Über die Lymphgefäße des Auges.

Von

Dr. med. **Ada Stübel.**

(Aus der chirurgischen Universitätsklinik Jena [Direktor Prof. *Guleke*].)

Mit 12 Textabbildungen.

Die Darstellung der feinsten Lymphgefäßcapillaren in den Geweben, wie sie bisher geübt wurde, mußte mit einer Reihe von Fehlerquellen rechnen, die sich selbst bei größter Verfeinerung der Methoden nicht völlig vermeiden ließen. Außer der einfachen mikroskopischen Betrachtung von Organschnitten, bei der nur größere Lymphgefäße mit deutlichen Wandungen zur Ansicht kommen konnten, hat die Forschung sich im wesentlichen der *Injektionsmethoden* bedient. Man spritzte, nach Art der Blutgefäßinjektion, gefärbtes Wasser, Milch, Quecksilber direkt in die größeren Lymphräume oder füllte sie auf indirektem Wege *durch Einstich* ins Gewebe, wobei außer wäßrigen Farblösungen (*Mascagni*) vor allem Leimmassen (*Teichmann*) oder Ölfarben, so die *Gerotasche* Mischung, verwendet wurden. Andere Möglichkeiten waren die *Imprägnation* der Lymphkanäle mit Fett (*Allmann*), der Gefäßwandkittlinien mit Höllenstein (*v. Recklinghausen*). Auf den resorptiven Fähigkeiten der serösen Häute baut sich eine andere Methode auf, die *Bartels* die „physiologische Injektion“ nennt.

Die so vorbehandelten Gewebe wurden in den meisten Fällen in mikroskopische Serienschnitte zerlegt und der Verlauf der einzelnen Lymphgefäße dann auf mühsame Weise rekonstruiert. Die Fehlermöglichkeiten, die diesen Verfahren anhaften, sind mannigfach. Injiziert man gefärbte Massen ins Gewebe, so wird, wie *Bartels* schreibt, ein Zuviel an Druck häufig Kunstprodukte schaffen, da die Flüssigkeit doch irgendwo bleiben muß. Diese sucht sich ihren Weg, wo sie am wenigsten Widerstand findet, also in präformierten Kanälen und unter Umständen im Gewebe selbst. Ist der Druck dagegen zu gering, so resultiert eine ungenügende Füllung. Die schönen *Bartels*schen Injektionspräparate vom Schweineembryo beweisen, daß die Methode hin und wieder auch befriedigende Ergebnisse liefern kann, als Frucht mühseliger Arbeit um möglichste Verfeinerung des Prinzips.

Über die Silber- und Fettimprägnationen, die an der Cornea und der Chorioidea des Auges zuerst geübt wurden, wird später eingehend zu reden sein.

Die *physiologische Injektion*, bei der Farblösungen oder Milch intravitam in die Brust- und Bauchhöhle von Versuchstieren gespritzt wurden (v. Recklinghausen), setzte von vornherein pathologische Verhältnisse, bei denen man es mit einem gereizten und vielleicht stark geschädigten Gewebe zu tun hatte, dessen Lymphgefäßsystem sich in einem sicher *nicht physiologischen* Tätigkeitszustand befand.

Diese Fehlermöglichkeiten werden vermieden durch eine neue von Magnus erdachte Methode, mit der es auf schonende und zugleich umfassende Weise gelingt, die Lymphcapillaren bis in ihre feinsten Wurzeln und Ausläufer zur Darstellung zu bringen, sowie das Problem der *Recklinghausenschen Stomata* definitiv zu lösen.

Ausgehend von dem Gedanken, daß lymphgefüllte Räume, wenn sie in Berührung mit Wasserstoffsuperoxyd kommen, infolge der in der Lymphe enthaltenen Katalase Sauerstoff abspalten und kraft des hohen Gasdrucks sich mit diesem Sauerstoff unter Verdrängung der Lymphe füllen werden, versuchte Magnus, ob beim Auftropfen von Wasserstoffsuperoxyd auf ein bei der Operation frisch gewonnenes Stück Peritoneum eine Füllung der peritonealen Lymphgefäße zu erzielen sei. Der Versuch gelang überraschend. Es zeigte sich auf der Oberfläche des Bauchfells ein zierliches, gasgefülltes Gefäßnetz, das sich im Laufe vieler weiterer Untersuchungen einwandfrei als Lymphcapillarnetz erwies.

Zur Beobachtung dieses Präparates, wie auch aller später von mir untersuchten Augen, diente das *binokulare Mikroskop für Planktonforschung der Firma Zeiss*, welches gestattet, die Gewebe unter annähernd physiologischen Bedingungen bei mäßiger Vergrößerung von der *Oberfläche* aus und *stereoskopisch* zu betrachten, was für das Studium der Lymphgefäßverteilung und ihrer Lage im Gewebe von großem Vorteil ist.

