe der Dura mater angeführt, welche einerseits mit dem Arachnoidealraum, andererseits mit venösen Gefässen in Verbindung stehen sollen. Ausserdem werden die Caudalsinus der Fische, die Lymphherzen der Reptilien und Amphibien etc. zum Vergleich herangezogen.

Der von Schwalbe beschriebene Versuch ist mir schon seit dem Jahre 1863 bekannt, wo ich in C. Ludwigs Laboratorium in Wien ausser den Blutgefässen auch die Lymphwege des Auges kennen zu lernen suchte. Ich fand, dass sich mit neutraler Carminlösung die episcleralen Venennetze von der vorderen Kammer aus sehr rasch und leicht injiciren lassen, dagegen gelang mir dies nicht oder nur ausnahmsweise und unvollständig mit dem nicht diffundirenden Berliner Blau. Nur wenige Male erhielt ich mit diesem Farbstoff eine Injection der Episclera, wobei das Berliner Blau, wie die Untersuchung lehrte, ebenso wie das Carmin in die Blutgefässe eingedrungen war, was ich aber durch Zerreissung von Gefässen in der Gegend des Circulus venosus erklären zu müssen glaubte. Ich kam daher zu der Ansicht, dass bei diesen Injectionen in die vordere Kammer eine reichliche Filtration von Flüssigkeit aus der vordern Kammer in die leeren venösen Gefässe des Scleralrandes stattfindet, die aber nur bei Anwendung des diffusionsfähigen Carmins zu einer sichtbaren rothen Injection der episcleralen Gefässe führen könne, während bei Anwendung von Berliner Blau, abgesehen von etwaigen Zerreissungen, der Farbstoff in der vordern Kammer zurückgehalten werde und die nur mit farbloser Flüssigkeit erfüllten Gefässe unsichtbar bleiben.

*) Böhm, Experimentelle Studien über die Dura mater des Menschen und der Säugethiere. Virch. Arch. XLVII.

Meine Abreise von Wien hielt mich damals von einer weiteren Fortsetzung dieser Versuche ab.

Da Schwalbe aus dem mir wohl bekannten Versuch ganz entgegengesetzte Schlüsse gezogen und daraus eine so wichtige Folgerung, wie einen unmittelbaren Zusammenhang von Blut- und Lymphräumen abgeleitet hat, so wurde ich natürlich veranlasst, meine früheren Versuche nochmals zu wiederholen und zuzusehen, ob in der Anordnung der Versuche die Verschiedenheit des Resultates begründet war.

Ein Zweifel schien mir um so mehr berechtigt, als bei Säugethieren sonst eine ähnliche offene Verbindung zwischen kleineren Blut- und Lymphräumen nicht vorkommt, mit Ausnahme der von Böhm beschriebenen Einrichtung an der Dura, deren Existenz aber vielleicht auch nicht ganz gegen alle Einwände gesichert ist.*) Bei einer so fundamentalen Frage müssen die Beobachtungen, wenn sie von den früheren Angaben abweichen, um so sicherer und unangreifbarer festgestellt werden.

Speciell für das Auge steht noch dazu die Annahme einer offenen Verbindung zwischen den Blutgefäßen und den mit seröser Flüssigkeit gefüllten Hohlräumen des Auges mit vielen pathologischen Beobachtungen in entschiedenem Widerspruch.

Die Höhe des Druckes innerhalb dieser Hohlräume ist zwar von der des Blutgefäßdruckes abhängig, dient aber zugleich wieder als Regulator für den letzteren, was bei offener Communication beider Räume nicht wohl

*) Erst nach Abfassung dieser Zeilen kommt mir durch die Güte des Verfassers die Arbeit von Michel zu: Zur näheren Kenntniss der Blut- und Lymphbahnen der Dura mater cerebialis. Ber. d. math-phys. Cl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. 1872. p. 331—343, in welcher der experimentelle Beweis geliefert wird, dass Böhm durch Gefässzerreissungen getäuscht wurde und dass Blut- und Lymphbahnen in der Dura völlig getrennt sind.

möglich wäre. Ferner würde eine Paracentese der Hornhaut immer zu sofortigem Uebertritt von Blut aus den Venen in die vordere Augenkammer führen, während dies erfahrungsmässig bei normalen Augen niemals und selbst bei pathologisch veränderten nur sehr selten geschieht. Es müsste also, um diesem Einwurf zu begegnen, eine Klappenvorrichtung angenommen werden, welche Schwalbe in Abrede stellt.

Aber selbst mit dieser Klappenvorrichtung würde man nicht verstehen, wie sich eine Steigerung des Augendruckes über die Norm auf ihrer Höhe erhalten könnte. Sollte man nicht erwarten, da die Klappen doch nur nach einer Richtung hin wirken können, dass eine Drucksteigerung in Folge von vermehrter Flüssigkeitsabscheidung in's Innere des Auges sofort wieder durch vermehrten Abfluss des Humor aqueus in die Venen zurückgehen müsste? Die Erfahrung zeigt aber, dass solche Drucksteigerungen unbegrenzt lange fortbestehen können.

Auf meine Veranlassung unternahm schon im Sommer 1870 Herr Dr. E. Riesenfeld gemeinschaftlich mit mir die Wiederholung dieser Versuche, deren weitere Fortführung damals durch den Ausbruch des Krieges unterbrochen wurde. Die Veröffentlichung der damals erhaltenen Resultate erfolgte daher auch erst ein Jahr später in der Dissertation von Dr. Riesenfeld*) und in einer kurzen Mittheilung von mir auf der Heidelberger ophthalmolog. Versammlung**). Die gewonnenen Resultate haben sich mir auch seitdem bei nochmaliger Wiederholung einzelner Versuche, soweit sie sich auf den speciell hier behandelten Gegenstand beziehen, immer wieder bestätigt.

*) E. Riesenfeld, Zur Frage über die Transfusionsfähigkeit der Cornea und die Resorption aus der vorderen Augenkammer. Inaug. Diss. Berlin 1871.

***) Zehenders klin. Monatsbl. f. Augenh. 1871. p. 365—367.

Versuche.

Die Versuche wurden an ausgeschnittenen vollkommen frischen Augen vom Hund, Schwein und der Katze angestellt, die dem soeben (vor $\frac{1}{2}$ —2 Stunden) getödteten Thier entnommen, oft noch warm zu den Versuchen benutzt wurden. Nur einige Male dienten zum Vergleich auch nicht mehr frische Augen derselben Thiere. Die Augen wurden mit der Bindehaut, die Hornhaut nach oben, an einem entsprechenden Ausschnitt eines hölzernen Tischchens befestigt und eine mit einem Hg-Druckapparat in Verbindung stehende Stichcanule durch die Hornhaut in die vordere Kammer, seltener in den Glaskörperraum eingeführt; zuweilen wurden auch die Augen in der Orbita gelassen, wo sich dies, wie bei Kaninchen, bequem ausführen liess. Die Canule war conisch gearbeitet und schloss vollkommen dicht. Für die meisten Versuche wurde eine gewöhnliche Ludwig'sche Injectionsflasche mit Hg-Druck benutzt, mit etwas weiterem Rohr, wenn der Druck längere Zeit unterhalten werden sollte. In anderen Fällen, wo es mehr auf die Beobachtung des Absinkens der Flüssigkeitssäule ankam, kam ein besonderer Manometer-Apparat zur Verwendung, dessen einer Schenkel oder beide capillare Weite hatten und daher das Absinken der Flüssigkeit sehr genau beobachten liessen.

Wurde nun auf die angegebene Weise Flüssigkeit, sei es farblose Nacllösung, etwa von dem Kochsalzgehalte des Humor aqueus (0,7—0,75%), oder gefärbte Flüssigkeit in die vordere Kammer unter Hg-Druck injicirt, so liessen sich sofort zwei Beobachtungen machen:

1. Die Höhe der Hg-Säule bleibt nicht einen Augenblick constant, das Hg sinkt vielmehr beständig, es muss daher die in die vordere Kammer

eingetriebene Flüssigkeit dieselbe auf irgend einem Wege wieder verlassen.

2. Die Hornhaut bleibt dabei fortwährend trocken, wenn sie vor seitlich herüberfließender Flüssigkeit geschützt wird, während sich die Bindehaut reichlich befeuchtet.

ad 1). Das Absinken der Hgsäule erfolgt (bei ausgeschnittenen Augen) schon bei niedrigem Druck ziemlich rasch, natürlich um so rascher, je höher der Druck; Schutz des Auges gegen Verdunstung verhindert das Sinken nicht. Da bei gleichem Druck *ceteris paribus* dieselbe Flüssigkeitsmenge hindurchtreten wird, so muss das Sinken auch um so rascher erfolgen, je enger der längere Schenkel des Manometers ist, d. h. je kleiner die Flüssigkeitsmenge ist, deren Eintritt ins Auge ein bestimmtes Sinken der Hgsäule zur Folge hat. Ist das Manometer calibriert, so kann die in einer bestimmten Zeit und bei bestimmtem Druck durch das Auge hindurchtretende Flüssigkeitsmenge gemessen werden. Wenn man durch continuirliches Nachfüllen von Hg den Druck constant auf einer mässigen Höhe erhält, so können in kurzer Zeit erhebliche Flüssigkeitsmengen durch das Auge hindurchgetrieben werden.

ad 2). Das Trockenbleiben der Hornhautoberfläche, auch wenn sie vor Verdunstung geschützt wird, bei diesem Versuch beweist jedenfalls, dass keine merklichen Mengen tropfbarer Flüssigkeit die Hornhaut durchdringen und dass wir vorläufig einen etwaigen geringen Flüssigkeitsdurchtritt durch dieselbe als unerheblich vernachlässigen können.

Es wird diese Frage weiter unten eine ausführliche Erörterung finden.

Dagegen deutet die starke Durchfeuchtung der Bndehaut und des subconjunctivalen Gewebes sofort auf

den Weg hin, den die Flüssigkeit nimmt: sie gelangt durch die Randzone der Sclera nach aussen.

Hat man farblose Flüssigkeit zu dem Versuch benutzt, so sieht man nicht viel ausser der Durchfeuchtung der Bindehaut, die bei stärkerem Druck so erheblich werden kann, dass etwas Flüssigkeit an dem abgeschnittenen Ende der Bindehaut abtropft; höchstens bemerkt man stellenweise einige mit klarer Flüssigkeit erfüllte Gefässchen, von denen es zweifelhaft ist, ob sie als Blut- oder Lymphgefässe anzusehen sind.

Ganz anders gestaltet sich das Bild bei Anwendung von Carminlösung und vollkommen in der von Schwalbe beschriebenen Weise.

Es füllen sich nach sehr kurzer Zeit die Netze der episcleralen und conjunctivalen Venen um den Hornhautrand herum und man erhält eine zierliche, oft bis in die Randschlingen der Hornhaut vordringende Injection derselben. Der Erfolg ist der gleiche, man mag bei geringem Druck, (von etwa 20—30 Mm.) oder bei hohem Druck von 150 Mm. und darüber injiciren. Nicht lange aber bleibt die Zeichnung der Gefässe deutlich und scharf begrenzt; schon nach wenigen Minuten werden die Gefässcontouren durch eine zwischen ihnen auftretende diffuse Röthe verwaschen und verlieren sich immer mehr. Offenbar dringt allinählig die Carminlösung durch die Gefässwände hindurch und durchtränkt das umliegende Gewebe der Sclera und Conjunctiva, ähnlich, wie dies nicht selten auch bei länger dauernden, direct in die Blutgefässe gemachten Carmininjectionen beobachtet wird. Zuweilen sieht man selbst die rothe Flüssigkeit aus dem abgeschnittenen Ende eines etwas grösseren Gefässchens ausfliessen.

Die Flüssigkeit befindet sich, wie dies schon von Schwalbe nachgewiesen worden ist, wirklich im Innern der Gefässe und nicht etwa innerhalb von Lymphscheiden,

welche die Gefäße einhüllen. Abgesehen davon, dass die Art und Weise der Begrenzung der Gefäße, das Fehlen der Ausbuchtungen und dgl. gar nicht den Eindruck von Lymphräumen macht, habe ich mich auch an Querschnitten gehärteter und getrockneter Präparate überzeugt, dass der Farbstoff sich im Gefäßlumen selbst befindet. Ich brauche also hier diesen Punkt, auf dessen Feststellung Schwalbe eine ganz besondere Sorgfalt verwendet hat, nicht ausführlicher zu behandeln.

Die Gefäßverzweigung entspricht genau dem Bilde, wie man es durch künstliche Injection auf gewöhnlichem Wege erhält, und das auch im wesentlichen der beim Menschen vorkommenden Anordnung entspricht: das episclerale Venennetz, die Randschlingen der Hornhaut, die vorderen Bindehautgefäße -- lassen sich auch hier mit Leichtigkeit unterscheiden.

Wir verwendeten nun alle mögliche Sorgfalt auf die Wiederholung derselben Versuche mit Injection von löslichem Berliner Blau, (das bekanntlich nicht diffusionsfähig ist), da Schwalbe seine Resultate hauptsächlich mit diesem Farbstoff erhalten hatte und die Entscheidung der Frage, ob offene Verbindungen zwischen vorderer Kammer und Blutgefäßsystem existiren, auf dem Ergebniss dieser Versuche beruht. Abgesehen davon, dass, wie schon bemerkt, die Augen vollkommen frisch, dem eben getödteten Thier entnommen waren, wurde auch die Versuchsmethode selbst mannichfach variirt. Es wurden die verschiedensten Druckhöhen, zwischen 10 und 270 Mm. Hg. angewandt und der Druck innerhalb dieser Grenzen bald von Anfang bis zu Ende constant erhalten, bald allmählig von einem niedrigen Werthe bis zu einer bedeutenden Höhe gesteigert, auch wurden die Versuche zuweilen sehr lange fortgesetzt (zwischen 1 und 18 Stunden), aber niemals erhielten wir mit Berliner Blau die oben beschriebene Injection.

Dazwischen vorgenommene Controlversuche mit Injection von Carminlösung an dem andern Auge desselben Thieres ergaben immer wieder die schönste Füllung der circumcornealen Gefässe.

Obgleich bei der in Frage stehenden offenen Communication zwischen vorderer Kammer und Blutgefässen einige Farbstoffkörnchen kein Hinderniss für die Injection abgeben können, haben wir es doch nicht unterlassen, die Flüssigkeit microscopisch zu untersuchen, wobei sich die vollständige Lösung des Farbstoffes und Abwesenheit von Farbstoffkörnchen herausstellte.

Wir fanden also meine früheren Versuche einfach bestätigt und wurden dadurch in der Ansicht bestärkt, dass der in Rede stehende Versuch seine Entstehung einer Verbindung von Filtration und Diffusion in die Venen des Hornhautrandes verdankt. Wässrige Flüssigkeit wird durch den Druckunterschied in die leeren Gefässe hineingepresst und fiesst nach aussen ab.

Denselben Weg nehmen Salze und alle gelösten diffusionsfähigen Stoffe, welche durch thierische Membranen hindurchgehen, also auch das Carmin, dagegen nicht das colloïde Berliner Blau, das von Salzlösungen gefällt wird und thierische Membranen nicht zu durchdringen vermag.

Da dies Ergebniss bei einer grösseren Zahl von Versuchen vollkommen constant war, kann ich auch die seltenen Fälle, wo ich bei meinen früheren Versuchen eine Injection mit Berliner Blau erhalten hatte, ungezwungen durch Zerreissung von Gefässen erklären, die ja bei der durch die Injection bedingten Auseinanderzerrung von Scleralrand und Irisinsertion leicht erfolgen kann. Selbstverständlich wird sich dies bei nicht mehr ganz frischen Augen leichter ereignen und auch die Augen mancher Thiere sind vielleicht durch Besonderheiten im Verlauf der Gefässe Zerreissungen der letzteren

mehr ausgesetzt. Wir haben daher auch gelegentlich frische Schweinsaugen erst nach 24 Stunden zum Versuch benutzt, aber mit demselben negativen Resultat. Auch im letzten Jahre habe ich die Versuche mit demselben Resultat wiederholt. Einmal erhielt ich bei zwei nicht mehr ganz frischen Hammelaugen eine ganz geringe Injection, nachdem bei einem Auge von demselben Thier Carminlösung das gewöhnliche Resultat geliefert hatte. Bei Steigerung des Druckes auf 90 Mm. Hg. traten an einer ganz umschriebenen Stelle einige feine subconjunctivale Gefässe hervor, die mit einer ganz schwach blau gefärbten Flüssigkeit gefüllt waren; bei Fortsetzung des Versuchs verlor sich aber die Erscheinung allmählig wieder und verschwand zuletzt fast ganz. Auch durch Einwirkung von \bar{A} wurde die Färbung nicht wieder hervorgerufen, das Berliner Blau konnte also nicht einfach entfärbt sein. Bei dem anderen Auge trat erst bei Steigerung des Druckes auf 180 Mm. Hg an einem einzigen kleinen subconjunctivalen Gefässchen eine blaue Färbung auf, die auch nachher sich nicht weiter verbreitete.

Bei dieser von den Angaben Schwalbe's vollkommen abweichenden Ergebnissen unserer Versuche war es wünschenswerth, unsere Annahme noch durch weitere Beweise zu stützen.

Es bot sich uns nun ein einfaches Experimentum crucis zur Bestätigung oder Widerlegung unserer Ansicht in der Injection einer Mischung beider Farbstoffe in die vordere Kammer. Sind offene Communicationen derselben mit den Venen vorhanden, so muss die Mischung unverändert nach aussen gelangen; falls überhaupt eine Injection zu Stande kommt, müssen sich also die Gefässe mit der Mischfarbe injicirt zeigen. Ist aber die vordere Kammer vom Blutgefässsystem getrennt, so wird bei der Diffusion nur das Carmin hin-

durchgehen, das Berliner Blau aber zurückgehalten werden. Der mehrmals wiederholte Versuch hat nun ganz das nach unserer Ansicht zu erwartende Ergebniss geliefert. Wir injicirten eine Mischung von etwa gleichen Theilen beider Lösungen, die eine violette Farbe mit einem Stich in's blaue hatte und in welcher microscopisch keine blauen, sondern nur wenige rothe Farbstoffkörnchen zu entdecken waren und erhielten constant eine rein rothe Injection der circumcornealen Gefässe, genau so als ob Carminlösung allein angewendet worden wäre, niemals waren die Gefässe blau oder auch nur violett injicirt. Da die äusserlich sichtbaren Gefässe vorher kein Blut zu enthalten schienen, so kann auch die geringe Blutmenge, welche vielleicht noch vorher in den Gefässen des inneren Auges enthalten war, die Farbe der Injection nicht merklich beeinflusst haben.

Obwohl wir zu den Versuchen völlig frische Augennetze haben zu wir doch nicht unterlassen, auch am lebenden Thier nochmals den Versuch zu wiederholen. Es konnte dadurch am sichersten dem Einwand begegnet werden, dass postmortale Veränderungen mit im Spiele gewesen seien. Die Versuche sind zu gleicher Zeit geeignet, über die Filtration aus der vorderen Kammer während des Lebens Aufschluss zu geben, wesshalb ich weiter unten nochmals auf dieselben zurückkommen muss.

Es wurde in zwei Versuchen, abgesehen von einer in einem derselben beobachteten geringen partiellen Injection von violetter Farbe, die mit grösster Wahrscheinlichkeit durch Zerreissung entstanden war, weder mit Berliner Blau noch mit Carmin eine Injection der pericornealen Gefässe erhalten. Dass bei dem ersteren Versuche Gefässe zerrissen waren, wurde durch einen nach dem Einführen der Canule in die vordere Kammer be-

merkten leichten Bluterguss in die letztere sicher bewiesen.

Es wurde unter einem Anfangs auf 115 Mm. Hg gesteigerten Druck die violette Mischung beider Farbstoffe injicirt. Nach einiger Zeit entstand an einer ganz umschriebenen Stelle nach vorn und oben vom Hornhautrand eine deutliche violette Injection einiger conjunctivalen und subconjunctivalen Gefässe, wobei man mit der Loupe selbst hier und da eine kleine Bewegung der Flüssigkeit in den Gefässchen bemerkte; der entsprechende Theil der Conjunctiva war etwas röthlich imbibirt, die ganze Scleralbindehaut ödematös, secernirte reichlich wässrige Flüssigkeit. Der ganze übrige Theil des Hornhautumfangs zeigte keine Spur von Injection. Am anderen Auge desselben Thieres, wo bei 87 Mm. Druck injicirt wurde, ohne Blutaustritt in die vordere Kammer, trat überhaupt keine Injection auf.

Dieses Ergebniss widerlegt allerdings die offene Verbindung der vorderen Kammer mit den Gefässen nicht unbedingt, da bei dem Fortbestehen der Circulation der übertretende Farbstoff gleich wieder fortgeschwemmt werden konnte, macht sie aber doch in hohem Grade unwahrscheinlich.

In welcher Weise die gegentheiligen Resultate Schwalbe's zu erklären sind, muss ich dahingestellt sein lassen. Doch will ich darauf hinweisen, dass sich bei den betreffenden Versuchen eine auffallende Inconstanz der Resultate bemerkbar machte. Am leichtesten gelang die Injection bei Schweinsaugen, auch noch ziemlich gut bei Augen vom Mensch und Pferd; beim Hund und Kaninchen war aber ein viel höherer Druck nothwendig und die Injection trat später ein; noch schwieriger gelang sie bei noch in der Orbita befindlichen Augen eben getödteter Hunde und Kaninchen (sicherste Controle, dass die Augen wirklich frisch waren). Bei Schweins-

augen gelang die Injection noch viel leichter, wenn sie nicht mehr ganz frisch waren, aber auch bei frischen Augen kamen unerklärliche individuelle Verschiedenheiten vor. Zuweilen trat die Injection erst bei sehr hohem Druck ganz plötzlich ein, wo Schwalbe selbst die Möglichkeit einer Gefässzerreissung zugiebt; in anderen Fällen wieder erfolgte bei plötzlich einwirkendem hohem Druck (über 200 Mm.) keine Injection etc. Dem gegenüber muss ich die fast vollkommene Constanz der Erscheinungen bei unseren Versuchen, über die genau Protokoll geführt wurde, hervorheben.

Die injicirten Augen wurden in schwach angesäuerten Alkohol oder in Müller'sche Flüssigkeit gelegt und nachträglich untersucht. Der Säurezusatz hatte den Zweck, etwa durch die alkalischen Augenflüssigkeiten entfärbtes Berliner Blau wieder herzustellen, es kam aber damit nirgends eine Färbung zum Vorschein, wo sie nicht schon während des Versuchs bemerkt worden war. Zugleich wurde dadurch die Carminlösung niedergeschlagen und an Ort und Stelle fixirt.