Dieses Mikroskop, das mit Hilfe eines langen drehbaren Armes auf einem schweren eisernen Stativ aufmontiert ist, besteht aus einem Tubuspaar, dessen Objektive in eine Wanne mit physiologischer Kochsalzlösung tauchen und zur feineren Einstellung durch ein Schraubengewinde gehoben und gesenkt werden können. Die Okulare, die dem Augenabstand entsprechend scherenartig verschoben werden können, sind auswechselbar. Das von uns meist benutzte Okular 4 liefert eine 73fache Vergrößerung; zum Photographieren wurde fast stets Okular 2 mit etwa 50facher Vergrößerung verwendet, während stärkere Okulare mit 15 und 9 mm Brennweite nur selten benötigt wurden.

Als Lichtquelle diente eine gleichfalls von der Firma Zeiss zur Verfügung gestellte Bogenlampe. Von einer gleichmäßigen Erwärmung der Tauchflüssigkeit auf Körpertemperatur konnte Abstand genommen werden, da die zu untersuchenden Präparate nicht überlebend, ja nicht einmal sehr frisch zu sein brauchten. Es stellte sich heraus, daß Gewebstücke von Leichen des pathologischen Instituts oder von Tieren, die vor einigen Tagen getötet waren, die gleichen schönen und vollständigen Lymphgefäßbilder gaben, wie lebensfrisches Material.

Der Verlauf der Untersuchung gestaltete sich nun folgendermaßen: Teile von serösen Häuten oder die Schleimhautfläche von Gallenblasen und Darmstücken, die entweder operativ gewonnen waren oder von Leichen stammten, wurden auf einer Glasplatte aufgespannt, mit Wasserstoffsuperoxyd betropft, darauf in die Wanne mit physiologischer Kochsalzlösung versenkt und durch das binokulare Mikroskop beobachtet.

Bei den serösen Häuten, besonders schön beim Peritoneum parietale und beim Centrum tendineum, füllte sich nun ein verzweigtes, mitunter auch parallel verlaufendes Kanalsystem dicht unter dem Endothel mit Sauerstoff. Mitunter sah man das Gas langsam fortkriechen, sich vorsichtig seinen Weg bahndend, mitunter blitzte da, wo vorher eine einheitliche Oberfläche war, plötzlich ein glänzender Silberstreifen auf. Diese Füllung blieb oft stundenlang bestehen und konnte, wenn sie schließlich resorbiert oder ausgestoßen wurde, durch neu aufgetropftes Wasserstoffsuperoxyd beliebig wiederhergestellt werden, wobei sich immer die gleichen Kanäle in gleicher Anordnung zeigten.

Auch an den Schleimhautflächen von Dickdarm, Wurmfortsatz und Gallenblase wurde auf diese Weise ein sehr feines, für die einzelnen Organe durchaus typisches Netzwerk zur Darstellung gebracht. Beim Dünndarm gelang eine Gasfüllung *von der Fläche aus nicht*, wohl aber bei der Injektion von Wasserstoffsuperoxyd unter die Schleimhaut. Man erblickte dann maximal geblähte, von Sauerstoff erfüllte, steil emporgerichtete Darmzotten, die umflochten waren von einem oft gleichfalls gasgefüllten, sehr zierlichen Blutcapillargeäst.

Dieses verschiedene Verhalten von serösen Häuten und Schleimhäuten dem eindringenden Sauerstoff gegenüber hat *Magnus* zu der Überlegung geführt, daß prinzipiell auf dreierlei Weise eine Lymphcapillarfüllung durch Wasserstoffsuperoxyd zustande kommen kann.

Die erste stellt das Einströmen der Flüssigkeit durch präformierte Lücken, durch die *v. Recklinghausensche Stomata*, und darauf folgende Abspaltung von Sauerstoff in den mit den Körperhöhlen in freier Kommunikation stehenden Lymphgefäße dar, einen Modus, wie wir ihn regelmäßig bei den serösen Häuten der großen Körperhöhlen finden. Eine andere Möglichkeit ist die Aufnahme von Wasserstoffsuperoxyd durch das Schleimhaut- und Lymphgefäßendothel hindurch mittels *der Diffusion*. Beispiel: Gallenblase, Dickdarm.

Am Dünndarm gelingt eine Füllung der Chylusgefäße nur durch *Injektion*, also durch künstliche Eröffnung von Lymphbahnen — ein Verfahren, das sich auch am Auge zur Darstellung des Lymphgefäßsystems häufig notwendig macht. Die Einwände, daß auch diese Injektionen ebenso wie die früher geübten mit Farblösungen, Milch usw. Kunstprodukte schaffen können und daher unzuverlässige Resultate liefern, werden bei der Besprechung der Hornhautsaftkanäle eingehend

gewürdigt werden. Es sei hier nur noch betont, daß die *Magnussche* Methode der Lymphgefäßdarstellung an das Vorhandensein *gut abgegrenzter Lymphbahnen*, oder allgemeiner gesagt: von Kanälen, die von einer katalaschaltigen Flüssigkeit erfüllt sind, gebunden ist. Es kann wohl vorkommen, daß sich bei sehr alten Präparaten und energischer Injektion einmal breite Gewebsspalten, in die sich Lymphe ergossen hat, füllen; die Bilder sind dann aber von einwandfreien Injektionspräparaten so verschieden, daß niemals ein Zweifel darüber aufkommen kann, daß es sich hier um wirkliche „Kunstprodukte“ handelt.