Bekanntlich verändert die Müller'sche Flüssigkeit die zur Injection benutzten Farbstoffe, wenigstens das Berliner Blau nicht, es konnte daher auch vorherige Härtung in Müller'scher Flüssigkeit zur Anfertigung besonders von meridionalen Schnitten benutzt werden.

Das Berliner Blau fand sich nun immer nur im Winkel der vorderen Kammer, zwischen Scleralrand und Irisansatz, theils in der vordern Kammer selbst, theils zwischen den auseinander gedrängten Fasern des Lig. pectinatum oder Fontana'schen Raumes.

Die Lücken des hier befindlichen Maschennetzes waren von Berliner Blau mehr oder minder ausgefüllt, und durch die dazwischen verlaufenden Bindegewebssäulen oft sehr scharf begrenzt; das Ganze hat aber ein von Gefässdurchschnitten sehr verschiedenes Aus-

sehen und überdies habe ich wiederholt die Gefäßdurchschnitte des Circulus venosus oder Plexus ciliaris daneben, entweder leer, oder ausnahmsweise selbst zum Theil mit Blut gefüllt gesehen. Sie liegen, wie bekannt, nach aussen von dem Ligamentum pectinatum. Niemals war der eigentliche Circulus venosus injicirt, noch weiterhin in der Sclera oder Bindehaut etwas von blauer Färbung zu sehen.

Ganz anders war das Bild nach Carmininjection: Die Wände der vorderen Kammer waren mehr oder minder diffus roth gefärbt, am stärksten aber immer der Winkel am Ansatz der Iris. Von hier aus erstreckte sich die Röthung durch die Sclera hindurch bis zur Oberfläche hin, und hier konnte man gewöhnlich erst einzelne gefüllte Gefäße unterscheiden. Auch wenn ich absichtlich die Injection sofort unterbrach, sobald sich die episcleralen Gefäße zu injiciren begannen und das Auge in angesäuertem Alkohol untersuchte, fand ich im Winkel der vordern Kammer immer nur eine ganz diffuse Färbung. Die Flüssigkeit scheint daher, ehe sie in die Gefäße gelangt, das Gewebe, welches sie von der vorderen Kammer trennt, einfach zu durchtränken, ohne sich an bestimmte Gewebslücken zu halten.

Ich halte es demnach für sicher gestellt, dass die vordere Augenkammer nicht in offener Verbindung mit den Blutgefäßen steht, dass aber aus ihr Flüssigkeit sehr leicht und schon bei geringem Druck in die venösen Gefäße am Scleralrande hinüberfiltrirt und durch diese nach aussen abfließt.

Diese Filtration erfolgt zunächst und hauptsächlich in die Gefäße des Circulus venosus oder Plexus ciliaris am Hornhautrand; von diesem gelangt die Flüssigkeit in die perforirenden Aeste der

vorderen Ciliarvenen und weiterhin in deren episclerale Verzweigungen.

In zweiter Linie kommt übrigens auch die Iris in Betracht, von welcher die aufgenommene Flüssigkeit in die Venae vorticosae abfließen muss. In der That haben wir auch wiederholt bei Carmininjectionen in die vordere Kammer nicht nur die vorderen Ciliarvenen gefüllt, sondern auch rothe Flüssigkeit aus den Venae vorticosae auslaufen sehen.

Ich muss daher auch die früher von mir gegebene Darstellung des Circulus venosus gegenüber den Einwänden Schwalbe's aufrecht erhalten. Schwalbe hält den Canalis Schlemmii beim Menschen nicht für einen Venenkranz, sondern für einen Lymphraum, der analog sein soll dem Fontana'schen Raume der Thiere; derselbe ist nach ihm zu trennen von dem venösen Plexus ciliaris, der nach aussen davon seine Lage haben soll. Dem gegenüber muss ich an meinen früher gemachten Angaben festhalten:

1. Der Canalis Schlemmii oder Circulus venosus beim Menschen ist ein venöser Gefässkranz von plexusartigem Character.
2. Es entspricht ihm bei Thieren ein ähnlicher venöser Kranz, an der Insertion des Ciliarmuskels, der ein noch ausgesprocheneres circulares Venennetz darstellt.
3. Vollkommen zu trennen sind davon das Lückensystem des Fontana'schen Raumes bei Thieren und des Lig. pectinatum beim Menschen welche sich von der vordern Kammer aus injiciren lassen.

III.

Ueber den Zusammenhang der vorderen
Kammer mit Lymphgefäßen.

Die Frage, ob die vordere Kammer etwa mit abführenden Lymphgefäßen in Verbindung stehe, scheint durch die vorhergehenden Versuche auch schon in negativem Sinne entschieden.

Dieselbe hatte mich gleichfalls schon vor Jahren beschäftigt und es war hauptsächlich das negative Resultat meiner damaligen Bemühungen, das mich von einer Mittheilung der Ergebnisse abhielt. Seitdem ist von Schwalbe dasselbe gefunden und veröffentlicht worden, nachdem er anfänglich einen Zusammenhang der vorderen Kammer mit Lymphgefäßen der Bindehaut beobachtet zu haben glaubte.*)

Auch das Lückensystem des Lig. pectinatum und des Fontana'schen Raumes, welches sich von der vorderen Kammer aus injiciren lässt, scheint in keiner Verbindung mit abführenden Lymphgefäßen zu stehen.

Man könnte nun den Einwand erheben, dass die abführenden Lymphgefäße bei den Versuchen deshalb nicht injicirt worden seien, weil die Flüssigkeit einen leichteren und bequemeren Abfluss in die Blutgefäße fand. Allein auch Unterbindung der in's Auge eintretenden und aus demselben austretenden Gefäße oder vorherige Injection der Blutgefäße lieferte kein anderes Resultat.

Es wurden, um den erst genannten Zweck zu erreichen, die Sehnen der geraden Augenmuskeln, in welchen die vorderen Ciliargefäße verlaufen, mit Faden umschnürt, die Venae vorticosae einzeln unterbunden, soweit sie

*) G. Schwalbe, über ein mit Endothel bekleidetes Höhlensystem zwischen Chorioidea und Sclerotica, Centralbl. f. d. med. Wiss., 1868, p. 851.

aufzufinden waren, was bei frischen Augen gewöhnlich nicht schwierig ist und ausserdem die Gefässe in der Umgebung des Sehnerveneintritts unterbunden oder mit dem Sehnerven in eine Massenligatur zusammengeschnürt.

Es gelang dadurch auch meistens, wenigstens bei mässigem Druck, die Geschwindigkeit des Flüssigkeitsdurchtrittes erheblich zu vermindern, niemals aber denselben völlig aufzuheben; bei starkem Druck war sogar zuweilen die vorherige Gefässunterbindung ohne jeden Effekt. Es kann dies nicht auffallen, da doch niemals sämtliche Gefässe unterbunden werden konnten, da die unterbundenen Gefässe sich wenigstens bis zur Ligatur anfüllen mussten und da hinter der Ligatur durch die zarten Gefässwandungen Flüssigkeit hindurchfiltriren konnte. Immerhin wurde bei mässigem Druck der Abfluss aus den Gefässen merklich erschwert.

Noch vollkommener wurde aber der in Rede stehende Zweck erreicht durch vorherige Injection der Blutgefässe des Auges mit einer erstarrenden Masse. Ich injicirte beim Kaninchen von der Aorta aus die Augengefässe mit Berliner Blau u. Leim und nachher die vordere Kammer mit Carminlösung. Die Injection der Gefässe erwies sich nachträglich besonders an einem Auge als sehr gelungen, und wenn auch stellenweise einige feinere Gefässverzweigungen ungefüllt geblieben waren, so waren doch gerade die Gefässe, auf welche es ankam, die vorderen Ciliarvenen und die Venae vorticosae, sehr gut injicirt.

Der Effekt zeigte sich auch daran, dass bei der Injection in die vordere Kammer nur ein sehr langsames Absinken der Hg-Säule am Manometer beobachtet wurde und die episcleralen Gefässe keine rothe Färbung annahmen. Bei dem anderen Auge desselben Thieres war die Gefäss-Injection etwas weniger vollkommen und es wur-

den daher nach länger dauernder Carmininjection in die vordere Kammer einige subconjunctivale u. conjunctivale Gefäße roth gefärbt. Auch hier war aber nirgends eine Spur von injicirten Lymphwegen zu finden. Schwalbe hat gleichfalls, doch in etwas anderer Weise, doppelte Injectionen angestellt, in der Absicht, um nachzuweisen, dass die von der vorderen Kammer aus injicirten Gefäße Blutgefäße sind. Seine Versuche waren aber nicht so eingerichtet, dass eine vorgängige Injection mit erstarrenden Massen, von den Blutgefäßen aus, das nachträgliche Eindringen der Flüssigkeit aus der vorderen Kammer in die Blutgefäße hindern musste.

Es ist daher bei unseren Versuchen der sonst noch mögliche Abflussweg verschlossen gewesen, und wenn trotzdem die Flüssigkeit nicht ihren Weg in abführende Lymphgefäße genommen hatte, so ist wohl die Vermuthung erlaubt, dass dieselben nicht vorhanden sind.

Man könnte höchstens noch daran denken, dass enge perivascularäre Lymphwege existirten, die durch die Injection der Blutgefäße zusammengedrückt und unwegsam gemacht worden seien. So lange diese aber nicht nachgewiesen sind, wird man auch keinen directen Zusammenhang der vorderen Kammer mit abführenden Lymphgefäßen annehmen können.

Es erhebt sich nun die Frage, ob man bei diesem Sachverhalt wirklich berechtigt ist, nach Schwalbe's Vorgang die vordere Kammer einfach als Lymphraum zu bezeichnen.

Wenn dieselbe gar nicht mit eigentlichen Lymphgefäßen in Verbindung steht, so lässt sich für diese Anschauung nur anführen, dass die vordere Kammer eine von endothelartigen Zellen ausgekleidete Lücke zwischen bindegewebigen Organtheilen ist, erfüllt von einer Flüssigkeit, deren Abscheidung, wie die der Lymphe, auf dem

Druckunterschied zwischen Inhalt und Umgebung der Gefäße beruht. Die Unterschiede der chemischen Zusammensetzung der Lymphe vom Humor aqueus sind zwar sehr bedeutend, namentlich ist der Humor aqueus viel stärker verdünnt und enthält nur eine sehr geringe Menge von Albuminaten. Es kann aber darauf, wie Schwalbe mit Recht bemerkt, so lange kein grosser Werth gelegt werden, als uns die Zusammensetzung der von einzelnen Organen gelieferten Lymphe nicht besser bekannt ist, besonders da auch der Wassergehalt der bisher analysirten Lymphsorten sehr verschieden gefunden wurde.

Der Auffassung der vorderen Kammer als Lymphraum kann daher die Berechtigung nicht ganz abgesprochen werden, wenngleich dieselbe kein Lymphraum im gewöhnlichen Sinne des Wortes ist. Der Unterschied von einem solchen ist besonders durch ihre gänzlich verschiedene Funktion bedingt. Dieser von einer klaren Flüssigkeit mit geringem Gehalt an festen Bestandtheilen erfüllte Raum hat ja nicht einfach die Bedeutung eines Reservoir's für die in ihm enthaltene Flüssigkeit, sondern ist wesentlich zu dem Zwecke da, die Brechung der Lichtstrahlen mit zu Stande zu bringen. In dieser Bestimmung der vorderen Kammer liegt auch die Erklärung, warum dieser besondere Lymphraum weder mit Lymph- noch Blutgefässen in offener Verbindung steht. Die zur gleichmässigen Lichtbrechung nothwendige Hornhautkrümmung kann nicht den zufälligen Schwankungen des Blut- oder Lymphgefässdrucks preisgegeben, sondern muss von diesen Schwankungen unabhängig gestellt sein, was eben nur bei einer ringsum geschlossenen Augenkammer möglich erscheint.

IV.

Ueber den Abfluss des Humor aqueus während des Lebens und über das Verhalten des Augen- druckes nach künstlicher Steigerung desselben durch Injection am Lebenden.

Wenn eine offene Verbindung der vorderen Kammer mit Blut- oder Lymphgefässen auszuschliessen ist, so fragt es sich, ob während des Lebens wirklich, wie gewöhnlich angenommen wird, das Kammerwasser fortwährend in reichlicherer Menge nach aussen abfliesst oder ob sich seine Reproduction auf die geringen Mengen beschränkt, welche durch Verdunstung an der Hornhautoberfläche verloren gehen. Die Versuche an todten Augen machen es allerdings wahrscheinlich, dass mehr Flüssigkeit nach aussen gelangt und zwar durch Filtration in die venösen Gefässe des Sclero cornealrandes und der Iris. Ein Schluss auf das Verhalten am Lebenden ist aber aus diesen Versuchen nicht ohne Weiteres gerechtfertigt, weil beim todten Auge die Gefässe leer sind, sich also leicht mit Flüssigkeit füllen, während beim Lebenden der Blutgehalt ein Hinderniss abgeben kann. Doch ging aus diesen Versuchen wenigstens so viel hervor, dass selbst durch eine bedeutende Drucksteigerung in der vordern Kammer jene Gefässe nicht so comprimirt werden, dass dadurch die Filtration gestört würde. (Zerreissungen der Gefässe sind durch die Controlversuche, wo Mischungen von Carmin- und Berlinerblaulösung injicirt wurden, auszuschliessen*).

Ebenso wenig als aus den Versuchen am todten Auge ist bekanntlich aus der nach Paracentese der Horn-

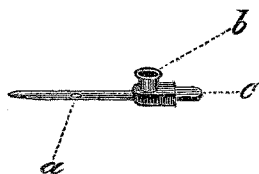
*) Anders scheint sich das Resultat nach Injection in dem Glaskörper zu verhalten, worüber eine Notiz am Ende dieses Abschnittes.

haut beobachteten Absonderungsgeschwindigkeit des Humor aqueus ein Schluss auf das physiologische Verhalten gestattet. Da hier die Absonderung unter einer viel grösseren Druckdifferenz zu Stande kommt und eine Ansammlung von Humor aqueus stattfindet, so wäre es vollkommen irrig, wenn man annehmen wollte, die Absonderung sei für gewöhnlich ebenso stark, und wenn man dem entsprechend auch die Menge der nach aussen tretenden Flüssigkeit ebenso hoch taxirte.

Eher konnte es gelingen, über diese Frage dadurch etwas zu ermitteln, dass man am lebenden Auge das Verhalten des Augendruckes nach Flüssigkeitsinjection in die vordere Kammer beobachtete.

Es wurde daher zu diesem Zwecke noch eine Anzahl von Versuchen in ähnlicher Weise angestellt wie früher zur Widerlegung des Zusammenhanges zwischen Blutgefässen und vorderer Kammer. Ehe ich aber zur Mittheilung der Resultate übergehe, muss ich noch Einiges über die Versuchsmethode nachtragen.

Ich bediente mich dabei, wie überhaupt zu Versuchen über intraocularen Druck, einer kleinen Stichcanule, (s. nebenstehende Fig. 1.) die ihre Oeffnung *a* in einiger Entfernung von der Spitze hat und nicht einfach in die Hornhaut eingestochen, sondern an einer gegenüberliegenden Stelle wieder ausgestochen wird, so dass die sehr leichte kleine Canule ohne weitere Befestigung durch das Auge selbst getragen wird und kleinen Bewegungen desselben ohne Zerrung folgt. Ihre Oeffnung liegt dann in der vorderen Kammer zwischen Punktions- und Contrapunktionsstelle. Die Verbindung mit dem Manometer wird hergestellt durch einen möglichst dünnen und elastischen Kautschukschlauch von geringer Länge, der auf ein kurzes silbernes Röhrchen-



stück b aufgebunden ist, welches im rechten Winkel am Ende der Stichcanüle ansitzt. Zur Einführung der Nadel in's Auge befindet sich an ihrem Ende noch ein kleiner Ansatz c, der mit einem Nadelhalter gefasst und nach der Einführung wieder losgelassen wird. Der kurze Kautschukschlauch steht zur grösseren Bequemlichkeit erst durch ein Bleirohr mit dem Manometer in Verbindung.

Das Hg-Manometer hat einen weiten und einen capillaren Schenkel, deren Dimensionen so gewählt sind, dass das Sinken der Hg-Säule in dem ersteren bei den vorkommenden Druckschwankungen gegenüber dem Steigen in dem capillaren Schenkel vernachlässigt werden kann. Der letztere darf auch nicht zu eng gewählt werden, damit das Hg, besonders wenn es zufällig etwas verunreinigt ist, nicht an der Wandung anklebt. Die Empfindlichkeit des Apparates hängt von der Enge der Röhre ab. Tritt im Auge eine Drucksteigerung ein, so wird, um dieselbe am Manometer anzuzeigen, Flüssigkeit aus dem Auge austreten müssen, wodurch natürlich die Drucksteigerung wieder verringert wird. Ebenso wird ein Absinken des Druckes im Auge sich nicht genügend entwickeln können, weil sogleich wieder durch das Sinken des Hg Flüssigkeit in's Auge eingetrieben wird, was der Abnahme des Druckes entgegen wirkt. Je enger nun das Lumen des Manometer's ist, um so kleiner ist dieser Fehler, um so empfindlicher das Manometer.

Ich habe mir daher zu den späteren Versuchen ein Manometer mit zwei capillaren Schenkeln anfertigen lassen, wodurch aus leicht begreiflichen Gründen die Empfindlichkeit verdoppelt wird. Sind die beiden Schenkel genau gleich weit, so genügt eine einzige Ablesung und nachherige Verdoppelung der Zahl zur Bestimmung des Druckes.

Ein solches Manometer ist zwar nicht so empfindlich als das Hering'sche Micromanometer, aber leichter zu handhaben, weniger Fehlern durch Temperaturschwankungen unterworfen und gestattet eine unmittelbare Ablesung des Druckes. Auch dürfte dasselbe für die meisten experimentellen Zwecke empfindlich genug sein. Man muss sich nur bei Einführung der Canule möglichst hüten, Kammerwasser abfließen zu lassen, was bei guter Beschaffenheit der Nadel leicht vermieden wird. Der reproducirte Humor aqueus ist reich an Fibrin, das sich auf der Nadel, als fremdem Körper, niederschlägt und leicht die Oeffnung der Canule verstopft. Gewöhnlich werden solche Augen bald unbrauchbar. Leichter Druck auf das Auge muss ein Steigen der Hg-Säule bewirken und bei Nachlass des Druckes das Hg wieder den früheren Stand annehmen.

Die Versuche wurden sämmtlich an Kaninchen, gewöhnlich so angestellt, dass vor Einführung der Stichcanule der Kautschuk dicht an letzterer vom Manometer abgeklemmt, dann die Canule in's Auge eingeführt und eine kleine Weile liegen gelassen wurde, bis die mit der Einführung verbundene Störung sich ausgeglichen haben konnte. Vorher wurde am Manometer ein Druck hergestellt, der ungefähr dem Augendruck des Kaninchens entspricht, 25—30 Mm. Hg., und hierauf die Communication hergestellt. Tritt dabei zufällig gar keine Veränderung am Manometerstande ein, so ist der Augendruck genau bestimmt; kleine Veränderungen des Standes von einigen Millimetern können sicher keinen grossen Fehler bedingen, besonders wenn man hinterher so lange wartet, bis die Druckhöhe constant geworden ist, wozu es gewöhnlich sehr bald kommt.

Nun kann der Druck am Manometer nach Abklommen der Verbindung beliebig gesteigert und nach Wiederherstellung der Communication das Verhalten des Auges gegen diese

Drucksteigerung am Manometer beobachtet werden. Die Drucksteigerung geschah in der Weise, dass durch ein mit verschliessbarem Hahn versehenes T-rohr mit einer Spritze Flüssigkeit in den Apparat, zwischen Auge und Hgsäule, eingetrieben wurde.

In andern Fällen wurde die Drucksteigerung ohne Abklemmen hervorgebracht, und die dazu nöthige Flüssigkeitsmenge an dem graduirten Stempel der Spritze abgelesen.

Bei diesen Versuchen ergab sich nun, dass auch am lebenden Auge künstlich erzeugte Drucksteigerungen sich wieder zurückbilden können; es tritt also auch hier Flüssigkeit in gewisser Menge wieder aus dem Auge aus.

Hat man nach Abschluss der Verbindung mit dem Manometer den Druck im letzteren gesteigert und stellt nun die Communication wieder her, so fällt der Druck unmittelbar beträchtlich herab, da nun erst eine gewisse Menge Flüssigkeit theils in das Auge, theils in das abgeklemmte Stückchen des Kautschukschlauches eingepresst wird und zur Ausdehnung derselben und zur Erhöhung des intraocularen Druckes dient. Für die Höhe des auf diese Weise gesteigerten Augendruckes kann man, wenigstens annähernd, den Stand der Hgsäule gleich nach Herstellung der Verbindung, nachdem dieselbe ihren plötzlichen Abfall gemacht hat, annehmen. Die elastische Nachwirkung, welche auch noch eine Weile später eine weitere Ausdehnung der Augenhäute und ein entsprechendes Sinken des Druckes bedingen könnte, kann bei den relativ geringen hier vorkommenden Druckschwankungen wohl vernachlässigt werden.

Dass keine Flüssigkeit an den Stichöffnungen ausfließt, kann man durch angehaltene Stückchen Fließpapier, besonders bei Anwendung gefärbter Flüssigkeit, sicher stellen.

Treibt man Flüssigkeit in den Apparat ein, ohne abzuklemmen, so fällt das rasche Absinken unmittelbar darauf weg, es ist natürlich viel mehr Flüssigkeit nöthig, um dieselbe unmittelbare Drucksteigerung hervorzubringen; der Manometerstand entspricht aber hier in jedem Augenblick dem intraocularen Drucke.

Es lässt sich daher auf diese Art die Höhe der Drucksteigerung genauer abmessen und überhaupt leichter ein höherer Druck hervorbringen.

Die Zahl der von mir angestellten Versuche reicht nicht aus, um den vorliegenden sehr verwickelten Gegenstand nach allen Richtungen hin zu beleuchten, und namentlich auch genaue numerische Angaben zu machen. Ich will mich daher auf folgende Angaben beschränken.

Das Sinken des Druckes, nachdem derselbe durch Eintreiben von Flüssigkeit auf eine Höhe von 40, 70—120 Mm. Hg. gebracht ist, erfolgt beim lebenden Thier im allgemeinen langsamer, als beim toden.

Das Sinken ist natürlich bei beiden um so rascher, je höher der Druck, und erfolgt daher auch anfangs mit grösserer, später mit immer mehr abnehmender Geschwindigkeit. Bei Drucksteigerungen auf 100—120 Mm. und darüber war in der ersten Viertelminute das Sinken so rasch, dass sich kaum ein bestimmter Stand angeben liess. Sehr bald aber, gewöhnlich schon nach einigen Minuten verlangsamte sich der Abfall sehr erheblich, und nach 15—20 Minuten war während einiger Minuten oft kaum eine Veränderung merklich. War der Druck anfangs nur wenig gesteigert, auf 40—50 Mm. Hg., so konnte nach 20 Minuten bis $\frac{1}{2}$ Stunde wieder der frühere, normale Druck hergestellt sein. Bei bedeutenderer Steigerung auf 80—100 Mm. und darüber blieb aber ein gewisser Theil derselben bestehen und der Druck kehrte überhaupt nicht zu seinem früheren Stande zurück.

Da die Versuche nicht unbestimmt lange fortgesetzt werden können, bleibt allerdings die Möglichkeit, dass nach längerer Zeit der Druck wieder normal geworden wäre. Die Versuche wurden gewöhnlich unterbrochen, wenn während 2—3 Minuten gar kein Abfall oder nur ein Sinken um $\frac{1}{2}$ bis höchstens 1 Mm. beobachtet wurde.

Bei einem Versuche war z. B. nach anfänglicher Drucksteigerung auf 115 Mm. Hg. 28 Minuten später der Druck auf $51\frac{1}{2}$ Mm. gesunken und sank nun kaum merklich weiter ab; in einem anderen Versuche mit einem anfänglichen Druck von 90 Mm. war nach 19 Minuten bei 38 Mm. Druck der Abfall ebenso verlangsam.

Ich habe zwar auch einen Versuch, bei welchem Drucksteigerungen bis 170 Mm. ziemlich rasch wieder völlig zurückgingen, glaube aber, dass der Apparat dabei nicht vollkommen schloss, da das Sinken bis 15 Mm. Hg Druck fortging, was weit unter dem normalen Augendruck des Kaninchens liegt. Da die Flüssigkeit ungefärbt war, konnte ein geringes Ausfließen an den Punktionsstellen oder am Apparat wohl übersehen werden.

Natürlich muss auch daran gedacht werden, dass möglicher Weise durch den Versuch selbst eine entzündliche Reizung hervorgerufen werden konnte, die eine Steigerung des Augendruckes zur Folge hatte. Es lässt sich dies auch bei den Versuchen, wo der Augendruck nur langsam abfiel, nicht mit Bestimmtheit ausschliessen, doch schien die durch den Versuch hervorgerufene Entzündung nicht erheblich zu sein.

Das das Manometer hinreichend empfindlich war, er gebe sich übrigens auch daraus, dass die Flüssigkeitsmenge, welche das Manometer allein zu einer bestimmten Erhebung der Hgsäule nöthig hatte, und die sich aus dem Durchmesser des Lumens und der Differenz der Mano-

meterstände leicht berechnen liess, immer unvergleichlich viel geringer war, als diejenige Menge Flüssigkeit, welche in den mit dem Auge in Verbindung stehenden Apparat eingetrieben werden musste, um dieselbe Steigerung zu erzeugen.

Leztere Menge konnte an dem graduirten Stempel der Spritze durch welche die Flüssigkeit in den Apparat eingetrieben wurde, abgelesen werden. Sie diente natürlich nicht allein dazu, die Hgsäule des Manometers in die Höhe zu treiben, sondern auch und hauptsächlich, das Volumen der Augenflüssigkeiten soweit zu vermehren, bis der Augendruck die am Manometer abzulesende Höhe erreicht hatte. Der erstere Theil der Flüssigkeit war nun immer so gering und verschwindend gegen den letzteren, dass die Versuchsmethode von dieser Seite keinen Einwand zulässt.

Die Versuche haben also gezeigt, dass bei mässiger Zunahme des Inhaltes der Augenkapsel durch vermehrten Abfluss rasch wieder eine Ausgleichung entstehen kann. Dasselbe hat auch schon Donders*) auf anderem Wege gefunden, indem er den Einfluss mechanischen Druckes auf die Circulation der Netzhaut untersuchte. Die schon von Coccius beobachtete starke Anschwellung der Venen (und in geringem Grade der Arterien) der Netzhaut, beim Nachlass eines eine Zeitlang auf das Auge ausgeübten Druckes, erklärt Donders durch Absorption der Flüssigkeiten des Auges in Folge des gesteigerten Druckes, wobei es mehr auf die Dauer als die Höhe des Druckes ankommt.

Adamük**) fand, dass nach einer mässigen Druck-

*) Arch. f. Ophth. I. 2 S. 101.

**) Neue Versuche über den Einfluss des Sympathicus und Trigemini auf Druck und Filtration im Auge. Sitz.-Ber. d. Wiener Ak. LIX. 2. Abth. Febr. 1869.

steigerung an dem von ihm benutzten Luftmanometer bei Wiederherstellung des früheren Druckes die Flüssigkeit wieder den alten Stand einnimmt, zum Beweis, dass nichts Erhebliches resorbirt worden ist. Bei sehr starkem Ueberdruck im Apparate giebt er an, dass auch etwas Flüssigkeit resorbirt werden könne. Jedenfalls aber fand bei Erhöhung des Druckes am Manometer nicht annähernd in demselben Masse Resorption von Flüssigkeit statt, als Filtration, wenn man den Druck um dieselbe Höhe herabsetzte. Adamük macht indessen keine genaueren Angaben über die Druckhöhen, bei welchen er experimentirte, und die resorbirten Flüssigkeitsmengen. Bei geringer Dauer eines die Norm nur mässig übersteigenden Druckes wird gewiss, wie Adamük angiebt, keine merkliche Aufsaugung stattfinden; damit stimmt auch überein, dass man am Manometer die Hgsäule wieder genau ihren früheren Stand einnehmen sieht, wenn man nur ganz vorübergehend, durch Fingerdruck, den Manometerstand gesteigert hat. Dagegen ist wohl eine Resorption anzunehmen, wie Donders angibt und meine Versuche bestätigen, wenn eine auch nur geringe Drucksteigerung längere Zeit anhält und besonders bei andauernder höhergradiger Drucksteigerung.

Dagegen dürfte im letzteren Falle die Resorption keine unbegrenzte sein und wenigstens unter gewissen Umständen bei grösseren Flüssigkeitsmengen eine dauernde Druckerhöhung sich erhalten.

Es wäre von Interesse, die Grenzen der Resorptionsfähigkeit des Auges für Flüssigkeit genauer zu untersuchen, besonders mit Rücksicht auf das Glaucom; es würde dabei auch die Frage zu behandeln sein, ob Drucksteigerungen im hinteren Bulbusraum langsamer zurückgehen und was eventuell die Ursache davon ist.

Für unsere Zwecke können wir aus den soeben be

handelten Versuchen soviel entnehmen, dass eine Filtration aus der vorderen Kammer bei gesteigertem Druck bis zu einem gewissen Grade jedenfalls stattfindet, dass also auch wahrscheinlich bei gewöhnlichem Druck dasselbe geschieht. Nur wird in ersterem Falle der Verlust den Ersatz überwiegen, im zweiten werden sich beide das Gleichgewicht halten, daher der Verlust nicht direct nachweisbar sein. Ueber die Stärke dieser Flüssigkeitsbewegung erhalten wir aber aus meinen Versuchen keinen Aufschluss und es dürfte die genauere, quantitative Bestimmung derselben überhaupt erhebliche Schwierigkeiten bieten.

Gibt man das Vorkommen einer Filtration aus der vorderen Kammer nach aussen beim Lebenden zu, so bleibt nach den am todtten Auge erhaltenen Resultaten keine andere Möglichkeit, als jene gleichfalls der Filtration durch die Gefässe der Sclerocornealgrenze (und der Iris) zuzuweisen.

Es muss dann natürlich die Filtration beim Lebenden, wo die Gefässe mit Blut gefüllt sind, langsamer von Statten gehen, als beim Todten, was der Versuch auch bestätigt.

Ferner steht damit in Einklang, dass die Filtration beim Lebenden nicht unbegrenzt ist, sondern nur eine bestimmte Flüssigkeitsmenge nach aussen treten lässt.

Man muss nach dieser Voraussetzung ferner erwarten, dass die Filtration gänzlich aufgehoben oder doch wenigstens sehr erheblich beschränkt werde, wenn man den Weg durch die Blutgefässe gänzlich ausschliesst, was sich natürlich nur am Todten durch Injection der Blutgefässe mit erstarrenden Massen ausführen lässt. Schon oben wurden derartige Versuche mitgetheilt und dabei auch das äusserst langsame Sinken der Hg-Säule bei Injection in die vordere Kammer erwähnt. Zum

Vergleich können die folgenden 3 übersichtlich zusammengestellten Versuche dienen, in welchen die Geschwindigkeit des Abfalls derselben Drucksteigerung beim todtten Kaninchen ohne und mit Injection der Blutgefäße und beim lebenden zu ersehen ist.

Zeit	1. W. Kaninchen, Augengefäße injicirt, Canule in der vorderen Kammer.	2. W. Kaninchen, lebend, Canule in der vorderen Kammer.	3. W. Kaninchen, dasselbe wie bei 2, getödtet, Auge in situ (Blutgefäße nicht injicirt.) Can. in d. v. K.
	Druck vor Beginn des Versuchs.		
0	35 Mm. Hg. (durch eine vorhergehende Injection in die vordere Kammer)	28 Mm. Hg. (natürlicher Druck)	30 Mm. Hg. (durch vorhergehende Injection)
unmittelbar nachher	Abklemmen, Drucksteigerung am Manometer auf		
	104	100	100
	Druck sinkt sofort auf		
	72	90 (darauf noch ziemlich rasch weiter)	72
1 Min.		82	
2 —		78	68
3 —		74	
4 —	70		
5 —			62
6 —	69	68	
7 —		64	56
8½ —			53
9 —			
10 —	64		
11 —		55	
13 —		48	
15 —	60		
18 —		44	
19 —		38	
21 —	57		
34 —	51		

Der Durchmesser des Lumens der Steigröhre am Manometer betrug 0,5 Mm., ein Mm. Länge des Rohrs enthielt daher 0,196 Cub. Mm.

Flüssigkeit.

Es ist dabei noch zu bemerken, dass der Versuch 3) nach $8\frac{1}{2}$ Minuten unterbrochen wurde; der Druck würde aber nach andern Versuchen zu schliessen in der nächsten Zeit noch mit wenig verminderter Geschwindigkeit weiter gefallen und nach Stunden ein von Null nur wenig verschiedener Druck erreicht worden sein.

Wenn man ein Manometer von nicht capillarem Lumen benutzt, so hält sich nach Injection der Gefässe der Druck in der vorderen Kammer fast constant. So war in einem Versuche mit einem c. 8 Mm. weiten Manometerrohr der Druck in 16 Stunden von 70 Mm. nur bis $57\frac{1}{2}$ Mm. gefallen, also nur c. 314 Cub.-Mm. durch das Auge hindurch gegangen.

(Die Injectionen der Gefässe waren mit der Spritze gemacht, dauerten also nicht so lange, dass farblose Leimlösung durch die Gefässwandungen in die Umgebung durchfiltriren konnte, wodurch natürlich ein Fehler entstehen müsste. Auch wurde bei Untersuchung der injicirten Augen nichts dergleichen beobachtet.)

Durch Unterbindung der Gefässe erreicht man gewöhnlich nur bei niedrigem Druck eine Verlangsamung der Filtration, doch schien mir zuweilen schon ein Unterschied hervorzutreten, ob man beim Todten das Auge enucleirte oder ob man es in der Orbita liess; im letzteren Falle war der Abfall langsamer, was sich durch die Erhaltung der aus dem Auge abführenden Gefässe leicht erklärt.

Je besser es also gelingt, die Blutgefässe auszuschliessen, um so mehr wird die Filtration verringert; man wird nicht wohl erwarten können, das Sinken der Hgsäule gänzlich hintanzuhalten, da doch immer einige Gefässe ungefüllt bleiben können, da zwischen Gefässwand und Leimpfropf etwas Flüssigkeit durchsickern kann und auch hintere Lymphbahnen des Auges,

die Emissarien der Nerven etc. etwas Flüssigkeit hindurchlassen könnten.

Die anatomische Untersuchung der Augen, wo beim lebenden Thier gefärbte Flüssigkeiten in die vordere Kammer injicirt waren, gab kein wesentlich anderes Resultat als die gleichen Versuche beim todten.

Lösungen von Berliner Blau drangen zwischen die Maschen des Ligamentum pectinatum ein, ohne sich weiter zu verbreiten. Carminlösungen gaben eine diffuse Färbung der Iris und insbesondere der Gegend des Ligamentum pectinatum. Löst man an einem so injicirten Kaninchenauge den Ansatz des Ciliarmuskels los, so zeigt sich am Uvealtractus das Ligamentum pectinatum und am Scleralrand die Gegend des Circulus venosus als zwei auf einander passende rothe Ringe von ziemlich intensiver, aber völlig diffuser Färbung. An der Sclerocornealgrenze zieht sich die Färbung mit abnehmender Stärke durch die Dicke des Scleralrandes hindurch bis nahe an die Oberfläche hin. Hinter der Insertion des Ciliarmuskels ist weder an der Sclera noch am Ciliarkörper eine Spur von Färbung zu sehen. Die Färbung der Iris war fast durchgehends sehr schwach und nur gegen ihre Insertion hin etwas stärker; man konnte hier erkennen, dass die Ciliarfortsätze an ihrer hinteren Fläche gar nicht, oder nur sehr wenig an der Färbung theilnahmen. In der vorderen Kammer ein roth gefärbtes Gerinsel. Die Hornhaut selbst nicht merklich gefärbt.

Die Lösung muss aber ziemlich concentrirt sein und die Injection eine Zeit lang fortgesetzt werden, damit eine deutliche Färbung entsteht, was mit den sonstigen Erfahrungen stimmt, nach welchen bindegewebige Theile während des Lebens Farbstoffe nur langsam aufnehmen und damit nur eine relativ schwache diffuse Färbung erhalten.

Indessen kann man doch den Schluss ziehen, dass an den Stellen, wo die Färbung am intensivsten ist, die Flüssigkeit am leichtesten eindringt und weitergeführt wird, so dass das Gewebe durch die Berührung mit immer neuer Flüssigkeit sich stärker imprägnirt.

Das Ligamentum pectinatum scheint also auch im Leben vorzugsweise zum Abfluss des Humor aqueus bestimmt zu sein und von hier aus die Flüssigkeit durch Filtration in die Venen des Circulus venosus weitergeführt zu werden.

Ausserdem dürfte aber auch die vordere Fläche der Iris demselben Zwecke dienen. Dieselbe ist, wie ich an injicirten Kaninchenaugen gefunden habe, von einem feinen Capillarnetz überdeckt, dem man diese Function zuschreiben könnte.

Im Gegensatz zu der vorderen Kammer scheint der Glaskörperraum weit abgeschlossener zu sein und nur weniger leicht Flüssigkeit nach aussen treten zu lassen. Es sprechen dafür Versuche, wo selbst bei erheblicher Drucksteigerung im Glaskörperraum nur ein sehr langsames Absinken erfolgte. Dies ist um so mehr zu beachten, als doch die Drucksteigerung sich zum Theil wenigstens auf die vordere Kammer überträgt und durch den Abfluss aus dieser auch die Drucksteigerung in ersterem herabgesetzt werden muss. Indessen will ich diese Frage hier nur gelegentlich berühren, da ich sie nicht zum Gegenstand directer Untersuchung gemacht habe.

V.

Ueber die Filtrationsfähigkeit der Hornhaut
und über eine Bedingung ihrer Durch-
sichtigkeit.

Bei den oben angeführten Versuchen wurde die den gewöhnlichen Annahmen widersprechende Beobachtung gemacht, dass bei Injection in die vordere Kammer selbst unter bedeutend gesteigertem Druck keine Flüssigkeit durch die Hornhaut hindurchdringt, dass vielmehr die Hornhautoberfläche dabei matt und trocken wird, wenn sie nicht vor Verdunstung geschützt wird.

Im Gegensatz zu dieser Erfahrung waren bekanntlich die älteren Anatomen und Augenärzte fast durchgehends der Ansicht, dass der Humor aqueus die Hornhaut durchdringe und aus zahlreichen feinsten Poren an ihrer Aussenfläche zum Vorschein komme. Ich habe es für der Mühe werth gehalten, dem Ursprung dieser Ansicht etwas genauer nachzugehen und die Ergebnisse in Folgendem kurz zusammenzustellen.

Die ältesten Angaben über diesen Gegenstand stammen aus einer Zeit, wo die Ansichten über Secretion und Absorption noch nicht auf die Kenntniss von der vollkommenen Geschlossenheit der capillaren Blutgefäßbahnen basirt waren.

Als der erste, welcher die vermeintlichen Poren der Hornhaut anführte, wird Nic. Steno citirt (1664*); die betreffende Notiz ist aber sehr kurz und unbestimmt gehalten. Bei Gelegenheit der Thränenabsonderung bemerkt Steno, dass er zuweilen in der Hornhaut Poren wahrgenommen habe, durch welche Flüssigkeit austrat, wagt aber nicht zu entscheiden, ob diese Flüssigkeit aus der vorderen Kammer oder aus der Hornhautsubstanz selbst herstammte.

*) Nic. Steno, de muscul. et gland. observ. specimen. Hafn. 1664, p. 44.

Die ungenauen Beobachtungen von Nuck*), welcher die langen Ciliararterien für besondere, zur Herbeiführung des Humor aqueus bestimmte Kanäle hielt, aber bald von Chrovet**) und von v. Haller***) widerlegt wurde, kann ich hier füglich übergehen. Ebenso auch die Irrthümer von Hovius†), der den Humor aqueus durch feinste Mündungen der letzten Arterienzweige ausgeschieden und durch eben solche Oeffnungen der feinsten Venen wieder aufgenommen werden liess.

Hovius bekämpft übrigens lebhaft die Existenz von Poren der Hornhaut, da er sie bei seinen Blutgefäßinjectionen nicht auffinden konnte, während Nuck sie für den Abfluss des Kammerwassers in Ermangelung eines anderen Abflussweges in Anspruch genommen hatte.

Die erste genauere Beschreibung des Versuchs, durch Druck auf das Auge Tröpfchen aus der Hornhaut hervorzupressen, finde ich bei Leeuwenhoek.††) Sie stammt schon aus dem Jahre 1684, scheint aber erst viel später und nicht einmal allgemein bekannt geworden zu sein, da 1721 (ein Jahr vor dem Erscheinen der gesammten Abhandlungen von Leeuwenhoek) Winslow dasselbe Experiment als von ihm selbst herrührend beschreibt und auch später meistens als Urheber allein genannt wird.

*) Die erste Mittheilung stammt aus dem Jahre 1685, die mir zugängliche 2. Ausgabe erschien erst 1723: Ant. Nuck, Sialographia et duct. aquos. Anat. nov., prior. auct. et emend. Acc. Defensio duct. aquosor. 8. Lugd. Bat. 1723.

**) W. Chrovet, dissert. med.-phys. de trium ocul. humor. aliarumque ejus partium origine, natura et formatione mechan. explicat. Edit. II., cui acced. Solut. apolet. ad objectiones et diffic. clar. prof. Nuck. Leodii 1691.

***) A. v. Haller Histor. arter. oc. 1754. p. 45.

†) Hovius, de circulari humor. motu in oculis. Traject. ad Rhen. 1702.

††) Ant. a Leeuwenhoek Epist. de formatione humoris crystalini , de liquore in et per tunicam corneam, etc. ad nob. Dom. F. Aston. Delph. Bat. 1684 p. 76, in Arcan. natur. detect. Lugd. Bat. 1722.

Leeuwenhoek giebt an, dass er an gebrühten Schweinsaugen ein trübes Häutchen (offenbar das Epithel) von der Hornhaut-Oberfläche abziehen konnte, und dass er nun bei Compression des Bulbus feinste Tröpfchen an der Oberfläche der Cornea hervorkommen sah, die bei Fortsetzung des Druckes grösser wurden und zusammenflossen.

Winslow*) erzählt, dass er sich lange Zeit vergeblich bemüht habe, die Hornhautporen, von welchen Steno spricht, wiederzufinden. Endlich sei es ihm gelungen, als er zufällig ein ausgeschnittenes menschliches Auge drückte; er sah dabei einen Thau feinsten Tröpfchen an der Hornhautoberfläche zum Vorschein kommen, der sich, abgewischt, immer wieder erneuerte. Er bemerkt noch vorher, dass er die Hornhaut bei Todten von einer trüben, schleimigen Schicht bedeckt gefunden habe, die sich leicht entfernen liess und hält dieselbe für die eingedickte, aus der vorderen Kammer durchgeschwitzte Lymphe. Offenbar hatte auch er nur das cadaverös veränderte Hornhautepithel vor sich.

Zinn**) fügte später noch die Beobachtung hinzu, dass man auch an der inneren Fläche der (ausgeschnittenen) Hornhaut Tröpfchen durch Druck hervorpressen könne.

Er citirt auch Beobachtungen von Petit, nach welchen die ausgepresste Hornhaut in Wasser gelegt, wieder Flüssigkeit aufnimmt und aufquillt, was gleichfalls als Beweis für die Porosität der Cornea angesehen wurde. In dem Buch von Zinn, sowie in Haller's *Elementa physiologiae****) sind die Ansichten der damaligen Zeit ausführlich wiedergegeben, nach welchen der Humor aqueus in reichlicher Menge von den Ciliarfortsätzen abgesondert und theils durch die Venen

*) Winslow, *Observ. sur la mécanique des muscl. obliques de Poel, sur l'iris et sur la porosité de la cornée transparente. Mém. de l'Acad. des Sc.* 1721 p. 311—322.

**) Zinn, *Descr. anat. oc. hum.* Goett. 1755. alt. vic. ed a Wrisberg 1780 p. 18.

***) A. v. Haller, *Element. physiol.* 1757 T. V. lib. XVI. p. 361, p. 412.

(wohl der Iris) wieder aufgesaugt wird, theils durch die Poren der Hornhaut nach aussen durchschwitzt.

Handelte es sich bei den früheren Beobachtern immer nur um todt und meistens schon cadaverös veränderte Augen, so giebt zuerst Jean Janin*) an, dass der Tröpfchenversuch auch am lebenden Thiere gelingen solle. Er beschreibt zuerst, wie er mit Hilfe von Lidhaltern und aufgelegter Charpie die Bindehaut der Lider oder der Sclera vor überfliessenden Thränen schützte und nun auf der Oberfläche der letzteren feine Tröpfchen hervorkommen sah, die sich immer wieder erneuerten, nachdem er sie abgewischt hatte. Ganz dasselbe giebt er nun auch von der Hornhaut an mit einer solchen Genauigkeit, dass man unwillkürlich geneigt ist, die Beobachtung für richtig zu halten. Liest man aber weiterhin, dass Janin sogar Epiphora durch pathologische Erweiterung der Hornhautporen zu Stande kommen, dass er die Thränenpunkte auf mechanische Reizung sich zusammenziehen lässt etc., so kann man nicht umhin anzunehmen, dass er von vorgefassten Meinungen eingenommen war, soviel Werth er auch auf die directe Beobachtung zu legen scheint. Der Versuch mit der Hornhaut giebt am lebenden Auge, wie weiter unten genauer angegeben wird, ein vollkommen negatives Resultat.