Selbstverständlich werden bei dem Injektionsverfahren auch Blutgefäße mit Sauerstoff gefüllt. Aber auch nur bei diesem. Niemals geschah eine solche Füllung beim Auftropfen von Wasserstoffsuperoxyd *auf die Fläche*. Auch ist der Füllungsmechanismus und die Form der Blutgefäße von höchst charakteristischer, bei den Lymphgefäßen nie auftretender Art, daß eine Verwechslung kaum stattfinden kann. Die Lymphgefäße nämlich füllen sich vollständig und dauerhaft. Ihr Kaliber ist von sehr wechselnder Stärke. Ganz breite, ampullenartige Formen verjüngen sich plötzlich zu dünnen Ästchen; bei der Teilung sind die Zweige oft stärker als der Stamm, aus dem sie hervorgehen. Das alles deutet auf eine begrenzende Wandung hin, die dem dehnenden Sauerstoff, der sich mit großer Kraft in den Gefäßen entwickelt, einen relativ geringen Widerstand entgegensetzt, wofür auch der mitunter enorme Umfang dieser Gefäße spricht.

Ganz anders die Blutgefäße. Beobachtet man unter dem Mikroskop die Füllung von Darm- oder Chorioidealcapillaren, so gewinnt man den Eindruck von Quecksilber, das sich in den Gefäßen in unaufhörlicher, zappelnder Bewegung befindet, sich einmal als kontinuierlicher silberner Faden darstellt, der plötzlich abreißt, um sich an einer anderen Stelle mit einem ähnlichen Faden neu zu verbinden. Diese Bilder sind sehr eindrucksvoll, nur leider so flüchtig, daß photographische Aufnahmen schwer gelingen und sich bestenfalls nur kleine Gewebsstrecken einigermaßen vollständig auf der Platte festhalten lassen. Ferner ist das Kaliber viel geringer, als das der begleitenden Lymphcapillaren und ist von gesetzmäßiger, sich auch bei starker Gasfüllung nie ändernder Größe. Die Blutgefäßinjektion gelingt übrigens nur an *frischen Präparaten*; es müssen hier postmortale Kontraktionszustände im Spiele sein, die dem eindringenden Wasserstoffsuperoxyd einen starken Widerstand entgegensetzen.

Nach dem eben Gesagten ist ohne weiteres klar, daß der im übrigen so einfachen und handlichen Methode bestimmte *Grenzen* gesetzt sind. Sie ist an das Vorhandensein *oberflächlicher* Lymphgefäße gebunden und versagt, wenn es sich darum handelt, die *tiefen Bahnen* darzustellen, sofern nicht durchsichtige Gewebe, wie die Cornea vorliegen. Ferner

gelingt es nicht, oder bisher nicht, Dauerpräparate anzufertigen, da die mit Sauerstoff gefüllten Kanäle nach der Härtung und Fixierung nur zum kleinen Teil in ihrer Form erhalten bleiben. Im übrigen sind Arbeiten im Gange, um diesem Mangel abzuhelpfen, der auch um so weniger ins Gewicht fällt, als sich von den Präparaten mit leichter Mühe gute Mikrophotogramme machen lassen.

Ein gewöhnlicher photographischer Apparat mit Plattengröße 9×12 wurde zu diesem Zweck benutzt; er wurde vertikal gekippt, so daß der eine Tubus des Mikroskops in die Fassung des teilweise abgeschraubten Cameraobjektives hineinragte. Die Einstellung vermittelte die Mikroskopschraube, während die Cameralänge immer unverändert, nämlich 21 cm lang blieb. Die hier wiedergegebenen Abbildungen wurden, soweit nicht besonders erwähnt, mit Okular 2 angefertigt, dem auf der photographischen Platte eine 33fache Vergrößerung entspricht bei einer Belichtungszeit von 4—7 Sekunden.

Die systematische Untersuchung der Lymphbahnen des Auges, die Herr Prof. Magnus mir gütigweise überlassen hatte, gestaltete sich nun in der für die serösen Häute und Schleimhäute beschriebenen Weise. Die untersuchten Augen stammten in der überwiegenden Mehrzahl von Säugetieren: von Rindern, Schafen, Schweinen aus dem Schlachthof, von Hunden, Kaninchen, Meerschweinchen und Ratten aus dem Tierstall der chirurgischen Klinik. Letztere wurden gewählt, da es die einzigen *albinotischen Tiere* waren, die zur Verfügung standen. Schließlich gelang es, die am Tierauge gewonnenen Resultate an den Augen einer neugeborenen und einer erwachsenen menschlichen Leiche aus dem pathologischen Institut nachzuprüfen. — Diese Mannigfaltigkeit der Präparate machte die Orientierung zunächst etwas schwierig, da die Gefäßverhältnisse der einzelnen Säugetieraugen überhaupt großen Verschiedenheiten unterworfen sind. Andererseits bot sie den großen Vorteil, aus dem *regelmäßigen Vorkommen* gewisser Lymphbahnen bei *allen* Tieren Schlüsse auf die Bedeutung derselben zu ziehen. Die wichtigsten Aufschlüsse lieferte das *Schweineauge* mit seinem sehr reichen Lymphgefäßsystem, das sich infolge der relativ geringen Pigmentierung besonders gut zur Anschauung bringen ließ und das dem des Menschen in vieler Beziehung auffällig gleicht.