Dasselbe hat schon 1843 Martini**) gefunden, dessen Schrift mir leider im Original nicht zugänglich ist, wesshalb ich nach den Auszügen bei Coccius (Ernährungsweise der Hornhaut etc.) citiren muss. Derselbe giebt an, dass die Hornhaut eines lebenden Thieres sich zwar, wenn man sie abgetrocknet hat, bald wieder befeuchte, aber nicht in einzelnen Tröpfchen, sondern mehr gleichmässig. Hat man dagegen beim lebenden Thiere die Epidermis der Hornhaut eine Strecke weit mit dem Messer abgekratzt, so bleibt

*) J. Janin, Mém. et observ. anat., physiol., et physiq. sur l'oeil et sur les malad. qui affect. cet org. Lyon et Paris 8. 1772. Deutsch 2. Aufl. Berlin 1788 p. 63—64 und 64—67.

**) Martini, von dem Einfluss der Secretionskrankheiten auf den menschlichen Körper. Bellevue b. Constanz 1843 II. Theil S. 14 ff.

diese Stelle trocken, auch wenn die Umgebung schon lange mit Thränen getränkt ist. Aetzt man eine solche Stelle mit Bleiessig oder Höllenstein, so bleibt sie lange trocken und wird nicht von unten durchfeuchtet. Drückt man ein dem eben getödteten Thier entnommenes Auge zwischen den Fingern, so wird man eher den Augapfel zersprengen, als Wasserpunkte aus der Hornhaut pressen.

Martini schliesst hieraus, dass die Hornhaut während des Lebens keine Flüssigkeit hindurchlässt, dass aber das Hornhautepithel von der Seite her sich mit der Bindehautflüssigkeit durchtränkt. Erst einige Zeit nach dem Tode, im Sommer oft schon nach 2 Stunden, wird die Hornhaut für das Kammerwasser durchgängig.

H. Lehmann*), der die Ernährung der Hornhaut durch das Kammerwasser vertheidigt, wird von Coecius gleichfalls als Autor citirt, der den Tröpfchenversuch beim Lebenden bestätigte. Die betreffende Stelle seiner Dissertation**) hat mir aber Zweifel gelassen, ob Lehmann diesen Versuch beim Lebenden wirklich angestellt hat. Im Uebrigen bringt er Nichts als die Angabe, dass die ausgeschnittene Hornhaut, auf Löschpapier gelegt, dasselbe befeuchtet, und dass auf ihre concave Fläche getropfte Cr O₃ Lösung sie nach einiger Zeit durchdringt und auf dem Löschpapier einen gelben Fleck hervorruft.

*) H. Lehmann, de rationib. physiol. et path. humor. aq. oc. hum. Comment. Havn. 1846.

**) l. cit. p. 45—46 heisst es: „Quod si quis agnoscere nolit eum admonitum velim de observatione quae usque ab aetate Stenonis saepe est facta, humorem aqueum nasci in cornea animalis vivi conspici posse. Quod si oculum v. c. cuniculi ita fixeris, ut bulbus moveri nequeat, cornea tenui linteo vel charta bibula bene abtersa, minusculas quasdam guttas tenues in convexa ejus superficie nasci, quae paulatim confluant totamque corneam irrigent, mox videris. Hoc, ut dixi, saepius est observatum, et effecit, ut veteres anatomici singulares quosdam canales in cornea inesse statuerint etc.“ Die von mir gesperrt gedruckte Stelle spricht sehr dafür, dass sich Lehmann bei diesem Versuch nur auf frühere Angaben bezieht und nicht aus eigener Erfahrung spricht.

Bowman*) erwähnt den Tröpfchenversuch bei Besprechung der die Hornhaut durchtränkenden Flüssigkeit. Er ist der Ansicht dass die Hornhaut keine merkliche Menge freier Flüssigkeit in ihrem Lückensystem enthalte. Schnitte in die Hornhautsubstanz bringen keine Spur freier Flüssigkeit zu Tage und der Tröpfchenversuch beweist mehr die Porosität der Hornhaut, als die Existenz freier Flüssigkeit zwischen ihren Gewebselementen. Ueberdies kommen beim vollkommen frischen (ausgeschnittenen) Auge keine Tröpfchen an der Hornhautoberfläche zum Vorschein, wenn man nicht längere Zeit mit dem Drucke fortfährt. Es tritt dabei allmählig der Humor aqueus nach aussen. Ersetzt man ihn durch Luft, so entstehen keine Tröpfchen mehr.

Coccius,**) welcher die Versuche Martini's wiederholte, konnte dieselben nur zum Theil bestätigen. Seine Angaben widersprechen sich indessen gerade in dem wichtigsten Punkt, so dass man nicht recht weiss, was man daraus entnehmen soll. Ueber das Experiment bei ausgeschnittenen Augen sagt er wörtlich: „wenn man aber auch ein Feuchtwerden solcher Flecke (der von Martini mit Bleiessig geätzten Epitheldefecte) von hinten nicht bemerkt, so fällt dies damit zusammen, dass man an dem noch warmen Auge eines getödteten Thieres an der Stelle, wo man das Epithelium völlig abgeschabt hat, selbst beim stärksten Druck auch keine Flüssigkeit bemerkt. Dennoch lässt sich nachweisen, dass wirklich Flüssigkeit aus dem Hornhautparenchyme dringt. Betupft man nämlich . . . die Stelle mit Seidenpapier, so bemerkt man deutlich . . . eine stärkere Befeuchtung desselben, wenn der Augapfel stark gedrückt worden ist.“ Auf der folgenden Seite (34) heisst es dagegen:

*) Bowman, Lectures on the parts concerned in the operations on the eye. London 1849. p. 12.

***) Coccius, über die Ernährungsweise der Hornhaut und die serumführenden Gefässe im menschlichen Körper. Leipzig 1852. S. 33 und 34.

„ich muss gegen Martini noch das hinzufügen, dass man an den Augen eben getödteter Kaninchen nach abgeschabtem Epithel sogleich zahlreiche Tropfen auf der Hornhautoberfläche durch Druck sichtbar machen kann.“

Beim lebenden Thier gibt Coccius zu, dass in sehr vielen Fällen die Peripherie der Hornhaut eher von der Bindehautflüssigkeit überschwemmt wird, als man Tröpfchen auf der Hornhaut bemerkt; es gelingt aber auch das Gegentheil zu beobachten. Hat man das Epithel abgeschabt, so bemerkt man wieder keine Tropfen, kann sich aber durch das Löschpapier von ausgetretener Flüssigkeit überzeugen.

His*) bemerkt, man habe mit Unrecht bezweifelt, dass Humor aqueus durch die Cornea hindurchzutreten vermöge. „Bindet man versuchsweise eine frische Hornhaut auf eine U-förmig gebogene Röhre, in die man Humor aqueus einfüllt und belastet man diese mit einer Hg-Säule von 2—3 Decimeter, so sieht man, wie also bald nach Anbringung des Druckes der Humor aqueus in ziemlich grossen Tropfen aus der Membran hervorquillt und doch ist dies gewiss noch nicht die Druckgrösse, die während des Lebens auf der Cornea lastet, denn statt dass diese nach dem Versuch ausgedehnt und verdünnt wäre, erscheint sie vielmehr verdickt und aufgequollen. Versuche mit höheren Hg-Säulen mögen wohl noch exquisitere Resultate geben, und ich zweifle nicht, dass man dadurch noch erheblichere Flüssigkeitsmengen durch die Hornhaut durchzutreiben vermöge. Sie sind mir indessen nicht gelungen wegen der Schwierigkeit, eine so kleine und dicke Membran, wie die Hornhaut, so fest auf eine Röhre aufzubinden, dass sie einem stärkeren Drucke Widerstand zu leisten vermag. Der Humor aqueus, der sich im täglichen Leben nach aussen entleert, wird wohl wenig beachtet, weil er, mit der Thränenflüssigkeit sich mischend, durch den Lidschlag entfernt wird und es

*) His, Beitr. z. norm. u. patholog. Histologie der Cornea. Basel 1856. S. 23 u. 24.

möchte schwer sein, auch nur annähernd seine Menge zu bestimmen etc.“

Nachdem die von Riesenfeld und mir erhaltenen Resultate schon vorläufig bekannt gemacht waren*), erschien eine kurze Mittheilung von Laqueur, die zum Theil denselben Gegenstand behandelt.**)

Derselbe fand, dass an ausgeschnittenen frischen Augen die mit Fliesspapier abgetrocknete Hornhaut absolut trocken bleibt, sowohl bei gewöhnlichem als auch bei stark erhöhtem intraocularem Drucke, was mit unseren früheren Angaben übereinstimmt. Entfernt man das vordere Epithel an einer Stelle, so wird dieselbe schnell feucht, wie oft man auch versuchen möge, sie zu trocknen. Dasselbe geschieht auch an der ausgeschnittenen Hornhaut; die Flüssigkeit muss daher zum Theil aus dem Gewebe der letzteren stammen.

Bei Drucksteigerung durch Wasserinjection in den Glaskörperraum bedeckt sich bei frischen Augen die epithelentblösste Stelle der Hornhaut nicht mit Tröpfchen. Dagegen geschieht dies reichlich, wenn das Auge 24 Stunden in Wasser gelegen hat, wodurch die Hornhaut stark aufquillt und das Epithel sich fetzenweise ablöst. An den Stellen, wo das Epithel sitzen geblieben ist, ist die Hornhaut nicht gequollen und die Oberfläche bedeckt sich bei nachträglicher Entfernung des Epithels und bei erhöhtem Drucke nicht mit Tröpfchen. Das Epithel schützt also die Hornhaut vor der Quellung durch Wasser.

Es dürfte schwer einen einfachen, ohne besondere Hilfsmittel anzustellenden Versuch geben, über dessen Erfolg die Angaben sich so diametral gegenüberstehen, wie über den Tröpfchenversuch mit der Hornhaut. Ich habe daher Veranlassung genommen, diesen Versuch nach den verschiedensten Richtungen hin zu variiren und glaube, dass die von mir erhaltenen Re-

*) S. oben S. 95.

**) Laqueur, über die Durchgängigkeit der Hornhaut für Flüssigkeiten. Centralbl. f. d. med. Wissenschaft, 1872. No 37.

sultate wenigstens die Mehrzahl der Widersprüche zu lösen im Stande sind.

Als Hauptsache suchte ich das Verhalten der Hornhaut während des Lebens und dessen Ursachen festzustellen; es wird daher auch zweckmässig sein, mit der Beschreibung der beim Lebenden angestellten Versuche zu beginnen.

Widerlegung der Hornhautfiltration am lebenden Auge.

Die Hornhautoberfläche des Kaninchens, dessen Lider man durch einen Sperrhalter vom Auge entfernt hält, fängt, wenn sie nicht vor Verdunstung geschützt wird, nach kurzer Zeit an, abzutrocknen. Beim Kaninchen lässt sich seitlich überfliessende Flüssigkeit noch sicherer als durch einen Lidhalter dadurch von der Hornhautoberfläche abhalten, dass man das Auge luxirt und durch einen Kautschukring in dieser Lage erhält.

Die Augen überstehen diesen Eingriff leicht und ohne bleibenden Nachtheil, wenn die Luxation nicht zu lange fortgesetzt wird. Hat man anfangs die Hornhautoberfläche abgetrocknet, so bleibt sie völlig trocken, auch bei länger (bis $\frac{1}{2}$ Stunde) fortgesetzter Beobachtung; ein darauf gehaltenes Stückchen Filtrirpapier nimmt keine Feuchtigkeit auf.

Die Hornhaut verhält sich etwa wie eine fest coagulirte Leimmasse, welche zwar im Innern reichlich Flüssigkeit enthält und allmählig durch Verdunstung abgibt, an deren Oberfläche aber nicht die geringste Menge von Flüssigkeit vorhanden ist. Die Oberfläche ist dabei etwas matt, glänzt weniger, kann aber doch im Ganzen ziemlich glatt bleiben.

Mit dem Cornealmicroscop konnte auch bei länger, bis $\frac{1}{2}$ Stunde, fortgesetzter Beobachtung nicht die ge-

ringste Veränderung der Reflexe bemerkt werden, die doch hätte eintreten müssen, wenn auch nur ganz feine Tröpfchen an der Oberfläche zum Vorschein gekommen wären. Die Gefässe der Bindehaut und des Hornhautrandes waren dabei mehr oder minder stark injicirt, die der Iris beim albinort. Kaninchen deutlich sichtbar und auch die Gefässe der Retina und Chorioidea mit dem Augenspiegel ziemlich normal gefüllt zu erkennen.

Ueber den Gefässverzweigungen der Sclera neben dem oberen und unteren Hornhautrand wurden grosse Tröpfchen beobachtet.

Bei Anwendung des federnden Lidhalters sammelte sich im unteren Theil des Bindehautsackes eine reichliche Menge klarer Flüssigkeit an. Wurde die Luxation des Auges eine Zeit lang fortgesetzt, so begann auch die Sclera in einiger Entfernung vom Hornhautrande in Gestalt von dunklen Flecken einzutrocknen, die sich mehr und mehr vergrösserten (ähnlich wie dies bei Cholera am Menschen beobachtet wird).

Unter 9 Versuchen wurde nur bei einem einzigen Kaninchen an beiden Augen im Anfang des Versuchs eine ganz geringe Befeuchtung der Hornhaut wahrgenommen, beim einen Auge mit Lidhalter, beim anderen nach Luxation. Beim letzteren wurden, $\frac{1}{2}$ Minute, nachdem das Auge abgewischt war, mit der Loupe feinste Tröpfchen auf der Hornhaut bemerkt, die sich abgewischt nach 2 Minuten abermals, aber nur sehr schwach erneuerten, um darauf nicht wieder zu erscheinen, obgleich die Beobachtung noch 10 Minuten fortgesetzt wurde. Beim anderen Auge (mit Lidhalter) kam überhaupt nur einmal eine Andeutung von Tröpfchen zum Vorschein, nachher (bei 15 Minuten dauernder Beobachtung) nichts mehr.

Ich erkläre mir die soeben erwähnte Abweichung so, dass vielleicht das Epithel eine kleine Menge Flüssigkeit imbibirt enthalten kann, die es bei Druck auf das Auge als Andeutung von Tröpfchen wieder hergibt.

Ist diese Quelle versiegt, so hört das Erscheinen von Tröpfchen auf.

Bei allen anderen Versuchen war übrigens das Resultat völlig negativ und selbst wenn das Auge durch eine mit feuchtem Fliesspapier bedeckte Kappe vor Verdunstung geschützt wurde, blieb die Hornhaut, wenn sie anfangs abgewischt war, unbefeuchtet.

Der Erfolg ist ganz derselbe, man mag die Hornhautoberfläche unversehrt lassen oder an einer Stelle das Epithel abkratzen.

Wenn ein Unterschied auftrat, so war es der, dass die Mattigkeit der Oberfläche nach Entfernung des Epithels noch deutlicher hervortrat und die Abwesenheit jeder Befeuchtung noch zweifelloser festgesellt werden konnte.

Da das Resultat auch dann dasselbe blieb, wenn das Auge vor Verdunstung geschützt wurde, so kann man nicht entgegnen, dass die durch die Hornhaut filtrirende Flüssigkeit sogleich wieder verdunstet. Ich bediente mich, wie schon bemerkt, um das Auge vor Verdunstung zu schützen, einer über dasselbe gestülpten, mit feuchtem Fliesspapier gefütterten Kappe. Man darf aber dieselbe nicht zu stark befeuchten, weil sich sonst, wie mir dies zuweilen bei Versuchen an ausgeschnittenen Augen einzutreten schien, etwas Feuchtigkeit von aussen her auf der Hornhaut niederschlagen könnte; ich habe dies allerdings beim Lebenden nie beobachtet, vermuthlich wegen der höheren Temperatur des Auges, wollte aber doch auf diese mögliche Fehlerquelle bei etwaigen Wiederholungen der Versuche aufmerksam machen.

Gegen die Versuche an luxirten Augen könnte man den Einwand erheben, dass dabei die Circulation gestört gewesen sei. Es gelang mir nicht, mit dem Cornealmicroscop den Nachweis für das Fortbestehen der Cir-

ulation in den Bindehautgefäßen zu liefern, weil die Oberfläche zu matt und ein deutliches Bild nicht zu erhalten war. Gegen eine bedeutendere Circulationsstörung spricht übrigens, dass die Augen den Versuch gut überstanden; wenn wir aber selbst einen vorübergehenden vollkommenen Stillstand der Circulation zugeben wollten, so könnte dieser doch nicht eine geringere Filtration durch die Cornea erklären, so lange die vordere Kammer erhalten und der Augendruck (durch die Compression von aussen) gesteigert ist. Uebrigens wird man den Versuchen mit Lidhaltern auch nicht denselben Vorwurf machen können.

Ich muss es demnach für bewiesen erachten, dass die Hornhaut während des Lebens keine merkliche Menge tropfbarer Flüssigkeit an ihrer Oberfläche hervortreten lässt. Indem ich mich also hierinden Beobachtungen von Martini (s. o. S. 128 bis 129.) vollkommen anschliesse, muss ich es dahingestellt sein lassen, wie die entgegengesetzten Angaben von Jean Janin, Coccius u. A. zu erklären sind. Wer sich die Mühe nehmen will, die Versuche auf die von mir angegebene Weise zu wiederholen, wird sich leicht von ihrer Richtigkeit überzeugen können.

Dass der soeben ausgesprochene Satz nicht nur für die Augen von Thieren, sondern auch für das menschliche Auge gilt, davon kann man sich gelegentlich bei länger dauernden Operationen am Auge überzeugen. Immer, wenn bei liegender Haltung des Kranken ein federnder Lidhalter längere Zeit im Auge liegen bleibt, wie z. B. bei Vornähungen, Pterygiumoperationen oder dergl., wird die Hornhautoberfläche matt, weil die sie sonst bedeckende capillare Flüssigkeitsschicht, der sie ihren Glanz verdankt, verdunstet und nicht wieder ersetzt wird. Dasselbe wurde von mehreren Seiten beobachtet, in den seltenen Fällen, wo beim Menschen durch

eine Verletzung der Bulbus vollkommen luxirt war; die Hornhautoberfläche zeigte sich alsdann schon sehr bald nach der Verletzung trocken und leicht getrübt. In geringerem Grade oder auf einem Theil der Hornhaut beschränkt, kann man dasselbe zuweilen bei Lagophthalmus, hochgradigem Ectropium oder Exophthalmus beobachten.

Wie sollte sich endlich ein Xerophthalmus bei Bindehautschrumpfung entwickeln können, wenn die Hornhaut reichlich Flüssigkeit durch ihr Gewebe durchfiltriren liesse? Fehlt die Befeuchtung durch die Bindehaut und die Thränen, so wird die Hornhautoberfläche trocken, trübe, das Epithel verdickt sich und nimmt eine epidermisartige Beschaffenheit an, zum besten Beweise für die Undurchgängigkeit der Hornhaut für Humor aqueus während des Lebens.

Wenn die Hornhaut während des Lebens keine tropfbare Flüssigkeit absondert, so ist damit ein unmerklicher Verlust durch Verdunstung keineswegs in Abrede gestellt. Im Gegentheil wird immer, wenn an der Hornhautoberfläche Flüssigkeit verdunstet, von innen her Flüssigkeit angesogen werden, falls nicht der Ausfall durch seitlich herbeifliessende Flüssigkeit gedeckt wird.

Von der Wirkung der Verdunstung an der Hornhautoberfläche gibt eine von Herrn Professor Donders vorgeschlagene Anwendung eines Versuches v. Liebig's*) auf eine Hornhaut eine sehr klare Vorstellung. Herr Professor Donders hatte bei Gelegenheit meiner vorläufigen Mittheilung auf dem Heidelberger Congress die Vermuthung geäußert, dass wenn man die

*) J. Liebig, Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus. Braunschweig, 1848. S. 60 ff.

Hornhaut, ähnlich, wie eine thierische Blase, auf eine Röhre aufbinde, durch Verdunstung an ihrer Oberfläche ein sehr erheblicher negativer Druck entstehen würde. Die Membran wird dabei über das U-förmig umgebogene kurze Ende eines Trichterrohres gebunden, dessen anderer Schenkel eine hinreichende Länge besitzen muss, der ganze Apparat mit Wasser oder verdünnter Salzlösung gefüllt, umgekehrt und mit dem längeren Schenkel in ein mit Hg gefülltes Gefäss gestellt. Das Wasser verdunstet dabei von der Oberfläche der Membran und zu seinem Ersatz steigt Hg in der längeren Röhre in die Höhe. Offenbar ist der mit dem Steigen des Hg verbundene negative Druck die Folge davon, dass die Membran Wasser energisch anzieht, Luft dagegen nicht. Die Atmosphäre verhält sich zu dem im Apparat eingeschlossenen Wasser nahezu wie ein leerer Raum. Wäre die äussere Luft völlig trocken und das Anziehungsvermögen der Blase zum Wasser hinreichend stark, so würde das Hg in der Röhre bis zu dem jedesmaligen Barometerstand emporsteigen müssen. Dadurch, dass die Membran kein Anziehungsvermögen gegen Luft, sondern nur gegen Wasser besitzt, wird bewirkt, dass die Luft nicht in die Poren der Membran eindringt, und dieselbe allmählig durchdringt, sondern dass im Gegentheil trotz der Verdunstung, die Membran nur in ihrer obersten Schicht trocken wird, aber in ihrem Innern einen stetig zunehmenden Wassergehalt behält.

Ogleich ich nun nicht im mindesten daran zweifelte, dass auch die Hornhaut bei ihrem starken Quellungsvermögen sich ganz ähnlich verhalten würde, wie eine thierische Blase, so habe ich doch den Versuch wiederholt und ganz das erwartete Resultat erhalten. Allerdings stieg die Hg-Säule sehr viel langsamer, als es v. Liebig bei seinen Versuchen fand, was aber auf die viel grössere Weite meiner Steigröhre zu beziehen war. Anfangs

stieg das Hg rascher, (in einem Tag 55 Mm. hoch), später immer langsamer und erst nach c. 30 Tagen war der höchste Stand von 550—560 Mm. erreicht. Die Höhe schwankte übrigens von einem Tag zum anderen oft um mehrere Millimeter hin und her, vermuthlich in Folge von Temperatur- und Luftdruckschwankungen; ein weiteres Steigen schien aber jetzt nicht mehr einzutreten, wesshalb der Versuch unterbrochen wurde.