1. Allgemeines über die Lymphgefäßversorgung des Auges.

In seinem Handbuch über die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges leitet Leber das Kapitel über die Lymphgefäße mit den Worten ein: „Eigentliche Lymphgefäße kommen im Inneren des Auges nicht vor, nur die Conjunctiva besitzt ein ausgebildetes Lymphgefäßnetz.“ Er bespricht dann die seit langem wohlbekannten serösen Räume des Auges, die vordere und die hintere Augenkammer, den Perichoroidalraum zwischen Chorioidea und Sclera, den Tenonschen Raum zwischen Sclera und Tenonscher Kapsel und schließlich die

Intervaginalscheiden des Sehnerven. Was den *Zentralkanal des Glaskörpers* betrifft, der denselben von der Papille aus in wagerechter Richtung durchziehen soll, so herrscht über sein Vorhandensein noch immer nicht völlige Übereinstimmung. *Leber* selbst glückte seine Darstellung durch Tuscheinjektion in die hintere Augenkammer, *Schwalbe* durch Berlinerblauinjektion hinter die Pialscheide des Sehnerven, während *Stilling* ihn durch Auftropfen von Farblösung auf das trichterförmig erweiterte hintere Ende zur Anschauung bringen konnte. Dagegen leugnen *Koepppe* und *Wolfrum* sein Vorhandensein.

Es sei hier gleich vorweggenommen, daß es mit der *Magnusschen* Methode nicht möglich ist, diese Lymphräume des Auges sichtbar zu machen. Auch gelang es auf keine Weise, den Canalis hyaloideus mit Sauerstoff zu füllen. Aufgetropftes oder injiziertes Wasserstoffsuperoxyd blieb im Glaskörper fast unverändert; es scheint also, daß er keine Katalase enthält, wie auch *Huss* erwähnt, und also auch keine lymphgefüllten Räume darin zu erwarten sind. Von dem Saftspaltensystem, das *Koepppe* entlang dem fädigen Gerüstwerk mit Hilfe seiner Spaltlampenmethode entdeckt zu haben glaubt, war gleichfalls nichts zu bemerken.

Eine andere, bisher noch nicht geklärte Frage betrifft die *perivasculären Lymphscheiden*. Nach *Leber* ist ihr regelmäßiges Vorkommen erwiesen für die *Vortexvenen*, als Abflußkanäle des Perichoroidalraumes, und für die *retinalen Blutgefäße*. So gelang es *His* durch Injektion von 2 verschiedenen Farblösungen perivasculäre Scheide und Blutgefäße in der Retina gesondert darzustellen. Solche Einscheidungen will *Koepppe* auch an den Sceral- und Irisgefäßen, *Salzmann* an den Venen der Choroida und gleichfalls an den Irisgefäßen gesehen haben. Dazu ist zu bemerken, daß nicht jede grauweiß schimmernde, kompakter ausgebildete Adventitia notwendig ein Lymphmantel sein muß, wie wir auch an Präparaten von serösen Häuten gelegentlich porzellanweiße Blutgefäßmäntel fanden, die sich durch Wasserstoffsuperoxyd nicht injizieren lassen, während es anderwärts, z. B. am Centrum tendineum des Menschen, sehr wohl gelang, gasgefüllte Mäntel um blutgefüllte Gefäße darzustellen. *Am Auge* lieferte die Methode dagegen nur negative Resultate. Bei der Injektion in die Scheiden oder die Zentralgefäße des Sehnerven füllten sich ausschließlich die Blutgefäße; das Blut wurde dabei langsam von einer Gassäule vorwärts geschoben und zerstört. Die gut sichtbaren weißlichen Einscheidungen blieben unverändert. Die gleichen Versager ergaben sich auch an allen übrigen Blutgefäßen des Auges.

Kurz aufgezählt seien nun die Teile des Auges, wo Lymphgefäße entweder nicht vorhanden oder mit der *Magnusschen* Methode nicht sichtbar zu machen sind. Der *Glaskörper* wurde schon erwähnt. Ein negatives

Ergebnis lieferte ferner die *Retina*. Mit einer später zu erörternden Einschränkung war hier, abgesehen von den besprochenen perivaskulären Räumen, von einem Lymphgefäßsystem nichts zu bemerken, was mit den *Krückmanns*chen Untersuchungen gut vereinbar ist. Beim Auftropfen von H_2O_2 geschah *nichts*, beim Injizieren füllten sich neben den großen Gefäßen die Blutcapillaren als weitverzweigtes, zierliches Netz.

Die *Sclera* nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als es nicht von der Hand zu weisen ist, daß Lymphräume existieren; nur sind sie wegen der Straffheit und Undurchsichtigkeit des Gewebes auf keine Weise nachweisbar.

Abb. 1. Linse vom Schwein. Vergr. 58fach.

Einen sehr merkwürdigen Befund lieferte die *Linse*. Sie zählt nämlich unter die Organe, die wohl Katalase, aber keine begrenzten Lymphräume enthalten. Es zeigt sich da das als Beweis für die Güte der Methode sehr wichtige Bild von großen, streng kugeligen Blasen, die verstreut im Gewebe liegen und jede regelmäßige Anordnung, jedes Gebundensein an präformierte Hohlräume vermissen lassen (Abb. 1). Hier sind in Wahrheit durch die Injektion von Wasserstoffsuperoxyd in ein homogenes, aber katalasehaltiges Gewebe „Kunstprodukte“ entstanden; das Gewebe ist zerrissen, und in diesen Rissen liegen die Sauerstoffblasen wahllos zerstreut.

2. Die Lymphgefäße der *Conjunctiva bulbi*.

Von dem Lymphgefäßsystem der *Conjunctiva bulbi* und des Limbus gibt es prachtvolle Bilder, die *Teichmann* in der Mitte des vorigen Jahr-

hunderts durch Injektion von gefärbten Leimmassen und mit Hilfe mikroskopischer Serienschritte auf äußerst mühselige Weise hergestellt hat. Das ziemlich weitmaschige Gefäßnetz nimmt am Limbus an Kaliber und Maschengröße stark ab und weist am Cornealrande eine von Gefäßschlingen gebildete scharfe Begrenzung auf. Ähnliche Beobachtungen macht *Koeppé*, der ein oberflächlicheres, feineres von einem tiefer gelegenen, gröberen Kanalsystem unterschied, das sich in Form von zarten grauweißen Streifen abhob und die Ciliarvenen in ihrem Verlauf zu begleiten schien.

Wenn man in das lockere Conjunctivalgewebe H_2O_2 mit feiner Kanüle und unter geringem Druck injiziert, so erblickt man im binokularen

Abb. 2. Conjunctiva bulbi (neugeb. Kind).

Mikroskop, wie sich weite Räume von höchst ungleicher Anordnung und Form füllen. Es sind wohl Kanäle, aber es hält schwer, ein eigentliches *System* zu erkennen. Ganz regelmäßig fand sich am Rinder- und am Menschenauge ein sehr feines Netzwerk, das den Limbus als breiter Streifen umzog und das nach außen in sehr viel gröbere radiär und zirkulär verlaufende Bahnen überging (Abb. 2). Ein oberflächliches und ein tiefes System ließ sich auch hier

wohl unterscheiden, dagegen konnte eine den Blutgefäßen entsprechende Anordnung nicht nachgewiesen werden. Als oberflächlichste Schicht fand sich immer das feine, sehr reich ausgebildete Blutcapillarnetz.

Man erhält hier in der Conjunctiva, wie in jedem anderen lockeren Gewebe — und das soll noch einmal besonders betont werden —, stark übertriebene Bilder von Lymphgefäßen, da sich diese infolge der Nachgiebigkeit ihrer Wand auf Kosten des umgebenden Gewebes erheblich ausdehnen können. Wo in Wirklichkeit mikroskopisch feine Spalten und Kanälchen sind, schafft der entstehende Sauerstoff infolge seines Gasdrucks weite Räume, die ohne Zweifel das Vielfache des normalen Kalibers betragen. Und man wird an ein Wort *Mascagnis* erinnert: daß die Gewebe nichts weiter sind, als ein dichtes Geflecht von Lymphgefäßen, dessen „Balken und Scheidewände“ sie bilden.

3. Die Lymphkanäle und Saftspalten der Cornea.

Die Frage nach den Ernährungsverhältnissen und Saftströmungen der Cornea hat in den letzten beiden Jahrhunderten die Anatomen und Ophthalmologen in besonderem Maße beschäftigt; sie ist so verschieden beantwortet worden, daß *Bartels* in seiner Monographie geradezu von einem „Corneastreit“ spricht, und auch heute sind diese Untersuchungen noch keineswegs abgeschlossen. Es handelte sich im wesentlichen um zweierlei, einmal um die von *Bowman* Mitte des vorigen Jahrhunderts entdeckten nach ihm benannten „*Corneal tubes*“, die *Hornhautröhren*, zweitens um die „*Saftkanälchen*“ *Recklinghausens*; beide Systeme sollten die Hornhautgrundsubstanz durchziehen. Die im *Epithel* gelegenen Lücken, die *Retzius* und *Thoma* durch Farbinjektionen, *Henle* durch Ölimbibition gelegentlich auf Flachschnitten nachweisen konnten, kommen als Lymphbahnen kaum ernstlich in Betracht. Ob die Nerven der Cornea von Lymphscheiden umgeben sind, ist gleichfalls noch ganz zweifelhaft.