Entfernung des Epithels oder der Descemetischen Membran hatten auf den Verlauf des Versuches, wie erwartet, gar keinen Einfluss.

Es geht aus diesem Versuche hervor, dass die im Eintrocknen begriffene Hornhaut gegen einen sehr bedeutenden Widerstand Flüssigkeit zurückhält und dass die Kraft, mit welcher sie dies thut, unverhältnissmässig viel grösser ist, als diejenigen Kräfte, welche, wie der Augendruck, von der Blutcirculation abhängig sind. Indessen muss die Grösse dieses unmerklichen Verlustes im Leben natürlich von der Möglichkeit der Verdunstung abhängen. In Wirklichkeit ist nun zwar ein Theil der Hornhautoberfläche den grössten Theil der Zeit mit Luft in Berührung; sowie aber die ihn bedeckende capillare Flüssigkeitsschicht einzutrocknen beginnt, ruft der dadurch erzeugte Reiz ein sofortiges Blinzeln hervor, wodurch von den Lidern wieder Bindehautflüssigkeit hinübergewischt wird. Es dürfte daher im Leben die Verdunstung von Feuchtigkeit, die aus der Hornhaut selbst stammt, keinesfalls erheblich sein; es ist dies um so weniger zu erwarten, als die Hornhaut, wenn sie ausnahmsweise längere Zeit der Verdunstung ausgesetzt bleibt, und an der Oberfläche nicht mehr von einer capillaren Flüssigkeitsschicht bedeckt ist, alsdann durch ihre Anziehung zum Wasser die Verdunstung doch etwas beschränken muss.

Es versteht sich ferner von selbst, dass es mir nicht in den Sinn kommen kann, mit obigen Versuchen den Diffusionsverkehr zwischen Hornhaut und vorderer Kammer in Abrede zu stellen; es handelt sich dabei um etwas von der Diffusion ganz verschiedenes, um die nur vom Druckunterschied abhängige Filtration einer chemisch indifferenten wässrigen Lösung aus der vorderen Kammer nach aussen. Die Diffusion ist an sich vom Druckunterschied unabhängig und hängt von der chemischen Beschaffenheit der in der Flüssigkeit gelösten Stoffe ab. Wenn also in die vordere Kammer diffusionsfähige Körper, z. B. gewisse Farbstoffe hineingebracht werden, so werden ihre Moleküle allmählig ebenso durch die Hornhaut hindurchdringen, wie z. B. die des Atropins bekannter Massen in entgegengesetzter Richtung von der Hornhautoberfläche in die vordere Kammer hineinwandern. Nur wird man unter den gewöhnlichen Verhältnissen diesen Stoffaustausch nicht überschätzen dürfen, da auf beiden Seiten dieselben Stoffe, nur in etwas verschiedenem Procentsatz, vorhanden sind und da der Stoffverbrauch der Hornhaut gewiss nur gering anzuschlagen ist. Uebrigens gedenke ich auf die Frage von der Hornhauternährung bei einer späteren Gelegenheit zurückzukommen.

Hornhautfiltration im Leben bei gesteigertem Druck.

Die bei glaucomatösen Processen auftretenden Trübungen der Hornhaut hat man häufig ohne weiteren Beweis durch reichlicheres Eindringen von Kammerwasser in die Hornhaut zu erklären versucht; Oedem der Hornhaut durch Drucksteigerung ist eine geläufige Vorstellung. Eine besondere Stütze erhielt diese Ansicht durch die in solchen Fällen ausnahmsweise auf der Hornhaut beobachteten Bläschenbildungen (Horner),

die übrigens auch bei nicht gesteigertem Augendruck entstehen können. Um der Entscheidung dieser Frage auf experimentellem Wege näher zu kommen, habe ich auch das Verhalten der lebenden Hornhaut nach künstlicher Drucksteigerung untersucht. Die Drucksteigerung wurde bei einer Versuchsreihe durch Unterbindung mehrerer oder sämtlicher *Venae vorticosae* hervorgebracht. Der Augendruck erfährt dabei eine bedeutende Steigerung, das Auge fühlt sich nach Unterbindung sämtlicher Venen sehr hart an und es entwickelt sich nach kurzer Zeit eine enorme venöse Hyperämie der Iris und Ciliarfortsätze und ein starkes Oedem der Bindehaut. Die Hornhaut verhielt sich aber, nachdem dieser Zustand seinen Höhepunkt erreicht hatte, nicht anders als ohne Unterbindung der Venen; ihre Oberfläche blieb matt und unbefeuchtet, man mochte sie unverletzt oder nach Entfernung des Epithels beobachten. Ich habe die bei diesen Versuchen erzielte Drucksteigerung manometrisch bestimmt, aber auffallend geringe Werthe erhalten, nämlich nur 41—51 Mm. Auch wenn ich von einigen Versuchen, welche nicht absolut vorwurfsfrei waren, absehe, fand ich das Maximum nicht über 51 Mm., wie der folgende Versuch beweist.

Versuch über die durch Unterbindung sämtlicher *Venae vorticosae* erzielte Drucksteigerung und das Verhalten der Hornhaut bei gesteigertem Druck.

8. VIII. 1872. Grosses weisses Kaninchen.

4 Uhr 35 Min. Unterbindung sämtlicher *Venae vorticosae* vollendet. Auge hart, starke venöse Hyperämie der Iris.

4 Uhr 53 Min. Canule in die vordere Kammer eingeführt ohne Ausfliessen von *Humor aqueus*. Druck am Manometer (dessen längerer Schenkel 0,5 Mm. Weite hat) vor Herstellung der Verbindung

70 Mm. Hg.
 der Kautschukschlauch ist dicht an der ins Auge
 eingestochnen Canule abgeklemmt.

- 4 Uhr 54 Min. Herstellung der Communication, Druck
 sinkt rasch auf 55 Mm.
 4 Uhr 58 Min. 52 Mm.

Die Canule schliesst vollkommen; vorübergehender
 Druck auf das Auge, das sich noch immer sehr hart
 anfühlt, bewirkt ein momentanes Steigen, worauf
 die Hg-Säule wieder ihren früheren Stand einnimmt.

- 5 Uhr 1 Min. Druck 51 Mm.
 5 „ 4 „ „ 51 „
 5 „ 5 „ „ 51 „

Da der Druck im Manometer vor Herstellung der
 Verbindung mit dem Auge höher war, als derjenige
 Stand, bei welchem der Druck im Auge später con-
 stant blieb, so kann die Bestimmung des letzteren
 jedenfalls keinen zu kleinen, sondern eher einen zu
 grossen Werth ergeben haben.

Um eine noch bedeutendere Steigerung des Augen-
 druckes zu erzielen, wurde derselbe durch Eintreiben
 von Flüssigkeit künstlich gesteigert.

- Um 5 Uhr 5¹/₂ Min. Drucksteigerung auf 80 Mm. Hg.
 „ 5 „ 7 „ gesunken auf 74 „ „
 „ 5 „ 9 „ „ „ 69 „ „
 „ 5 „ 13 „ „ „ 64 „ „

Die Iris sehr stark hyperaemisch.

Der Versuch wird jetzt unterbrochen, da die Com-
 munication zwischen Auge und Manometer durch
 Gerinnungen in der vorderen Kammer anfängt, unvoll-
 kommen zu werden.

Die Hornhautoberfläche war während des Versuchs
 wiederholt, bis 3 Minuten lang, genau beobachtet,
 aber immer vollkommen frei von Flüssigkeit gefunden,
 auch nach Abkratzen des Epithels kam keine Spur
 von Tröpfchen zum Vorschein. Im Conjunctivalsack
 beständig eine reichliche Menge Flüssigkeit, wesshalb
 es überflüssig schien, die Hornhautoberfläche noch
 besonders vor Verdunstung zu schützen.

Auch bei den im vorigen Abschnitte mitgetheilten Versuchen über den Abfall künstlicher Drucksteigerungen beim Lebenden wurden niemals Tröpfchen an der Hornhautoberfläche beobachtet, obwohl der Druck bis über 100 Mm. Hg. gesteigert wurde. Indessen wurde bei diesen Versuchen nicht immer so genau auf das Verhalten der Hornhaut geachtet, wie bei dem oben citirten, weshalb ich sie hier nicht weiter verwerthen will. Bei den Versuchen an ausgeschnittenen Augen werde ich weiter unten auf die Wirkung noch bedeutenderer Drucksteigerungen zurückkommen.

Aus dem Angeführten geht aber jedenfalls hervor, dass selbst eine sehr hochgradige Steigerung des Augendruckes im Leben nicht im Stande ist, Flüssigkeit durch die Hornhaut hindurchzupressen.

Es wäre indessen zu weit gegangen, wenn man auf Grund dieser Versuche das Eindringen von Humor aqueus in die Hornhaut bei glaucomatösen Processen und überhaupt bei pathologischen Zuständen ganz in Abrede stellen wollte. Eine längere Dauer der Drucksteigerung könnte anders wirken, als es sich bei der relativ kurzen Beobachtungszeit meiner Versuche herausstellte, die Hornhaut könnte Veränderungen erlitten haben, welche sie zur Filtration geeigneter machen u. s. w. Es sind also darüber erst specielle Untersuchungen abzuwarten.

Die Trübung der Hornhaut beim Glaucom hat man übrigens auch durch die Drucksteigerung allein zu erklären gesucht. Es ist schon lange bekannt, dass die Hornhaut momentan trübe wird, wenn man ein Auge stark mit den Fingern drückt; die Trübung verschwindet sofort wieder, wenn der Druck nachlässt, sie tritt auch ein, wenn man vorher das Epithel entfernt und wenn man die vordere Kammer mit Luft gefüllt hat. Sie kann also nicht durch Eindringen von Flüssigkeit in

die Hornhaut erklärt werden. Wardrop wurde durch dieses Experiment auf die günstige Wirkung der Paracentese bei Drucksteigerung im Auge geführt.

Nach Meyr*) kann man diese Trübung auch am Auge lebender Kaninchen künstlich hervorrufen. Beim ausgeschnittenen Auge des Rindes bedarf man nach demselben Autor zu ihrer Erzeugung 150 Mm. Hg. Druck. Ich fand an Ochsenaugen bei diesem Druck die Trübung noch nicht sehr bedeutend und selbst bei 200 Mm. noch nicht so intensiv, wie man sie durch sehr starken Druck zwischen den Fingern erzeugen kann.

Auch am lebenden (am besten luxirten) Kaninchenauge muss man schon sehr stark drücken, um eine leichte, kaum bemerkbare Trübung der Hornhaut zu erhalten. Auffallender Weise entstand dagegen schon durch ganz mässigen Druck eine bedeutende Zunahme einer schon bestehenden leichten Trübung der lebenden Hornhaut, nach Entfernung des hinteren Epithels, bei einem der weiter unten mitzutheilenden Versuche.

Ein grosser Theil der glaucomatösen Trübung der Medien ist bekanntlich bedingt durch die diffuse Trübung des Kammerwassers und Glaskörpers und wohl auch des Hornhautepithels. Wie viel nach Abzug dieser Elemente für die Wirkung des Druckes noch übrig bleibt, dürfte ohne besondere Untersuchung nicht zu entscheiden sein.

Es sei mir gestattet, bei dieser Gelegenheit noch kurz zwei andere Beobachtungen anzuführen, die ich nach Unterbindung der Venae vorticosae gemacht habe.

Erstens trat nach Unterbindung dieser Venen nicht nur eine enorm starke venöse Hyperaemie der Iris und Aderhaut auf, sondern das Gewebe war auch fast

*) L. Meyr, über die Trübungen der Hornhaut in Folge mechan. Druckes und Quellung. München 1856. (Nach d. Referat in Canstatt's Jahreshb. 1857. S. 104—105.)

gleichmässig von rothen Blutkörperchen durchsetzt. Dieselben schienen, wie dies von Cohnheim bei der venösen Stauung beschrieben ist, allenthalben in enormer Menge durch die Gefässwandungen hindurchgetreten zu sein. Das Gewebe war oft so gleichmässig damit durchsetzt, dass die Gefässe selbst nur schwer zu verfolgen waren. Bei längerer Dauer mag es übrigens auch zu Zerreiſung kleiner Gefässe gekommen sein, wie die an der Oberfläche der Iris und Ciliarfortsätze und in der vorderen Kammer auftretenden kleinen Blutanhäufungen annehmen liessen.

Zweitens beschränkte sich die Stauung, wenn nur eine oder einige der Wirbelvenen unterbunden waren, ganz scharf auf den Theil der Iris und diejenigen Ciliarfortsätze, welche diesen Venen entsprachen.

Besonders am Ciliarkörper war der Unterschied zwischen den dunkelroth und prall injicirten Fortsätzen am einen Theil des Umfanges und den blutleeren anderen höchst auffallend. Trotz den zahlreichen Communicationen zwischen den Zweigen zweier benachbarter Venae vorticosae kommt also kurze Zeit nach der Unterbindung doch keine merkliche collaterale Ausgleichung zu Stande.

Hornhautfiltration beim völlig frischen todten Auge.

Bei den im II. Theil dieser Studien (S. 96—97) mitgetheilten Versuchen zur Widerlegung des Zusammenhanges der vorderen Kammer mit Blutgefässen, wurde als constantes Resultat erhalten, dass beim frischen Auge die Hornhaut keine Flüssigkeit hindurchlässt, ganz wie dies soeben für das lebende Auge beschrieben wurde. Bei diesen Versuchen konnte auch die Höhe des angewandten Druckes besser regulirt und gemessen werden. Bei Druckhöhen zwischen 20 und 200 Mm. Hg., hergestellt durch

Injection in die vordere Kammer oder den Glaskörperraum, war dieses Resultat, trotz sorgfältigem Schutz vor Verdunstung und trotz längerer, in der Regel mehrstündiger Dauer der Versuche, ganz constant. Wurde aber das Auge über Nacht unter dem Hg-Druck stehen gelassen und am folgenden Tage der herabgesunkene Druck wieder erheblich gesteigert, so stellte sich ein Anflug von Feuchtigkeit auf der Cornea ein. Ebenso, wenn gleich anfangs nicht mehr frische Augen zum Versuch benutzt wurden.

Ich muss besonders hervorheben, dass die Anwendung völlig frischer, womöglich noch warmer Augen für die Erzielung richtiger Resultate unerlässlich ist. Auf das Verhalten nicht mehr frischer Augen und die Ursachen ihres abweichenden Verhaltens komme ich weiter unten zurück.

Bei noch höherem Drucke kann allerdings auch beim frischen Auge Flüssigkeit durch die Hornhaut gepresst werden. Von der vorderen Kammer aus liess sich dies nicht so leicht ausführen, weil der Druck dabei sehr rasch absinkt und immer für Ersatz der Flüssigkeit gesorgt werden muss; bei Injection in den Glaskörperraum war aber, wie schon früher bemerkt, der Abfall oft viel langsamer und daher der Versuch leichter anzustellen.

Bei einem frischen Hundeauge, wo der Druck im Glaskörper bis auf 265 Mm. Hg. getrieben war, zeigte nach $4\frac{1}{2}$ Stunden die vor Verdunstung geschützte Hornhautoberfläche mehrere kleine blasige Hervorwölbungen des Epithels, anfangs aber noch keine Befeuchtung. Erst bei neuerlicher Steigerung des inzwischen auf 195 Mm. gesunkenen Druckes zur früheren Höhe kam 10 Minuten später eine minimale Menge von Flüssigkeit hervor, und das Epithel löste sich allmählig immer mehr blasenartig ab.

Ich kann auch die Angaben von Martini und Bowman vollkommen bestätigen, dass man durch noch so starken Druck mit der Hand an dem noch warmen Auge eines eben getödteten Thieres auch nicht eine Spur von Flüssigkeit hervorpresen kann, man mag das Epithel entfernen oder nicht.

Wenn man, wie dies z. B. von His geschehen ist*), die Hornhaut zu Filtrationsversuchen auf eine Röhre aufbindet, so wird sie dabei stark gequetscht und es lässt sich dann kein Schluss auf den normalen Zustand mehr machen. Der dem Lumen der Röhre gegenüberliegende Theil quillt stark auf und trübt sich, und zwar in ganz scharfer Begrenzung, während der zusammengeschnürte Randtheil durch die Ligatur am Aufquellen verhindert wird. Je stärker der Druck, um so erheblicher ist diese Dickenzunahme. Um die Quetschung zu vermeiden, band ich nicht die Hornhaut selbst, sondern den Randtheil der Sclera auf und zwar möglichst so, dass die Hornhaut sich auf den Rand der Glasröhre fest anlegte, ohne aber im geringsten gedrückt zu werden. Trotzdem erhielt ich widersprechende Resultate. In der Mehrzahl der Fälle trat allerdings bei frischen Augen und wenn das äussere Epithel nicht verletzt war, erst bei mehr als 200 Mm. Hg-Druck etwas Feuchtigkeit an der Hornhautoberfläche auf, aber es genügten oft schon geringe Lücken in der Epitheldecke, um ein reichliches Durchtreten von Tröpfchen zu veranlassen, und einmal trat dies selbst bei intactem Epithel und bei viel geringerem Drucke, von nur 50 Mm. Hg, auf.

Da die Tröpfchen bei dem letzterwähnten Versuch immer zuerst an einer bestimmten Stelle des Hornhautrandes auftraten, so forschte ich nach einer localen Ursache und

*) His, Beitr. z. norm. u. pathol. Histologie d. Cornea. Basel 1856. S. 24—25.

fand, entsprechend dieser Stelle, die Descemetsche Haut eine ziemliche Strecke weit von der Hornhaut abgelöst, was am Kaninchenauge beim Abziehen des Ciliarkörpers leicht geschieht.

Es wurde deshalb bei den folgenden Versuchen durch vorsichtigeren Präparation dieser Uebelstand vermieden und nun trat auch bei frischen Augen erst bei höherem Druck, in der Regel erst über 200 Mm., eine leichte Befeuchtung der Hornhaut auf.

War das Epithel völlig intact, so fing es bei höherem Druck an, sich blasig abzuheben, noch ehe eine deutliche Befeuchtung der Oberfläche bemerkt wurde.

Auch nach Beseitigung dieser Fehlerquelle blieb aber immer noch ein kleiner Unterschied übrig zwischen den Versuchen mit aufgebundener Hornhaut und denen, wo eine Canule in die vordere Kammer oder in den Glaskörperraum eingeführt war, indem bei letzteren das Resultat immer noch negativer ausfiel, als bei ersteren. Es zeigte sich dies auch, als die Wirkung beider Versuchsanordnungen an zwei Augen desselben Kaninchens verglichen wurde. Die Augen waren dem eben getödteten Thiere entnommen und mit grösster Vorsicht zum Versuche hergerichtet. Bei allmäliger Drucksteigerung von 50 bis 200 Mm. Hg blieb die durch eine feuchte Kammer vor Verdunstung geschützte Hornhaut des Auges, wo ein Canule in die vordere Kammer eingeführt war, über 2 Stunden lang matt und liess keine Tröpfchen hervortreten; die aufgebundene Hornhaut zeigte aber bei 200 Mm. Druck nach etwa einer Stunde eine leichte Abhebung des Epithels am Rande und nach Ablösung des Epithels kamen kleine Tröpfchen, was bei der anderen Hornhaut nicht der Fall war.

Ein solcher geringer Unterschied ist aber sehr wohl erklärlich, da das Hindurchtreten von Flüssigkeit durch jede Verletzung oder Zerreißung begünstigt werden muss,

auch wenn sich an der Hornhaut eine solche Verletzung nicht direct nachweisen lässt.

Wenn es aber darauf ankommt, das Verhalten beim Lebenden zu ermitteln, so wird man sich an diejenigen Versuche halten müssen, wo die geringste mögliche Verletzung stattgefunden hat, also an die mit Einführung einer Canule, am besten in den Glaskörperraum.

Der Druck, bei welchem eine möglichst frische, intacte Hornhaut anfängt, Flüssigkeit hindurchzulassen, liegt demnach weit über dem physiologischen Augendruck, und war bei den zum Versuch benützten Thieren (Kaninchen, Hund, Schwein, Kalb) bei 200 Mm. Hg noch nicht erreicht. Der Apparat gestattete meistens nicht, den Druck viel höher zu treiben, nur einmal trat nach längerer Zeit bei 260—270 Mm. eine minimale Menge Feuchtigkeit hindurch, nachdem vorher das Epithel angefangen hatte, sich blasig abzulösen.

Eine genauere Bestimmung dieser Grenze des Druckes schein mir nicht von besonderem Interesse, weil dieselbe der Natur der Sache nach nicht scharf gezogen sein kann und weil wenigstens im Auge des Kaninchens, ein Druck von 200 Mm. intra vitam schwerlich je erreicht werden dürfte. Der Blutdruck in der Carotis dieses Thieres beträgt nach Volkmann im normalen Zustand im Mittel 90 Mm.; durch Reizung des Halsmarkes, das kräftigste Mittel zu seiner Steigerung, kann er auf etwa das Doppelte gebracht werden, erreichte aber in keinen der zahlreichen Versuche von Ludwig und Thiry*) 200 Mm. Hg. Schwerlich dürfte also der Augendruck jemals eine solche Höhe erreichen.

Wenn es demnach auch nicht bezweifelt werden kann, wie His angibt, dass man bei gehörig gesteiger-

*) C. Ludwig und Thiry, Ueber den Einfluss des Halsmarkes auf den Blutstrom. Sitzber. d. k. k. Ak. d. Wissensch. zu Wien XLIX. 1864.

tem Druck Flüssigkeit in die Hornhaut hinein- und durch dieselbe hindurchpressen kann, so steht doch fest, dass bei der intacten Cornea dazu ein Druck gehört, der den physiologischen Augendruck um das Vielfache übertrifft und während des Lebens wahrscheinlich nie erreicht wird.

Auf Grund dieser Versuche muss ich demnach auch bezweifeln, dass selbst in pathologischen Fällen der Augendruck so hoch steigen könne, um einfach mechanisch Flüssigkeit durch die Hornhaut hindurchzupressen. Ich wiederhole aber nochmals, ich halte es sehr wohl für möglich, dass durch pathologische Prozesse andere Veränderungen der Hornhaut hervorgebracht werden, welche sie zum Flüssigkeitsdurchtritt geeigneter machen.

Filtration durch die cadaverös veränderte Hornhaut.

Es wurde oben hervorgehoben, dass zur Erlangung richtiger Resultate bei der vorliegenden Frage die Anwendung völlig frischer Augen unerlässlich ist. Und in der That erhält man auch bei Anwendung nicht mehr frischer Augen andere Resultate.

Es zeigt sich schon ein Unterschied, wenn das Auge noch scheinbar ganz gut erhalten und auch das äussere Epithel noch nicht cadaverös gelockert oder abgelöst ist. Bei einen Tag alten Augen genügt gewöhnlich schon ein etwas geringerer Druck und eine weniger lange Fortsetzung desselben, als bei ganz frischen Augen, um auf der intacten Oberfläche und besonders deutlich an kleinen Lücken des Epithels eine Spur von Feuchtigkeit hervortreten zu lassen.

48 Stunden nach dem Tode traten beispielshalber beim Kaninchen bei 72 Mm. Druck schon nach 15 Minuten zahlreiche Tröpfchen auf der ganzen Hornhautoberfläche hervor.

An Augen, wo das Epithel spontan gelockert und abgelöst ist, erscheint, wie dies von den älteren Autoren angegeben wurde, schon bei mässigem Druck mit der Hand an die Hornhautoberfläche ein Thau feiner Tröpfchen, der sich, abgewischt, immer wieder erneuert. Die Tröpfchen sind oft in zierliche Reihen geordnet, deren Richtung mit derjenigen zusammenfällt, in welcher man über die Hornhaut gewischt hat; offenbar wird durch das Ueberwischen das Zusammenfliessen der Tröpfchen in der jedesmaligen Richtung desselben erleichtert.

Der von Steno, Leeuwenhoek und Winslow entdeckte Tröpfchenversuch ist demnach in die Reihe der cadaverösen Erscheinungen zu verweisen. Hiermit dürfte auch die Mehrzahl der widersprechenden Angaben der Autoren in Einklang gebracht werden.

Untersucht man die Hornhaut eines Auges, an welchem der Versuch gelingt, so findet man sie mehr oder minder verdickt und gequollen, meist auch schon in gewissem Grade getrübt. Ihr Gewebe ist reicher an Flüssigkeit. (Ueber die Trübung, welche die Hornhaut durch Quellung erfährt, hat schon Meyr zahlreiche Versuche angestellt.) Die Tröpfchen kommen zum Theil aus der Hornhautsubstanz, da sie sich auch an der ausgeschnittenen Hornhaut an beiden Flächen auspressen lassen (Zinn.) Es dauert dies aber nur eine Zeit lang; hat man die vordere Kammer mit Luft gefüllt, so wird, wie Bowman fand und ich bestätigen kann, das Austreten von Flüssigkeit bald geringer und hört zuletzt ganz auf. Die Anfangs in der Hornhaut enthaltene Flüssigkeit wird also allmählig erschöpft, weil durch Aufnahme aus der vorderen Kammer kein Ersatz stattfinden kann.

Ursache, warum die Hornhaut während des Lebens das Kammerwasser zurückhält.

Da die Hornhaut ein complicirtes Gebilde ist, so muss bei Erforschung der Ursachen ihrer Filtrations-Unfähigkeit während des Lebens jede einzelne ihrer Schichten in ihrem etwaigen Einfluss berücksichtigt werden.

Da es sich dabei um Eindringen von Flüssigkeit aus der vorderen Kammer handelt, so lag es nahe, zuerst den Einfluss der an letztere unmittelbar grenzenden Descemet'schen Membran zu untersuchen. Wenn es sich nachweisen liesse, dass diese schon das Eindringen von Flüssigkeit hindert, so würden die übrigen Schichten nur nebensächlich in Betracht kommen können.

Die Filtrationsfähigkeit der Membrana Descemetii und des sie deckenden Epithels.

In der Dissertation von Riesenfeld*) wurde bereits über einige zu diesem Zwecke unternommene Versuche berichtet, die ich auch in meiner vorläufigen Mittheilung auf dem Heidelberger Congress erwähnt habe. Es schien sich bei denselben herauszustellen, dass die nach Einlegen der Hornhaut in verdünnten Alkohol isolirte Descemet'sche Haut vom Ochsen oder Pferd, selbst bei relativ hohem Druck, kein Wasser oder verdünnte Na Cillösung hindurchlässt. Indessen war die Zahl der damals angestellten gelungenen Versuche nur klein und es fehlten alle Controlversuche.

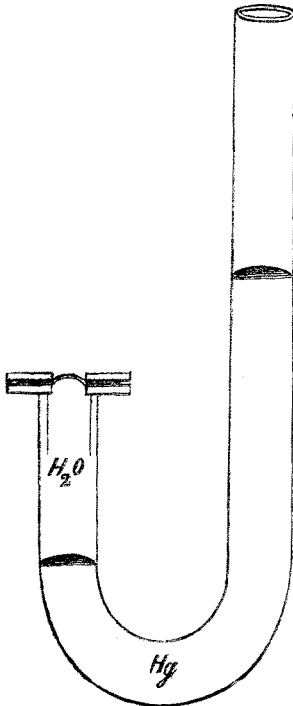
Bei einer nachträglichen Durchsicht der Protocolle von 4 Versuchen finde ich überdies, dass in einem derselben schon bei 80 Mm. Druck eine minimale Menge Flüssigkeit hindurchtrat, und bei Steigerung des Druckes auf 95 Mm. deutliche Tröpfchen. Ich habe daher den

*) loc. cit. p. 15—16.

Gegenstand nochmals wieder aufgenommen und kann jetzt als Resultat zahlreicher, verschiedentlich variirter Versuche den Satz aufstellen, dass das Epithel der Descemet'schen Membran, und nicht diese Membran selber, die Schicht ist, welche das hauptsächlichste Hinderniss für den Flüssigkeitsdurchtritt durch die lebende Hornhaut abgibt.

Meine ersten Versuche waren Wiederholungen der Filtrationsversuche mit der isolirten Descemet'schen Membran und es wurde dabei auf das Epithel der letzteren keine Rücksicht genommen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dasselbe dabei niemals intakt erhalten blieb. Da ich fand, dass sich beim frischen Ochsenauge die Membran hinreichend leicht ablösen lässt, benützte ich jetzt nur frische Augen.

Fig. 2.



Die Membr. Desc. wurde, wie früher, zwischen zwei kleine, in der Mitte durchbohrte Glasplättchen eingekittet, so dass ihr mittlerer Theil frei zwischen den sich entsprechenden Oeffnungen der beiden Glasplättchen lag. (S. nebenstehende Figur 2.) Der Durchmesser dieser Oeffnungen betrug 4 bis $4\frac{1}{2}$ Mm. An eines der beiden Glasplättchen war eine U-förmig gebogene Glasröhre angekittet, das andere frei oder mit einer geraden, am Ende fein ausgezogenen Röhre in Verbindung. Ich fand es am besten, die vorsichtig ausgebreitete Membran auf dem einen Plättchen mit einer Lösung von Canadabalsam

festzukitten, einen Tag trocknen zu lassen und dann das andere Plättchen mit geschmolzenem Wachs darauf zu befestigen. Die Ränder der beiden Plättchen werden dann zweckmässig noch durch etwas Siegellack verbunden, da sie mit Wachs allein nach einiger Zeit leicht aus einander weichen.

Die Resultate waren aber jetzt nicht mehr so negativ wie früher. Bei Filtration von $\frac{3}{4}\%$ NaCl-Lösung oder destill. Wasser gegen Luft kamen schon bei 30—40 Mm. feine Tröpfchen auf der Membran zum Vorschein, noch mehr bei 54 Mm. Gewöhnlich war dies allerdings nur dann der Fall, wenn die Membran durch ein übergedecktes, trockenes Gläschen vor Verdunstung geschützt wurde; nahm man den Schutz weg, so verloren sich die Tröpfchen allmählig wieder. Es ging also hier gerade nur so viel durch, als in jedem Augenblick verdunstete. In anderen Versuchen kamen aber auch ohne Schutz vor Verdunstung Tröpfchen bei nur 30—40 Mm. Druck. Die Tröpfchen waren völlig farblos, auch wenn eine Lösung von Berliner Blau benutzt wurde, es konnte also von Lücken in der Membran nicht die Rede sein.

Da die Versuchsbedingungen von den Verhältnissen während des Lebens dadurch wesentlich verschieden waren, dass die Filtration gegen Luft und nicht gegen wässrige Flüssigkeit erfolgte, so wurde der Versuch dahin abgeändert, dass sich auch auf der anderen Seite der Membran Flüssigkeit befand, deren Steigen durch etwaige Filtration an dem fein ausgezogenem Ende der Glasröhre genau beobachtet werden konnte. Auch hier dienten wieder Farbstofflösungen zur Controle gegen Risse der Membran oder Undichtheit des Verschlusses. Es wurde in der That ein Steigen der Flüssigkeit in dem zweiten Rohr beobachtet.

Einmal trat bei 31 Mm. Druck in 15 Stunden so viel Flüssigkeit durch, dass dieselbe auf die ganze

filtrirende Oberfläche vertheilt 3 Mm. hoch gestanden haben würde, also in der Stunde 0,2 Mm. hoch; bei 50 Mm. Druck in 5 Stunden 2,37 Mm., also in der Stunde 0,47 Mm. hoch.

Diese Zahlen haben übrigens an sich keinen grossen Werth, weil bei den Versuchen nicht auf das Verhalten des Epithels geachtet wurde, vermuthlich war dasselbe zum Theil verloren gegangen; bei vollständiger Entfernung desselben durch Abpinseln würde aber wohl noch mehr Flüssigkeit hindurch gegangen sein, wie sich aus der folgenden Beobachtung schliessen lässt.

Nachdem ich die Wichtigkeit des hinteren Epithels für die Filtration kennen gelernt hatte, wiederholte ich den Versuch in der Weise, dass ich vor Ablösung der Membran das hintere Epithel sorgfältig abpinselte, so dass dieselbe sicher ganz isolirt war.

Nun gingen bei noch geringerem Drucke Tröpfchen hindurch. Wenn die Membran durch ein übergedecktes trockenes Gläschen vor Verdunstung geschützt wurde, kamen feinste Tröpfchen schon bei 10—15 Mm. Druck; bei 28 Mm. auch ohne Schutz, aber bei gehinderter Verdunstung in grösserer Menge; bei 50 Mm. Druck war auch ohne Schutz die Filtration schon sehr reichlich. Durch Controle mit Berliner Blaulösung war auch hier eine Zerreissung der Membran sicher auszuschliessen.

Da bei den früheren Versuchen von Dr. Riesenfeld die Hornhaut mit Alkohol behandelt worden war, so habe ich versucht, ob dies etwa die anfänglich erhaltenen negativen Resultate erklären konnte. Es wurde die Hornhaut einen Tag lang in eine Mischung von gleichen Theilen starken Alkohol und Wasser gelegt und hierauf die Descemetsche Haut, möglichst ohne ihre Oberfläche zu berühren, abgelöst und aufge kittet, so dass die mit Epithel bedeckte Oberfläche gegen die Flüssigkeit ($\frac{1}{2}\%$ NaCl-Lösung mit etwas Berliner Blau gekehrt war. Ich erhielt aber eine ebenso starke Filtration bei demselben niedrigen Druck wie bei völliger

Entfernung des Epithels. Die nachherige Untersuchung zeigte, dass das Epithel sitzen geblieben war, aber zahlreiche kleine Lücken hatte. Die Alkoholbehandlung war also jedenfalls nicht die Ursache der früheren negativen Resultate, und es ist mir am wahrscheinlichsten, dass sich bei denselben — sie waren im Monat Juli angestellt — die Verdunstung in höherer Masse geltend machte. Es wurde damals nur ein grösseres Becherglas über die Membran übergestülpt, während jetzt durch ein unmittelbar auf die durchbohrte Glasplatte gelegtes Deckgläschen die Verdunstung viel sicherer verhütet werden konnte.

Ich habe es für überflüssig gehalten, die Versuche noch weiter zu variiren, da die bisher erhaltenen Resultate genügen, um darzuthun, dass die ihres Epithels beraubte Membrana Descemetii kein merkliches Hinderniss für die Filtration durch die Hornhaut abgeben kann.

Löst man von einer völlig frischen Hornhaut die Descemet'sche Haut ab, so dringt sofort sehr leicht Flüssigkeit in die Hornhaut ein und durch sie hindurch. Die Tunica propria quillt schon bei mässigem Drucke auf, verdickt und trübt sich, das vordere Epithel wird stellenweise gelockert, fängt an sich blasig abzuheben, und bei etwas stärkerem Druck kommen selbst an der noch mit Epithel bedeckten Oberfläche Tröpfchen hervor, noch rascher und deutlicher, wenn man das vordere Epithel entfernt hat.

Nichts auffallenderes als der Unterschied, den die zwei Hornhäute eines soeben getödteten Thieres bei diesem Versuch darbieten, deren eine man unter möglichster Schonung der Descemet'schen Membran und ihres Epithels mit dem vorderen Ende der Sclera auf eine Röhre gebunden hat, während bei der anderen vorher die Membr. Desc. abgezogen ist, was z. B. beim Kaninchen sehr leicht und fast in einem Zuge gelingt. Es genügte

bei dem letzterem Auge immer ein Druck von 50 Mm., zuweilen selbst 35 Mm., um Tröpfchen durchzupressen, bei ersterem Druck dauerte es nur wenige Minuten, bis die Erscheinung auftrat, mitunter sogar bei erhaltenem äusserem Epithel. Bei höherem Druck war die Filtration natürlich noch stärker, ebenso auch die Trübung und Quellung, während bei mässigem Druck die Trübung nicht immer stark ausgesprochen war.

Diese wiederholt mit dem gleichen Erfolg angestellten Versuche hielt ich Anfangs für eine vollkommene Bestätigung der Vorstellung, die ich mir früher über den Einfluss der Descemet'schen Membran gebildet hatte. Ich gelangte zu der richtigen Erklärung, dass es wesentlich das Epithel und nicht die Glashaut selbst ist, welche das Hinderniss für die Filtration abgibt, erst durch die Vergleichung des Verhaltens der frischen und der cadaverös veränderten Hornhaut und durch Nachdenken über die Ursache des auffallenden Unterschiedes, der zwischen beiden obwaltet.

Die cadaveröse Hornhaut, welche auf Druck Tröpfchen hervortreten lässt, ist offenbar gequollen, sie enthält mehr Flüssigkeit, als während des Lebens. Sie ist dicker als die frische Hornhaut, und die herauszupressende Flüssigkeit stammt nachweisbar zum Theil aus ihrem Gewebe. Dem gegenüber enthält die frische Hornhaut keine merkliche Menge freier Flüssigkeit. Weder entleert sich beim Einscheiden Flüssigkeit aus Hohlräumen ihres Gewebes, wenigstens nicht in für das blosse Auge merklicher Menge (Bowman*), noch lässt sich durch einfaches Auspressen der frischen Hornhaut Flüssigkeit gewinnen. (Coccius, Funke**.) Dagegen ist bekannt, dass die ausgeschnittene Hornhaut, in Flüssigkeit gelegt, aufquillt und an Gewicht zunimmt, und es geschieht dies

*) Lectures on the parts etc. p. 12.

***) Coccius, Ernährungsweise der Hornhaut etc. p. 24 u. 25.

selbst, in Humor aqueus. Coccius*), His**). Durch ihr bedeutendes Quellungsvermögen zieht die Hornhautsubstanz aus dem Humor aqueus Wasser an und hält dasselbe bis zu einem gewissen Grade zurück. Während aber das Wasser von der frischen Hornhaut so fest zurückgehalten wird, dass man durch mechanischen Druck keine merkliche Menge davon gewinnen kann, gibt die gequollene Hornhaut die überschüssige Flüssigkeit schon bei geringem Drucke wieder her. Vermuthlich wird die Flüssigkeit von ihr um so weniger fest gehalten, je mehr sie bereits davon aufgenommen hat. Ist sie durch Druck von einem Theile derselben befreit, so vermag sie bei Nachlass des Druckes wieder eine neue Quantität aufzunehmen und so fort. Treffend hat His dieses Verhalten mit dem eines gepressten Schwammes verglichen.

Es kann also nicht auffallen, dass die gequollene Hornhaut auf Druck Tröpfchen an ihrer Oberfläche hervortreten lässt. Wir dürfen uns aber, dem Gesagten zufolge, die Hornhaut bei diesem Vorgange nicht als rein passiv vorstellen, sondern es ist dabei ihr Quellungsvermögen wesentlich mit zu berücksichtigen. Wenn Flüssigkeit unter einem gewissen Druck gegen die Hornhaut gepresst wird, so dringt sie zunächst, wenn keine Widerstände entgegenwirken, in ihr Gewebe ein und wird vorläufig darin festgehalten. Ist die Menge der in die Hornhaut eingedrungenen Flüssigkeit nur gering und der Druck niedrig, so wird vielleicht gar Nichts davon nach aussen gelangen; je mehr Flüssigkeit aber die Hornhaut schon aufgenommen hat und je höher der

*) loc. cit. p. 27.

***) Beitr. z. norm. und path. Histol. d. Corn. p. 24. (enthält eine recht genaue Versuchsreihe über die Quellung der Hornhaut in Humor aqueus).

Druck ist, um so mehr wird in Tröpfchenform nach aussen hindurchgepresst.

Die Flüssigkeitsmenge, welche die Hornhaut zurückhalten kann, muss streng genommen um so kleiner sein, je höher der Druck, wie ein gepresster Schwamm unter Wasser weniger Flüssigkeit enthält, als ein nicht gepresster. Vermuthlich sind aber die hier vorkommenden Druckkräfte gegenüber den molecularen Kräften, die bei der Hornhautquellung in Wirksamkeit treten, nur unerheblich; wenigstens lässt sich dies daraus folgern, dass die auf eine Röhre gebundene Hornhaut, wie auch His angibt, selbst bei noch so starkem Druck immer noch sehr erheblich aufquillt.

Man kann dies auch folgendermassen ausdrücken. Ehe die Hornhaut Flüssigkeit nach aussen abgeben kann, muss sie selbst damit einigermassen gesättigt sein, wie ein Gefäss erst dann überläuft, wenn es bis zum Rande gefüllt ist. Das Quantum, bei welchem diese Sättigung der Hornhautsubstanz eintritt, wird vom Drucke abhängig sein, d. h. die Sättigung wird bei höherem Druck früher erreicht, als bei niederem; wahrscheinlich werden aber die Unterschiede in Wirklichkeit nur gering sein.

Ist die Hornhaut annähernd gesättigt, so wird für eine gewisse Menge in ihre Substanz eingetriebener Flüssigkeit eine ebenso grosse Menge nach aussen treten, sie verhält sich dann ähnlich, wie ein einfacher poröser Körper. Die Sättigung braucht aber noch nicht vollkommen erreicht zu sein, wenn die Filtration beginnt und die Quellung schreitet daher auch längere Zeit nachher noch weiter fort.

Die Erscheinungen an der cadaverösen Hornhaut stimmen also ganz mit den Folgerungen, die sich aus dem Quellungsvermögen der Hornhautgrundsubstanz ableiten lassen, überein. Während des Lebens und unmittelbar nach dem Tode findet aber nicht das Gleiche

statt, und dies ist der wesentliche Punkt, welcher jetzt noch der Erklärung bedarf. Die lebende Hornhaut, weit entfernt, aus dem Humor aqueus Wasser anzuziehen, thut dies nicht, ebenso wenig, als die Krystalllinse. Sie behält ihre Dicke und Durchsichtigkeit unverändert, ohne dass sie doch das Maximum von Flüssigkeit in ihrer Substanz aufgenommen hat, dessen sie überhaupt fähig ist.

Dies nöthigt zu der Annahme, dass während des Lebens irgend welche Widerstände vorhanden sind, welche den Uebertritt von Flüssigkeit in die Hornhaut hindern, aber nach dem Tode wegfallen.

Da die Quellungsfähigkeit von der chemischen Beschaffenheit der Hornhautgrundsubstanz abhängt, so ist nicht daran zu denken, dass diese Eigenschaft während des Lebens nicht vorhanden sei, sondern erst nach dem Tode auftrete.

Auch in der Existenz des Augendruckes, der nach dem Tode aufhört, kann das Hinderniss für die Quellung nicht gesucht werden. Wenn ein Druck von über 200 bis 300 Mm. Hg. die Hornhautquellung nicht verhindert, so wird der 10 mal geringere physiologische Augendruck noch weit weniger im Stande sein, dies zu thun.

Bei Ueberlegung aller Möglichkeiten schien mir nur das hintere Hornhautepithel übrig zu bleiben, das nach dem Tode unzweifelhaft noch viel rascher cadaverös verändert wird und abfallen muss, als das vordere Epithel.

Wenn sich nachweisen liess, dass in den Versuchen, wo nach Entfernung der Membr. Desc. Hornhautquellung eintrat, die Ursache in der gleichzeitigen Entfernung des hinteren Epithels gesucht werden musste, so war der Unterschied im Verhalten der lebenden und todten Hornhaut erklärt.

Diese Vermuthung war um so mehr gerechtfertigt, als nach Laqueur's Versuchen (S. 132), das vordere Epithel in gleicher Weise die äussere Fläche der Hornhaut vor Quellung schützt, worauf ich weiter unten zurückkomme, und als auch sonst den Epithelien eine ähnliche Rolle zukommt. Der Versuch hat nun diese Voraussetzung in überraschender Weise bestätigt.

Einfaches Abpinseln des hinteren Epithels hat ganz dieselbe Wirkung wie die vollständige Entfernung der Descemet'schen Membran. Ich habe den Versuch zwei Mal, jedesmal an dem einen Auge eines frisch getödteten Kaninchens, während das andere zur Controle diente, mit ganz demselben Erfolg angestellt.*)

Bei dem ersten Versuch trat bei 50 Mm. Hg. Druck schon nach wenigen Minuten eine Trübung der Hornhaut auf, am stärksten im vorderen Epithel, geringer in der Hornhautgrundsubstanz. Die Trübung nahm in der ersten halben Stunde erheblich zu und nach Entfernung des stark durchfeuchteten Epithels bedeckte sich sofort die epithelfreie Stelle mit Tröpfchen, die allmählig grösser wurden, confluirten und sich immer wieder erneuerten, nachdem man sie abgewischt hatte. Die andere Hornhaut war völlig klar geblieben und ihre Oberfläche nicht befeuchtet.

Bei dem anderen Versuch wurde das vordere Epithel beider Augen im Centrum gleich anfangs entfernt und bei nur 23 Mm. Hg. Druck kam an dem Auge, dessen hinteres Epithel abgepinselt war, nach 15 Minuten am Rande der Epithellücke Flüssigkeit vor, Tröpfchen sofort bei Steigerung auf 50 Mm., später über die ganze Oberfläche sehr reichlich. Sonst verhielt sich dieses Auge wie bei dem vorigen Versuch.

*) Auch seit der Abfassung dieser Zeilen habe ich den Versuch noch mehrmals mit dem nämlichen Ergebniss wiederholt.