Die *Bowmanschen Röhren* erhielt man regelmäßig bei Injektion von farbigen Massen (*H. Virchow*), von Quecksilber (*Bowman*), von Luft (*Ranvier*) oder von wäßrigen Salzlösungen in das Hornhautparenchym. Diese Gebilde, die später eingehend beschrieben werden sollen, hielt ihr Entdecker *Bowman* für Lymphgefäße. Doch steht er mit seiner Ansicht vereinzelt da. „Eine künstliche Erweiterung interfasciculärer Spalten“ nennen sie *Kölliker*, *Schweigger-Seidel* u. a., während die große Mehrzahl der Autoren sie für „Sprenglücken“ (*Rollett*) oder ganz einfach für „Kunstprodukte“ ansieht (*Henle*, *His*, *Teichmann*, *Leber*). *H. Virchow* hält die Injektion ganz allgemein für eine Methode, welche Kunstprodukte schafft, aber doch ein „wichtiges Hilfsmittel“ und „unentbehrlich für das Studium der Faserriechung in der Cornea“ ist.

Artefiziell entstandene Räume sollen auch die *v. Recklinghausenschen* „*Saftlücken*“ sein. Diese interlamellär gelegenen Kanäle, die *Recklinghausen* durch Farbinjektion und mit Hilfe seiner positiven und negativen Silberbilder zur Darstellung bringen konnte, und die vor ihm schon *Zinn* (1755) und *Coccinus* (1852) gefunden hatten, bilden die Stütze für seine Theorie vom Ursprung des Lymphgefäßsystems aus in die Grundsubstanz eingegrabenen Lücken. Er setzte sich damit in stärksten Gegensatz zu *Rud. Virchows* Ansicht von der intrazellulären Entstehung des Saftstroms und zu *Ludwig* und *Brücke*, die ihn aus interstitiellen aber membranlosen Gewebslücken entspringen ließen. *Recklinghausens* Auffassung ist bis in die neueste Zeit bekämpft worden. Seine negativen Silberbilder, die nachweisen sollten, daß die zwischen den Lamellen gelegenen Hornhautzellen von „leeren“ Räumen umgeben sind, die ein kontinuierliches feines Kanalnetz bilden, sollten durch die bei der Silberbehandlung entstandene Schrumpfung der Zellen bedingt

sein. *H. Virchow* faßt die neueren Untersuchungen der Anatomen dahin zusammen, daß ein hohles Zellennetz wohl existiere, daß aber „eine Verbindung mit Lymphgefäßen nicht nachgewiesen und stark bestritten“ ist, während *Leber* die Saftlücken einfach als Kunstprodukte ansieht, denn „die Injektionsmasse dringt besonders leicht an der Grenze zwischen Zellen, Nerven und fibrillärer Grundsubstanz vor“ und schiebt die Zellen zur Seite; und nach *Salzmann* könne „auch Sprengung des Gewebes gesetzmäßig erfolgen, besonders dort, wo verschiedene Bestandteile aneinander grenzen“, und damit leugnet auch er das Vorhandensein präformierter Lymphbahnen in der Cornea. Dieser ablehnende Standpunkt wird einmal dadurch erschüttert, daß *v. Recklinghausen* durch Injektion in die Hornhaut die Lymph-, mitunter auch die Blutgefäße der *Conjunctiva* füllen konnte, dann aber auch durch Versuche von *His*, der nach Injektion des fraglichen Lückennetzes und Maceration des Hornhautparenchyms mit Schwefelsäure das Zellennetz infolge von Auflösung der Grundsubstanz isolieren konnte, wobei die injizierten Netze „merkwürdigerweise“ ebenfalls bestehen blieben.

In neuester Zeit fand *Koepppe* bei seinen Spaltlampenbeobachtungen im Hornhautstroma ein zartestes, grauliches Netzwerk, das besonders bei Hornhautödem deutlich wurde, und ihm das Vorhandensein eines intracornealen Saftlückensystems wahrscheinlich machte.