Am anderen Auge mit intactem hinterem Epithel blieb die Hornhaut klar und unbefeuchtet, bis der Druck zuletzt auf 110 Mm. gesteigert wurde. Hier traten nach einiger Zeit zwei ziemlich schief umschriebene Flecke auf der Hornhaut auf, an welchen das vordere Epithel gelockert und trübe war und auch einige grössere Tröpfchen hervorkamen. Die centrale Lücke im vorderen Epithel war dagegen von Tröpfchen frei.

Es wurde daher auf das Verhalten des Descemetischen Epithels an diesem Auge besonders geachtet. Durch vorsichtige Behandlung mit verdünnter Silberlösung liess sich nachweisen, dass genau in der Ausdehnung dieser Flecke das hintere Epithel fehlte. Bei den anderen Augen wurde auf dieselbe Weise die vollständige Entfernung des Epithels, sowie die Integrität der Descemetischen Membran festgestellt.

Dass bei diesen Versuchen das vordere Epithel, wo es erhalten war, die Filtration nicht verhinderte, wird weiter unten (S. 181) seine Erklärung finden.

Die zuletzt angeführte Beobachtung veranlasste mich, weiter zu versuchen, ob sich wirklich ein localer Einfluss des hinteren Epithels auf die davon bedeckte Stelle der Hornhaut geltend macht. Es wurde bei einem Kaninchenauge das hintere Epithel vorsichtig in Gestalt eines Kreuzes abgestreift; nach einiger Zeit trat bei dem Filtrationsversuch auf der von Epithel befreiten äusseren Fläche ein aus feinen Tröpfchen gebildetes Kreuz hervor, dessen einer Schenkel allein etwas unvollständig blieb. Die nachher vorgenommene Untersuchung ergab, dass der Defect des hinteren Epithels fast genau die beabsichtigte Form hatte, sich aber an einer Seite nicht so weit nach dem Rande hin erstreckte, als an den übrigen. Auch hier war die Membr. Desc. selbst ganz unversehrt.

Bei grösseren Augen, vom Kalbe, habe ich selbst

einen etwas complicirteren Buchstaben (W) auf diese Art durch die Hornhaut hindurchschreiben können.

Es wäre nun noch zu versuchen gewesen, wie sich die frisch isolirte Descemet'sche Haut, deren Epithel sorgfältig erhalten ist, bei dem Filtrationsversuche verhält. Ich habe dies bisher nicht versucht, da die experimentellen Schwierigkeiten mir zu gross schienen. Es lässt sich auch kaum erwarten, dass der Versuch ein eindeutiges Resultat liefert. Dies würde nur der Fall sein, wenn die Filtration ganz ausbliebe; ein positives Resultat könnte immer noch dadurch erklärt werden, dass das Epithel durch cadaveröse Veränderungen die specifische Eigenschaft, um die es sich hier handelt, verloren habe.

Eher dürfte der Versuch mit der vorderen Linsenkapsel gelingen, die ja in so vielen Punkten mit der Membr. Descemetii übereinstimmt und für welche Meissner schon gefunden hat, dass ihr Epithel die Diffusion verhindert.*)

Indessen scheinen mir die mitgetheilten Versuche den Einfluss des hinteren Epithels der Hornhaut auf die Filtration wenigstens am todten Auge hinreichend zu beweisen.

Es erklärt sich nun sehr einfach, warum die Hornhaut nach dem Tode im Kammerwasser aufquillt, und Flüssigkeit durchlässt, während sie dies im Leben nicht thut. Das hintere Epithel, welches sie während des Lebens am Aufquellen hindert, geht nach dem Tode allmählig verloren und nun kommt das Quellungsvermögen der Hornhautgrundsubstanz zur Geltung.

*) Vergl. Meissner's Jahresb. d. Physiol. f. 1868. Zeitschr. f. rat. Med. 3. XXXV. S. 269. Meissner gibt hier an, dass erst mit dem Abfallen des durch die Reagentien veränderten Epithels der Linsenkapsel der Zusammentritt von Blutlaugensalz und Eisenchlorid beginnt.

Es handelt sich hier, wie es scheint, um einen cadaverösen Vorgang, der analog ist dem nach dem Tode erfolgenden Austritt gewisser Secrete aus ihren natürlichen Behältern, z. B. der Galle aus ihrer Blase, welcher gleichfalls und gewiss mit Recht auf den Verlust des Epithels bezogen wird.

Ferner erklärt sich jetzt die mangelhafte Uebereinstimmung der Filtrationsversuche mit der frischen Hornhaut, wenn dieselbe das eine Mal auf eine Röhre aufgebunden, oder wenn das andere Mal eine Canule in die vordere Kammer oder in den Glaskörperraum eingeführt wird; es erklärt sich die Nothwendigkeit, die Descemet'sche Membran bei den Versuchen so sorgfältig zu schonen etc. In allen den Fällen, wo schon bei etwas geringem Druck Filtration eintrat, war die Möglichkeit einer Verletzung des hinteren Epithels vorhanden und eine theilweise Verletzung sogar wahrscheinlich.

Ueberdies zeigt sich bei den Versuchen noch eine höchst merkwürdige locale Beziehung der einzelnen Theile des hinteren Epithels zu den anliegenden Theilen der Hornhautgrundsubstanz. Dieselbe beweist meines Erachtens gleichfalls, dass wir es hier mit einer physikalischen Erscheinung, mit Quellung zu thun haben.

Die Quellung muss natürlich an der Stelle am stärksten sein, welche direct mit der Flüssigkeit in Berührung kommt und wird von da allmähig abnehmen.

Da die Erscheinung von der chemisch-physikalischen Beschaffenheit und nicht von der histologischen Textur der Hornhaut abhängt, so liegt kein Grund vor, anzunehmen, dass sie sich nach der Dicke erheblich langsamer verbreite, als nach der Fläche; die Quellung wird also bald die geringe Dicke der Hornhaut durchsetzt haben, während sie sich nach der Fläche noch wenig ausgedehnt hat. Der normal zur Hornhautoberfläche

wirkende Druck muss natürlich eher die Verbreitung in in dieser Richtung begünstigen.

Wenn wir indessen sicher berechtigt sein sollen, diese Versuchsergebnisse beim Lebenden zu verwerthen, um daraus weitere Schlüsse zu ziehen, so muss noch der directe Nachweis geliefert werden, dass auch während des Lebens die Entfernung des hinteren Epithels eine auf Quellung beruhende Hornhauttrübung zur Folge hat. Auch diesen Nachweis bin ich im Stande zu liefern.

Mein erster Versuch, einen grösseren Hornhautlappen beim Kaninchen zu bilden, denselben umzuklappen und an der Innenfläche das Epithel abzapfeln, führte nicht zum Ziel. Es trat zwar keine Vereiterung ein, aber der Lappen stand erheblich ab, die Wunde klaffte und es erfolgten sehr bald starke Fibrinausscheidungen in der vorderen Kammer, später auch entzündliche Trübung, welche die Beobachtung vereitelten.

Ich erreichte dagegen meinen Zweck auf folgende Weise. Es wurde ein kleines, scharfes Häkchen mittelst einer drehenden Bewegung durch die Hornhaut in der Nähe des einen Randes eingebohrt und nun durch die vordere Kammer parallel der Irisebene bis über den gegenüberliegenden Pupillarrand vorgestossen. Indem ich nun den stumpfen Bogen des Häkchens gegen die Hinterfläche der Hornhaut andrückte und hin und her bewegte, war ich sicher, das hintere Epithel in einer gewissen Ausdehnung zu zerstören, ohne die Linsenkapsel zu verletzen. Es wurde nun das Häkchen auf demselben Wege wieder entfernt, wobei sich natürlich das Kammerwasser grösstentheils entleerte. In drei Versuchen erhielt ich nun ganz das erwartete Resultat, eine bedeutende Trübung und Quellung der Hornhaut, entsprechend der Verletzung des hinteren Epithels; die entzündlichen Erscheinungen waren so gering und gingen

so bald zurück, dass eine Keratitis als Ursache der Trübung mit Sicherheit auszuschliessen war.

Zum Beweise will ich den einen dieser Versuche etwas ausführlicher mittheilen.

Versuch über den Einfluss des hinteren Epithels auf die lebende Hornhaut.

Grosses schwarzes Kaninchen.

3 Uhr 45 Min. Nachmittags am rechten Auge hinteres Epithel mit dem Häkchen (ohne zu kratzen) nach vorn von der Mitte und der Pupille gegenüber abgestreift. Kammerwasser fliesst beim Herausziehen des Häkchens grösstentheils ab.

4 Uhr an der am stärksten verletzten Stelle nach vorn eine leichte Trübung der Hornhaut. Nur geringe Reizung des Auges.

4 Uhr 20 Min. Schon sehr erhebliche Trübung in der ganzen Ausdehnung der verletzten Stelle; kaum mehr eine Reizung des Auges zu bemerken.

5 Uhr 30 Min. Trübung hat wenig zugenommen.

Am folgenden Tage.

10 Uhr Morgens. Trübung, besonders nach vorn, viel stärker, von bläulich weisser Farbe, Rand der Pupille gerade noch hindurch zu erkennen. Auge wird frei geöffnet, zeigt nur eine geringe Injection der Randgefässe der Hornhaut. Hornhautperipherie mit Ausnahme eines kleinen weissen Fleckchens an der Punktionsstelle völlig klar.

3 Uhr 45 Min. Nachm. Trübung hat noch zugenommen, so dass von vorn und oben her, wo sie am stärksten ist, der Pupillarrand kaum hindurchschimmert. Auch an der Punktionsstelle hat sich eine stärkere, etwas weiter verbreitete Trübung entwickelt. Die Hyperämie der Randgefässe ist ziemlich zurückgegangen, die übrige Hornhautperi-

perie noch immer klar. Iris und Linse unverändert, auch war in der vorderen Kammer von Anfang an keine Spur von Fibrinausscheidung aufgetreten. Das Auge wird nun vorläufig sich selbst überlassen und am linken Auge desselben Thieres der Versuch wiederholt.

- 3 Uhr 50 Min. Nachm. Linkes Auge ebenso behandelt, wie das rechte, aber das Epithel mehr gegenüber der Pupille zu entfernen gesucht und das Häkchen etwas stärker gegen die Hinterfläche der Hornhaut angedrückt.
- 4 Uhr 20 Min. Schon bedeutende Trübung in der Hornhautmitte, Randgefäße nur wenig injicirt.
- 5 Uhr 15 Min. Trübung in der ganzen Ausdehnung der verletzten Stelle, so stark, dass man den Pupillarrand nur mit Mühe hindurch erkennt. In der vorderen Kammer kein Gerinnsel. Keine Reizung des Auges.

Am folgenden Tag:

- 12 Uhr Mitt. Intensive bläulich weisse Trübung in der Hornhautmitte, die an der intensivsten Stelle jetzt den Pupillarrand völlig verdeckt. Die Peripherie ist klar geblieben. Gefäße kaum injicirt.

Das linke Auge wird nun enucleirt und frisch untersucht. Die Hornhaut wird mit der grössten Vorsicht, um das hintere Epithel nicht weiter zu verletzen, ihre hintere Fläche nach oben, auf einer schwarzen Glasplatte ausgebreitet. Die Trübung zeigt sich nun sehr intensiv und ziemlich scharf begrenzt, von rundlicher Gestalt. Sie geht durch die ganze Dicke hindurch.

Schon von der Fläche her bemerkt man eine starke Verdickung der getrüben Stelle, auf dem Durchschnitt zeigt sich die Hornhaut daselbst im Vergleich mit der ungetrüben Randzone auf das dreifache verdickt. Unter dem Mikroskop erkennt man (an der frisch, in

toto untersuchten Hornhaut) sofort, dass die Trübung nicht durch Anhäufung von Eiterkörperchen bedingt ist, wie bei Keratitis, sondern durch Quellung der Hornhautgrundsubstanz. Es sind an dieser Stelle die Hornhautkörperchen nicht oder nur hie und da schwach angedeutet zu sehen, dagegen zeigt sich eine deutlichere fibrilläre Streifung, entsprechend den Fibrillen der Hornhautgrundsubstanz, die sich in der bekannten gitterförmigen Weise überlagern, aber gröber und wie gequollen aussehen.

Sehr scharf hebt sich nun der für das blosse Auge nicht getrübe Theil der Hornhaut davon ab; hier sind schon von Anfang an die sternförmigen Hornhautkörperchen zu sehen und treten nach kurzem Zuwarten sehr deutlich bis in ihre feineren Verzweigungen hervor, viel rascher als dies bei der unveränderten Hornhaut zu geschehen pflegt. Die fibrilläre Streifung ist hier gar nicht oder nur sehr wenig sichtbar.

Ueber den Verzweigungen der Hornhautkörperchen sieht man, anfangs nur schwach angedeutet, die Contouren der Zellen des hinteren Epithels. Erst nach einigem Zuwarten werden dieselben deutlicher; in der Ausdehnung, wo die Hornhaut die erwähnte fibrilläre Beschaffenheit hat, fehlen sie aber vollständig und kommen auch nachträglich nicht zum Vorschein. Die Grenze beider Abschnitte wird gebildet durch eine eigenthümliche feinkörnige Trübung des Epithelrandes, welche gleich von vorn herein sichtbar ist. Dass Fehlen und Erhaltensein des Epithels und die geschilderte Verschiedenheit der Hornhautgrundsubstanz sich genau entsprechen, erkennt man besonders an dieser Grenze, welche stellenweise unregelmässig und ausgebuchtet ist.

An einer kleinen Stelle war überdies die Descemetsche Membran selbst verletzt, aber lange nicht so

weit als die Trübung reichte und es war auch die letztere daselbst nicht merklich stärker.

Die Intactheit des Epithels in der ganzen Hornhautperipherie und das Fehlen desselben im Centrum wurde nachträglich durch Behandlung mit Silberlösung, welche die Zellencontouren als schwarze Linien zur Anschauung brachte, noch deutlicher und schärfer nachgewiesen.

Nur in der Nähe des Hornhautrandes, wo keine für das blosse Auge sichtbare Trübung bestand, waren die Lymphkörperchen in etwas grösserer Menge als im normalen Zustand durch das Gewebe zerstreut. Zwischen dieser Zone und der centralen Trübung war aber noch ein breiter Ring von Eiterkörperchen völlig frei.

An der Punktionsstelle, wo die Descemetsche Haut in der Ausdehnung der Trübung abgelöst und zusammengerollt war, fand sich sowohl die von Quellung abhängige Trübung als auch Einlagerung von Eiterkörperchen, letztere besonders im Stichcanal. Das vordere Epithel schien sich gleichfalls etwas an der centralen Trübung zu betheiligen und die Zellen seiner tieferen Schichten in ihrer Substanz oder zwischen sich feine helle Tröpfchen zu enthalten, die in der Hornhautperipherie fehlten.

Ganz dasselbe Resultat hatte ich schon bei dem ersten von mir angestellten Versuche an einem albinotischen Kaninchen erhalten. Nur trat hier die Hornhauttrübung auf dem hellen Grunde der weissen Iris und der rothen Pupille im Leben nicht so stark hervor, als am Präparat, nachdem die ausgeschnittene Hornhaut auf einer schwarzen Glasplatte ausgebreitet war. Die Trübung war hier ungefähr so stark, als bei dem rechten Auge des vorigen Versuchs, die Dicke an der getrübten Stelle war die doppelte der normalen. Anfangs war auch etwas Entzündung aufgetreten, das Auge war mehr gereizt, in der Pupille nach einigen Stunden ein flockiges

Gerinnsel, das sich später mehr und mehr zusammenzog, und leichtes Oedem der Bindehaut.

Schon am folgenden Tag war aber die Reizung vorüber, das Auge nur sehr wenig injicirt und das Gerinnsel noch mehr zusammengezogen, die Hornhautperipherie, abgesehen von der Punktionsstelle, völlig klar.

Die Section ergab genau denselben Befund wie oben, ausser dem Gerinnsel, das mit einem Ende an der Punktionsstelle der Hornhaut festsass. Die fibrilläre Streifung der Hornhautsubstanz an der getrübbten Stelle trat hier noch deutlicher hervor; die Membr. Descemetii selbst war unverletzt.

Am rechten Auge des schwarzen Kaninchens, welches sich selbst überlassen blieb, war nach 3 Tagen die Trübung der Hornhaut schon fast verschwunden, 14 Tage nachher war Nichts mehr davon nachweisbar, als ein kleiner weisser Fleck an der Stelle des Einstichs. Die mikroskopische Untersuchung des Auges wies ein continuirliches Epithel an der ganzen hinteren Hornhautfläche nach, dessen Zellen nur an einer Stelle weniger regelmässig angeordnet waren. Die durchsichtige Hornhautsubstanz bot histologisch Nichts abnormes mehr.

Die durch Verletzung des hinteren Epithels bedingte Quellung und Trübung der Hornhaut bildet sich daher rasch zurück, wenn das hintere Epithel sich regenerirt hat.

In einem dritten Versuch, der im Uebrigen ganz dasselbe Resultat gab, wollte ich prüfen, ob an der getrübbten Stelle der Hornhaut auch, wie nach dem Tode, Tröpfchen hervorkämen, erhielt aber kein unzweifelhaftes Resultat.

Die Trübung war 6 Stunden nach der Abstreifung des hinteren Epithels schon ziemlich stark, nahm aber am linken Auge bis zum folgenden Tage nicht zu, am

rechten war sie sogar bedeutend geringer geworden. Die Verletzung des hinteren Epithels scheint daher nicht sehr ausgiebig gewesen zu sein. Die Beobachtung der Hornhautoberfläche wurde am ersten Tage links am luxirten Bulbus, rechts mit Lidhalter ausgeführt; es kamen keine Tröpfchen, nur trat am linken Auge nach Entfernung des vorderen Epithels in der Hornhautmitte 4 Minuten nachher eine leichte Befeuchtung am Rande der Epithellücke auf (ohne Schutz vor Verdunstung) am folgenden Tag, wo die ganze Veränderung schon rückgängig zu sein schien, wurde auch bei Schutz vor Verdunstung am linken Auge nur ein sehr zweifelhaftes Resultat erhalten.

Auffallend war am ersten Tage, dass die Trübung der Hornhaut schon bei ganz geringem Druck auf den Bulbus erheblich zunahm, um bei Nachlass des Druckes sofort wieder zu verschwinden. (Vergl. S. 144.) Am folgenden Tage musste man am rechten Auge (wo die Trübung bedeutend geringer geworden war) schon sehr stark drücken, um die Erscheinung hervorzurufen; bei mässigem Druck blieb die Zunahme der Trübung aus.

Trotzdem halte ich es für möglich, dass man auch diese Erscheinung am Lebenden wird hervorrufen können, da ihr Ausbleiben bei dem letzten Versuch auf ungenügende Verletzung des hinteren Epithels geschoben werden kann, bei welcher sämtliche übertretende Flüssigkeit in der Hornhautsubstanz zurückgehalten wurde.

Man wird es daher auch, trotzdem der letzte Versuch nicht gelungen ist, keinesfalls bezweifeln können, dass das hintere Epithel der Hornhaut die an ihm beobachtete höchst merkwürdige Function auch während des Lebens ausübt.

Dasselbe ist demnach Bedingung für das Erhaltenbleiben der Durchsichtigkeit der Hornhaut, indem es sie vor der schädlichen Ein-

wirkung des Kammerwassers schützt. Weit entfernt, dass während des Lebens der Humor aqueus die Hornhaut in reichlicher Menge durchdringt, ist es für ihre Durchsichtigkeit geradezu nothwendig, dass dies nicht geschieht.

Es ist von Interesse, dass diese Funktion schon von Demours der nach ihm und Descemet benannten Membran zugeschrieben wurde, ohne dass er freilich den directen Beweis dafür liefern konnte.*)

Man braucht sich jedoch keineswegs vorzustellen, dass das hintere Epithel für wässrige Flüssigkeiten völlig undurchgänglich sei, es genügt die Annahme, dass es den Filtrationsstrom von der Hornhaut abhält und die Hornhaut hindert, sich völlig mit Flüssigkeit zu sättigen.

Man dürfte hier den Einwand erheben, dass die dünne Schicht des hinteren Epithels unmöglich so bedeutenden Kräften, wie sie bei der Hornhautquellung wirksam werden, Widerstand leisten könnte. Der Widerstand, den die Anziehung der Hornhautsubstanz gegen Wasser überwindet, kann, wie oben (S. 139) angegeben, bis 560 Mm.

*) Lettre de M. Demours à M. Petit en réponse à sa critique d'un rapport sur une maladie de l'oeil survenue après l'inoculation de la petite-vérole, contenant de nouvelles observations sur la structure de l'oeil etc. Paris 1867. p. 19 ff. :

„Quant à ceux (les usages) de la membrane qui revêt la concavité de la cornée, ils me paraissent très-importans . . . La cornée les animaux terrestres plongée pendant plusieurs heures dans l'eau, y devient plus épaisse par l'introduction des parties aqueuses qui l'insinuent entre ses fibres. Elle est très-susceptible de macération et quelque limpide que soit l'eau dans laquelle on l'a fait tremper, sa transparence en est toujours altérée. Que deviendrait donc cette membrane, dont la face postérieure est constamment baignée par l'humeur aqueuse, . . . si l'auteur de la nature ne l'avoit mise à l'abri des inconvénients de la macération en la fortifiant par sa face concave d'une lame qui ayant la consistance d'un cartilage sans en avoir l'opacité, est par conséquent très-propre à résister à l'action de cette liqueur?“

Hg. betragen. Indessen muss man beachten, dass die Anziehung der normalen, nicht im Eintrocknen begriffenen Hornhaut gegen Wasser sehr viel geringer sein muss, da sie schon bei 20—30 Mm. Hg Druck Flüssigkeit hindurchlässt (wenn das hintere Epithel entfernt ist). Ausserdem müssen es natürlich auch Kräfte derselben Art sein, wie die der Hornhautquellung, durch welche der hindernde Einfluss des Epithels zu Stande kommt.

Die genauere Erklärung dieser Eigenschaft des Epithels müsste Gegenstand einer besonderen Untersuchung sein. Sie muss wohl von den Lebenseigenschaften der Zellen abhängen, da sie nach dem Tode allmählig verloren geht, doch schien es, als ob sie mit dem Absterben der Zellen nicht gleich völlig aufgehoben werde und als ob noch weitere cadaveröse Veränderungen resp. gänzliche Zerstörung der Zellen zum völligen Wegfall des Schutzes nöthig seien.