Die *Injektion von Wasserstoffsuperoxyd* in die Subconjunctiva ist schon zweimal geübt worden, von *Huss* und von *Krusius*, die aber andere Zwecke, vorwiegend therapeutische, damit verfolgten. Beide Autoren sahen in der Cornea und am Corneoskleralrande strich- und netzförmige Trübungen auftreten, ohne aber der Frage nach ihrem morphologischen und physiologischen Verhalten näher zu treten. Die Möglichkeit, die Gasfüllung der cornealen Lücken in ihrem Entstehen zu beobachten, die das binokulare Mikroskop uns bietet, erlaubt die von den beiden Autoren gemachten Beobachtungen mit früheren Forschungsergebnissen zu vergleichen und daraus wichtige Schlußfolgerungen zu ziehen. Wenn man in die Episklera eines Säugetierauges nahe dem Limbus Wasserstoffsuperoxyd injiziert ohne die Cornea zu verletzen, und das Auge unter das binokulare Mikroskop bringt, so sieht man, wie vom Rande, von der Gegend der Einstichstelle her, gasgefüllte Röhren pfeilartig vor-schnellen, allmählich in immer größerer Anzahl bis weit in die Cornea sich erstreckend. Sie haben immer eine ganz gesetzmäßige Form, gleichen in ihrem Aussehen Eiszapfen und in ihrer Anordnung einem Haufen regellos übereinander geworfener Stöcke. Abb. 3 gibt die auf diese Weise behandelte Hornhaut eines Kaninchens wieder, die an die von *Magnus* hergestellten Lymphgefäßpräparate vom Kaninchen peritoneum erinnert. Diese Hornhautkanäle verzweigen sich nicht, anastomosieren nie und enden blind im Hornhautstroma. Wiederholt man die

Abb. 3. Cornea (Kaninchen) aus *Magnus*, D. Zeitschr. f. Chir. 1922.

Abb. 4. Safttlücken in der Cornea. In der Tiefe Bowmannsche Röhren (Schwein). Vergr. 58fach.

Injektion von anderen Stellen der Episklera aus, so durchsetzt sich nach und nach die ganze Cornea mit diesem Röhrenwerk, das sich bei manchen Tieren durch alle Lagen der Hornhaut hindurchzieht. Diese Bilder sind dieselben, die *H. Virchow* in Graefe-Saemischs Handbuch von einer mit 50 proz. Chromalaunlösung injizierten Pferdehornhaut wiedergibt, und die die *Bowmanschen* Röhren, also seiner Ansicht nach „Kunstprodukte“ darstellen. Wurde H_2O_2 von uns direkt in die Cornea injiziert, so erhielt man die gleichen Resultate. Sehr bemerkenswert war dabei, daß unter Umständen, wenn die Injektion in der Nähe des Limbus erfolgt, prompt die Lymphgefäße des *episkleralen Gewebes* gasgefüllt sichtbar wurden. Diese *Bowmanschen* Röhren fanden sich regelmäßig in den Augen von Rind, Schwein, Hund, Schaf, Kaninchen, Meerschweinchen; sie fehlten bei der Ratte und fanden sich beim Menschen nur vereinzelt. Dagegen konnte hier ein anderes Cornealsystem immer gefüllt werden, wenn die Injektion in die *Conjunctiva* erfolgte. Es breitete sich alsdann ein zierliches Netzwerk flächenartig über die Cornea aus, dessen feinerer Bau besonders am freien vorgeschobenen Rande sehr deutlich war (Abb. 4) und das sich häufig in vielen Lagen (bis zu 6 wurden deutlich festgestellt), fand, die nicht miteinander kommunizieren. Immer liegt es oberflächlich vom Röhrensystem; nur bei der Ratte, wo dieses fehlt, durchsetzt es die ganze Dicke der Cornea. Beim Kaninchen ist es nicht vorhanden. Seine Identität mit dem *Recklinghausenschen* „*Saftlückensystem*“ dürfte damit erwiesen sein.

Daß sich auch die cornealen *Randblutgefäße* von der *Conjunctiva* aus leicht injizieren lassen, so besonders schön beim Schaf, wo sie fast bis zur Mitte der Hornhaut reichen, sei nur anhangsweise erwähnt. Abb. 5 zeigt die zierlichen gasgefüllten Capillarschlingen und, daneben undeutlicher, weil tiefer gelegen, das feine Saftlückensystem.

Die *Ergebnisse der Magnusschen Methode* an der Cornea lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß sich von dem episkleralen bzw. conjunctivalen Gewebe aus bei allen untersuchten Augen durch Wasserstoffsuperoxydinjektion mindestens ein Kanalsystem, in den meisten Fällen zwei Systeme gesetzmäßig und typisch füllen lassen, wovon das eine die *Bowmanschen Röhren*, das zweite die *Recklinghausenschen Saftlücken* darstellt. Auch die direkte Kommunikation mit den Lymphgefäßen des Cornealimbus wurde wiederholt gesehen.