Ich kann hier schon darauf hinweisen, dass auch das vordere Epithel sich ganz ähnlich verhält, (s. unten S. 179 ff.) Ueberhaupt setzen lebende Zellen dem Eindringen von diffusionsfähigen Stoffen einen gewissen Widerstand entgegen. Es geht dies u. A. aus ihrem Verhalten gegen Carminlösung (Gerlach) und aus den Erfahrungen bei der Imprägnation der Hornhaut (negative Bilder der Hornhautkörperchen) hervor;*) ferner aus dem schon oben citirten Zurückhalten der Secrete in ihren natürlichen Behältern während des Lebens und dem Austritte dieser Flüssigkeiten (Harn, Galle, Darm- und Mageninhalt etc. nach dem Tode. Ich erinnere hier namentlich an die Versuche von Ranke und Halénke**), (auf die ich erst nach Abschluss dieser ganzen Unter-

*) Vgl. Th. Leber, Zur Kenntniss der Imprägnationsmethoden der Hornhaut und ähnlicher Gewebe. Arch. f. Ophth. XIV. 3, S. 314.

**) J. Ranke. Die Lebensbedingungen der Nerven. Leipzig 1868. S. 88 ff.

suchung aufmerksam wurde), nach welchen das lebende Epithel der Verdauungsschleimhäute physiologisch-indifferenten Flüssigkeiten die Filtration nicht gestattet. Dagegen tritt Filtration ein, wenn das Epithel verletzt oder abgeschabt ist oder wenn nicht das Epithel, sondern die abgelöste Schleimhautfläche der filtrirenden Flüssigkeit zugekehrt wird. Letzteres erklärt sich durch die Entstehung zahlreicher kleiner Lücken im Epithel in Folge der Dehnung. Aehnliche Unterschiede der beiden Membranflächen haben schon früher Matteucci und Cima bei Diffusionsversuchen, W. Schmidt bei Filtration durch Blase und Darm beobachtet. Hierher gehören auch die Versuche von Küss und von Susini über die Undurchgängigkeit des Blasenepithels während des Lebens und die schon citirte Notiz von Meissner über den Einfluss des Epithels der Linsenkapsel auf die Diffusion. Die profuse Absonderung der Darmschleimhaut bei der Cholera wird von Ranke auf den Verlust der Epithelien bezogen; manche Thatsache spricht auch dafür, dass Albuminurie durch Zerstörung des Epithels der Harnkanälchen entsteht, und so fort.

Es scheint sich also um eine sehr allgemeine und fundamentale Eigenschaft vieler Zellen, insbesondere der Epithelien und der epithelartigen Zellen zu handeln.

Diese Erfahrungen liefern nun auch den Schlüssel zu einigen anderen Beobachtungen, die bis dahin unerklärt geblieben waren.

Das Verhalten der entblössten Hornhaut gegen Kammerwasser stimmt mit dem längst bekannten Verhalten der Linsensubstanz, welche in directer Berührung mit Humor aqueus quillt und sich trübt, in auffallender Weise überein.

Beide sind während des Lebens von einer mit ganz ähnlichem Epithel bekleideten Glashaut vom Kammer-

wasser geschieden. Was liegt näher, als die Annahme, dass auch die Linsensubstanz durch das Kapselepithel vor der Einwirkung des Humor aqueus geschützt werde? Hier, wo es sich nicht um Filtration, sondern um Diffusion von Wasser in die Linsensubstanz hinein handelt, bedingt durch den Unterschied in der chemischen Zusammensetzung zwischen ihr und dem Humor aqueus, ist es ohne Beweis klar, dass die Kapsel allein dafür kein Hinderniss abgeben kann. Die Entstehung der traumatischen Cataract nach Verletzung der Linsenkapsel wäre demnach so zu erklären, dass dabei immer die schützende Epithelschicht mit verletzt wird und nun die Linsensubstanz im Kammerwasser aufquillt.

Die von mir am lebenden Auge nachgewiesene Hornhauttrübung durch Quellung ist auch vielleicht berufen, uns noch manche bisher dunkle pathologische Vorgänge zu erklären. Man wird in Zukunft nicht mehr jede nach Verletzung der Hornhaut oder nach Operationen auftretende Trübung schlechthin für entzündlichen Ursprungs halten können.

Selbst von der Trübung bei eitriger Keratitis mag ein Theil auf die gleichzeitige Quellung der Hornhaut zu beziehen sein. Dass die Grundsubstanz dabei eine Quellung erfahren kann, scheint mir aus der im Verhältniss zur Menge der Eiterkörperchen oft starken Dickenzunahme der Hornhaut hervorzugehen, ferner aus dem Umstande, dass \bar{A} viel stärker auf die Grundsubstanz im Bereich einer eitrigen Infiltration wirkt, als auf die der normal gebliebenen Theile der Hornhaut. Sie erklärt sich leicht, da bei der acuten Entzündung, wie dies auch Cohnheim mit Recht betont, nicht allein körperliche Elemente, sondern auch seröse Flüssigkeit aus den Blutgefässen in die Umgebung austritt. Zunächst wird dieselbe die Saftkanälchen der

Hornhaut ausfüllen und ausdehnen, weiterhin aber das Gewebe der Grundsubstanz imbibiren und aufquellen machen.

Wichtig ist in dieser Beziehung gewiss das schon lange bekannte bedeutende Quellungsvermögen der Hornhaut; die durch die Quellung bedingte Erweichung der Grundsubstanz muss gewiss die Widerstände gegen das Eindringen körperlicher Elemente erheblich vermindern und erklärt so die grosse Neigung der Hornhaut zu eitriger Infiltration.

Sollte nicht im Gegentheil die durch klinische Thatsachen immer mehr bestätigte geringere Tendenz der Sclera zu progressiver Eiterung sich wenigstens theilweise auf die entgegengesetzte Ursache, auf geringere Quellungsfähigkeit ihrer Substanz zurückführen lassen. Chevreul fand, dass 100 Grammes Hornhaut 461 Ccm. Wasser und 370 Ccm. Salzwasser durch Quellung aufnehmen, dagegen die der Sclera so nahe stehenden Sehnen nur resp. 178 und 114 Ccm. Donders gibt an, dass senkrechte Schnitte leicht getrockneter Hornhäute nach 16 Minuten in destillirtem Wasser 13 bis 14 mal breiter wurden; während die Sclerotica nur etwas mehr als die dreifache Breite annahm.

Es würde von grossem Interesse sein, von diesem Gesichtspunkte aus die Cornea und Sclera aufs Neue der Vergleichung zu unterwerfen.

Bei Verletzungen muss natürlich an Quellung durch Eindringen von Flüssigkeit von aussen her gedacht werden, dasselbe kann auch bei Geschwüren sich geltend machen. Indessen würde auch bei spontanen Entzündlichen ohne Substanzverlust und selbst bei manchen bleibenden Trübungen an einen etwaigen Einfluss der Quellung zu denken sein. Obwohl bei meinen Versuchen die Trübung wieder rasch zurückging, könnte in anderen Fällen durch besondere Umstände die Quellung fortbestehen.

Mit unserem jetzigen Standpunkte werden sich auch einige pathologische Beobachtungen, die, so viel ich finde, zuerst H. Lehmann*) und v. Ammon**) zu Gunsten der Ernährung der Hornhaut durch das Kammerwasser angeführt haben, und die mir Herr Prof. Arlt auf dem Heidelberger Congress entgegengehalten hat, ungezwungen vereinigen lassen, soweit dies ohne genaue anatomische Untersuchungen überhaupt möglich ist. Es handelt sich um die Trübungen in den tiefen Schichten der Hornhaut, welche man nach iritischen Beschlägen an ihrer hinteren Fläche und besonders prägnant nach Vorfall der Linse in die vordere Kammer, wenn dieselbe mit der Hinterfläche der Hornhaut in Berührung kommt, entstehen sieht. Jene Autoren erklärten diese Trübungen durch die Annahme, dass das Kammerwasser an der Stelle der Auflagerung von der Hornhaut abgehalten werde, worauf daselbst eine Störung der Ernährung und locale Trübung eintrete. (Aehnliche Beobachtungen von iritischen Auflagerungen mit derselben Erklärung liegen auch von der Linse vor.)

Eine sichere Erklärung dieser Hornhauttrübungen wird erst dann möglich sein, wenn wir genauere anatomische Untersuchungen der Fälle besitzen.

Dass Mangel des Kammerwassers keine Hornhauttrübung zur Folge hat, ist von Coecius***) schon längst in überzeugender Weise dargethan, indem er bei lebenden Kaninchen die vordere Kammer mit Luft füllte, ohne dass bei gelungenen Versuchen selbst nach 3—4 Tagen,

*) H. Lehmann. Ueber den Humor aqueus des menschl. Auges v. Walthers u. v. Ammons Journ. f. Chir. u. Augenh. XXXIV. N. F. IV. 1845.

**) v. Ammon. Nachschrift zu der vorhergehenden Abhandlung *ibid.* p. 209—214.

***) Die Ernährungsweise der Hornhaut etc. p. 42—45.
v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie XIX, 2.

so lange sich die Luft erhielt, eine Trübung der Hornhaut eintrat.

Es liegt nun sehr nahe zu vermuthen, dass in jenen Fällen das hintere Epithel der Hornhaut verletzt oder verändert gewesen sei, so dass die Hornhaut der Einwirkung des Humor aqueus preisgegeben war. Namentlich würde hier an fettige Degeneration der Zellen zu denken sein, welche bei Iritis serosa auch schon direct beobachtet wurde. Sollte die Untersuchung aber feststellen, dass es sich bei jenen Trübungen um primäre entzündliche Processe in der Hornhaut handelt, so würde sich auch hierfür durch abnorme Diffusionsvorgänge oder sonstwie eine Erklärung finden lassen. Jedenfalls scheint mir soviel festzustehen, dass jene pathologischen Thatsachen uns nicht in der durch beweiskräftige Versuche gewonnenen Anschauung irre machen können.

Es eröffnet sich hier überhaupt ein ganz neues Gebiet von Fragen der normalen und pathologischen Physiologie des Auges, welche der experimentellen Lösung harren. Die Diffusions- und Resorptionsverhältnisse der Hornhaut und des Auges überhaupt, die Bedingungen der Durchsichtigkeit der brechenden Medien, ihre Ernährung, ja selbst die so dunkle Pathogenese der Cataract dürften Anhaltspunkte zur Untersuchung finden.

Auch für weitere Gebiete können die von uns gewonnenen Resultate verwerthet werden.

Es ist wohl nicht zu weit gegangen, wenn man auch den im Bindegewebe so allgemein verbreiteten platten Zellen und den aus ihrer Verschmelzung gebildeten Häutchen eine ähnliche Function, die des Schutzes vor Quellung durch die umgebende Gewebsflüssigkeit zuschreiben möchte.

Schon oben wurde die Analogie erwähnt mit der Wirkung des Epithels der Schleimhäute. Etwa mit Aus-

nahme des letzteren dürfte kaum ein anderer Ort im Körper sich in einer so bequemen Weise zu den hier einschlägigen Experimenten eignen, wie die vordere Augenkammer; die Anstellung directer Versuche scheint gerade an den interessantesten und wichtigsten Organen, den Drüsen, zur Zeit noch unüberwindliche Schwierigkeiten zu bieten. Um so wichtiger scheint es daher, dass wenigstens an einem weiteren Orte der Einfluss des Epithels in so unzweifelhafter Weise zu demonstrieren ist.

Einfluss des vorderen Epithels auf die Filtration und Quellung der Hornhaut.

Nachdem der Einfluss der Descemetischen Membran und ihres Epithels und der Hornhautgrundsubstanz in dem vorhergehenden Abschnitt schon eingehend behandelt ist, bleibt nur noch der der vorderen Grenzhaut mit ihrem Epithel zu besprechen übrig.

Nach dem negativen Resultat mit der isolirten Membr. Descemetii kann die Wirkung der Bowmanschen Membran wohl vernachlässigt werden.

Die Rolle des vorderen Epithels bei der Filtration aus der vorderen Kammer kann im Leben auch nur eine nebensächliche sein, da die Flüssigkeit schon von dem hinteren Epithel zurückgehalten wird. Damit steht in Einklang, dass man an völlig frischen, noch warmen Augen auch beim stärksten Druck weder bei erhaltenem Epithel, noch nach Ablösung desselben Tröpfchen durch die Hornhaut pressen kann.

Nur in denjenigen Fällen, wo die Hornhautsubstanz schon etwas gequollen ist, also bei lang fortgesetztem sehr hohem Druck (über 200 Mm.) und bei nicht mehr ganz frischen Augen, wo man auch bei erhaltenem vorderen Epithel Tröpfchenauspressen kann, macht sich die Wirkung des letzteren bemerkbar, indem man alsdann nach Ent-

fernung desselben früher und schon bei niedrigerem Druck Tröpfchen erhält, als wenn es geschont wird.

Wenn ich besonders die Versuche berücksichtige, wo eine Canule in die vordere Kammer eingeführt war, die aus bekannten Gründen zuverlässiger sind, als die mit der aufgebundenen Hornhaut, so war bei ganz frischen Augen (abgesehen von lange dauernder, sehr hochgradiger Drucksteigerung auf 200 Mm. und darüber) die Entfernung des vorderen Epithels ohne Einfluss. Einmal blieb z. B. das Resultat bei einem Kaninchenauge völlig negativ, als während 2 $\frac{1}{2}$ Stunden der Druck allmählig von 50—200 Mm. Hg. gesteigert wurde (Epithel in der Mitte abgekratzt und Hornhaut vor Verdunstung geschützt); ein anderes Mal trat erst bei 213 Mm. Druck eine leichte Befeuchtung am Rande der Epithellücke auf, $\frac{1}{4}$ Stunde später deutliche Tröpfchen.

Aber schon 7 Stunden nach dem Tode machte sich zuweilen ein Unterschied bemerklich, noch deutlicher nach 24 und 48 Stunden. Auf der Epithellücke kamen dann immer zuerst und schon bei niedrigerem Drucke, gewöhnlich bei 70—80 Mm. Hg Tröpfchen hervor, erst viel später und bei höherem Druck, von 100—150 Mm. Hg., auf dem Epithel. War das letztere intact erhalten, so zeigte sich sein Einfluss auch daran, dass es sich bei stärkerem Druck blasig ablöste; zuweilen kamen dann nach einiger Zeit auch noch Tröpfchen auf ihm zum Vorschein; beim Einreißen der abgehobenen Stelle entleerte sich Flüssigkeit.

Wird endlich das hintere Epithel entfernt oder die Descemetische Haut abgelöst, so genügt das vordere Epithel nicht, um den Flüssigkeitsdurchtritt zu hemmen. Es wird von der in die Hornhaut eingedrungenen Flüssigkeit sehr bald blasig emporgehoben oder gelockert; schon bei geringem Druck (30—50 Mm. Hg.) dringen Tröpfchen hindurch, kaum weniger leicht, als

wenn man man das vordere Epithel gleichfalls entfernt hat. Es erklärt sich dies wohl ähnlich wie bei den Versuchen von Ranke und Hallenke, durch die Dehnung und Lockerung von Seiten der gegen das Epithel andringenden Flüssigkeit. Das hintere Epithel muss dagegen, wenn es erhalten ist, an der Hornhaut eine Stütze finden, welche die Ausdehnung verhindert.

Wenn also das vordere Epithel für gewöhnlich zum Schutz gegen von hinten her kommende Flüssigkeit nicht in Betracht kommt, so muss dasselbe die Hornhaut um so mehr gegen die Quellung durch die äusserlich benetzende Bindehautflüssigkeit schützen.

Laqueur*) hat kürzlich einen schlagenden Beweis dafür beigebracht: legt man ein Auge in Wasser; wodurch sich das Epithel theilweise ablöst, so quillt die Hornhaut an den Stellen, wo dies geschehen ist, auf und man kann daselbst Tröpfchen aus ihr auspressen, da wo das Epithel sitzen geblieben ist, bleibt die Quellung aus.

Es scheint, dass auch die Diffusionsverhältnisse heterogener Stoffe durch das vordere Epithel beeinflusst werden, dass aber, soweit die bisherigen, nur auf wenige Substanzen ausgedehnten Untersuchungen darüber ein Urtheil erlauben, verschiedene Stoffe sich dabei nicht in derselben Weise verhalten.

Es ist durch Gosselin**) nachgewiesen, dass während des Lebens das Atropin rasch durch die Hornhaut in die vordere Kammer diffundirt und dass seine Wirkung auf Iris und Ciliarkörper auf diesem Wege und nicht durch Resorption vermittelt der Gefässe zu Stande kommt. In einer grösseren Versuchsreihe mit Jodkalium wurde von ihm dieser Stoff schon 2 Minuten nach Ein-

*) L. cit. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1872 Nr. 37.

**) Gosselin, Mém. sur le trajet intra-oculaire des liquides absorbés à la surface de l'oeil, lu à l'Acad. de méd. 7. Août 1855. Gaz. hebd. 1855. Nr. 36. 39.

tröpfeln einer concentrirten Lösung in den Bindehautsack im Humor aqueus gefunden.

Memorsky*) konnte dagegen beim lebenden Thier nach Einträufeln concentrirter Lösung von Blutlaugensalz in den Conjunctivalsack diesen Körper selbst nach $3\frac{1}{4}$ Stunden nicht im Kammerwasser nachweisen. Bei frisch getödteten Hunden erhielt er aber nach $2\frac{1}{2}$ Stunden eine deutliche, nach 4 Stunden eine starke Reaction mit Eisenchlorid. Dieser Unterschied könnte so zu erklären sein, dass beim lebenden Thier das Blutlaugensalz auch in das Blut diffundirt und mit dem Blutstrom immer rasch wieder weggeführt wird, so dass bei der langsamen Diffusion dieses Körpers niemals eine zur Reaction ausreichende Menge in der vorderen Kammer vorhanden ist.

Nach Entfernung des Epithels bekam Laqueur (beim todten Auge) schon nach $\frac{1}{2}$ — 1 Stunde deutliche Reaction, mit demselben oft nach einer Stunde noch keine Wirkung. Auch bei der Versilberungsmethode hat man schon lange die hindernde Wirkung bemerkt, welche das vordere und hintere Epithel der Hornhaut auf das Eindringen des Silbersalzes ausübt und ich habe auch bei meinen Imprägnationsversuchen der Hornhaut diesen Umstand gewürdigt. Eine weitere Fortsetzung dieser Diffusionsversuche verspricht interessante Aufschlüsse zu liefern.

Ich will hier die in den vorstehenden fünf Abschnitten gewonnenen Resultate nochmals kurz zusammenstellen.

1. Die vordere Kammer hängt weder mit abführenden Blutgefäßen direct zusammen, noch ist ein Zu-

*) Memorsky, Experim. Beitr zur Diffusion im Auge, Arch. f. Ophth. XI, 2. p. 112—128.

- sammenhang mit abführenden Lymphgefässen nachgewiesen.
2. Beim todten Auge filtriren in die vordere Kammer injicirte Flüssigkeiten sehr leicht in die Venen des Circulus venosus und der Iris und fliessen durch die vorderen Ciliarvenen und die Vortexvenen nach aussen ab.
 3. Ist die injicirte Flüssigkeit mit diffusionsfähigen Farbstoffen (Carmin) versetzt, so erhält man eine sichtbare Injection dieser Gefässe, dagegen nicht mit colloiden Farbstoffen (Berliner Blau), wenn keine Zerreissung zu Stande kommt.
 4. Es ist wahrscheinlich, dass während des Lebens der Humor aqueus auf demselben Wege nach aussen abgeführt wird.
 5. Künstliche Steigerungen des Augendruckes beim Lebenden durch Injection in die vordere Kammer können bald wieder zurückgehen, wenn der Druck nicht bedeutend gesteigert wurde; im letzteren Falle bleibt er wenigstens eine Zeit lang dauernd erhöht.
 6. Die Hornhaut hält während des Lebens und unmittelbar nach dem Tode den Humor aqueus vollkommen zurück und lässt, auch wenn ihr vorderes Epithel entfernt wird, keine Tröpfchen an ihrer Oberfläche hervortreten (Martini).
 7. Es kann also an der Oberfläche der Hornhaut unter normalen Verhältnissen nur durch Verdunstung Flüssigkeit verloren gehen.
 8. Die Hornhaut zieht durch ihr Quellungsvermögen sehr energisch Flüssigkeit an, und es kann durch Verdunstung an ihrer Oberfläche hinter ihr ein sehr bedeutender negativer Druck entstehen.
 9. Auch bei künstlicher Steigerung des Augendruckes

durch Unterbindung sämmtlicher Venae vorticosae oder nach Injection in die vordere Kammer, treten an der lebenden Hornhaut keine Tröpfchen hervor.

10. Nach Unterbindung einzelner Venae vorticosae beschränkt sich die Stauung grösstentheils auf das von ihnen versorgte Gebiet und es erfolgt in der nächsten Zeit kein merklicher collateral Abfluss durch die nicht unterbundenen Venen.
11. Es kommt dabei auch zur reichlichen Diapedesis rother Blutkörperchen.
12. Die Grenze des Druckes, wo beim frischen todten Auge Flüssigkeit durch die intacte Hornhaut gepresst werden kann, liegt über 200 Mm. Hg. Es ist daher nicht anzunehmen, dass in pathologischen Fällen, im Leben, durch noch so hoch gesteigerten Druck Flüssigkeit einfach mechanisch durch die Hornhaut gepresst werden könne; dagegen ist es möglich, dass die Hornhaut durch pathologische Veränderungen dazu gebracht wird, Flüssigkeit hindurchzulassen.
13. Die cadaveröse Hornhaut lässt bei Druck auf das Auge den Humor aqueus in Tröpfchen an ihrer Oberfläche austreten, was schon von Steno, Leeuwenhoek und Winslow beobachtet, aber irrthümlich auch auf die lebende Hornhaut bezogen wurde.
14. Die Ursache, warum die lebende Hornhaut den Humor aqueus zurückhält, ist das hintere Hornhautepithel. Wird dasselbe entfernt, so quillt die Hornhautgrundsubstanz auf und lässt Flüssigkeit hindurch.
Dasselbe geschieht im Tode durch cadaveröse Veränderung des Epithels.
15. Auch während des Lebens tritt nach Entfernung

des hinteren Epithels eine Trübung und Quellung der Hornhaut auf, die nach einigen Tagen mit Regeneration des Epithels wieder verschwindet.

16. Die Durchsichtigkeit der Hornhaut ist also davon abhängig, dass das hintere Epithel die Quellung der Hornhautgrundsubstanz verhütet. Der Humor aqueus wirkt, in direkter Berührung mit der letzteren, ebenso schädlich auf sie, wie auf die Linse, wenn die Kapsel eröffnet ist.
17. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass auch das Kapselepithel eine ähnliche schützende Wirkung auf die Linse ausübt.
18. Das vordere Epithel der Hornhaut schützt dieselbe vor der Quellung von aussen. Für die Zurückhaltung des Humor aqueus kommt seine Wirkung nicht wesentlich in Betracht.

Ich gedenke diese Studien fortzusetzen, und später über etwaige weitere Ergebnisse zu berichten.