Die weiteren Untersuchungen galten der Frage, ob auch das histologische Verhalten auf mikroskopischen Quer- und Flachschnitten mit dem Flächenbilde in Einklang zu bringen ist. Hornhäute vom Schwein, die nach H_2O_2 -Injektion dieses zweifache sauerstoffgefüllte Kanalsystem sehr deutlich zeigten, wurden nach der Gefriermethode behandelt und mit Hämatoxylin gefärbt. Die gasgedehnten Lymphräume blieben darnach zum Teil erhalten, und das mikroskopische Bild eines solchen

Hornhautquerschnittes ist genau dasselbe, wie das von *Virchow* in Graefe-Saemischs Handbuch von mit Farbinjektionen vorbehandelten Hornhäuten reproduzierte. Man sah auch hier ein intaktes Epithel in lückenloser, palissadenförmiger Anordnung. Das Hornhautparenchym zeigte keinerlei Einrisse oder durch äußere Gewalt entstandene „Sprenglücken“; zwischen den einzelnen Lamellen der oberen Schichten, ganz regelmäßig *zwischen den beiden obersten*, waren kreisrunde Hohlräume entstanden, deren Grenze von einer Membran, einem strukturlosen Häutchen, gebildet war. In den tieferen Schichten waren die Hohlräume von größerem Durchmesser und lagen deutlich *intralamellär*,

Abb. 5. Blutcapillarschlingen in der Cornea, rechts oben Saftlücken (Hund).

zwischen den Faszikeln, auch hier bewirkte eine Membran ihren kreisrunden Querschnitt. Daß die erstgenannten Hohlräume die gasgefüllten Saftlücken, die letzteren die *Bowmannschen Röhren* im Querschnitt darstellen, war nach den *Virchowschen* Abbildungen außer Zweifel. Von besonderer Bedeutung schien der Umstand, daß kein Endothelbelag die Kanalwände bildete, wie auch *Teichmann* bei seinen Lymphgefäßpräparaten auf keine Weise eine eigentliche Gefäßwand, manchmal dagegen ein ausgespanntes Häutchen finden konnte. Es muß also wohl die von *Bartels* aufgestellte Forderung, wonach alle zu den Lymphgefäßen zu rechnenden Gebilde eine eigene, *von Endothel bedeckte* Wand besitzen müssen, dahin erweitert werden, daß möglicherweise auch *strukturlose Membranen* imstande sind, präformierte, dem Lymph- und Saftstrom dienende Kanäle abzugrenzen.

Nach diesen Befunden scheint die Natur der *Bowmanschen* Röhren und der Saftlücken als Lymph- und Saftkanäle festzustehen. Daß es „Sprenglücken“ oder „Kunstprodukte“ sind, wie immer wieder betont wird, ist wohl dadurch ausgeschlossen, daß die Füllung mit Wasserstoffsuperoxyd von der *Conjunctiva* und der *Sklera* aus erfolgte, also von Geweben, von denen das eine (die *Sklera*) sehr wahrscheinlicherweise, das andere (die *Conjunctiva*) nachweislich ein reiches Lymphgefäßsystem besitzt, und die der Ausbreitung des Wasserstoffsuperoxyds und des abgespaltenen Gases günstigere Bedingungen bieten, als das straffe corneale Gewebe. Daß sich trotzdem ein so ausgedehntes Kanalsystem in demselben füllt, ist ein Beweis für das Vorhandensein *präformierter*, d. h. mit einer eigenen Wandung versehenen *Saftspalten*, die, ganz allgemein gesagt, von einer katalasehaltigen Flüssigkeit erfüllt sind. Daß sie mit Lymphgefäßen in Verbindung stehen, geht daraus hervor, daß sich von der Cornea aus die Lymphbahnen der Sklera füllen lassen. Die mikroskopischen Bilder endlich bringen den Nachweis, daß durch die Gasfüllung *keine Kunstprodukte* und *Sprenglücken* entstanden sind, und daß ferner die nach der *Magnusschen* Methode gefüllten Gefäße mit den früher beschriebenen und abgebildeten *Bowmanschen* Röhren und Saftlücken identisch sind. Wenn immer wieder darauf hingewiesen wird, daß die Cornea eine Sonderstellung dadurch einnimmt, daß ihr Wachstum mit dem 2. Lebensjahr abschließt und sich später die Zellen nicht mehr vermehren und sie also infolgedessen anderen Ernährungsbedingungen unterworfen ist und einen viel trägeren Stoffwechsel haben muß, als andere wachsende oder sich erneuernde Organe, so steht dem gegenüber die Notwendigkeit einer äußerst peinlichen *Flüssigkeitsbilanz*; jedes Zuviel an Wasser muß Quellung, jedes Zuwenig Eintrocknung und Schrumpfung bedingen, und damit die Festigkeit und Durchsichtigkeit verhängnisvoll beeinflussen. Die vorbildliche rasche Heilung von Hornhautwunden einerseits, und manche Hornhauterkrankungen, wie die Keratomalacie andererseits, sind ohne einen mit dem Blut- und Lymphstrom des übrigen Körpers in offener Kommunikation stehenden Gefäßsystem schwer zu erklären. *Leber* nimmt „Diffusionsströme“ an, die die Inter-cellularsubstanz durchsetzen, Ernährung und Ausscheidung, sowie die Aufrechterhaltung der Flüssigkeitsbilanz besorgen. Von der Natur dieser Diffusionsströme kann man sich keine rechte Vorstellung machen; plausibler erscheint es, die gesetzmäßig und typisch auftretenden Röhren und Netze als dem Lymphgefäßsystem des Körpers zugeordnet anzusehen, wofür die Resultate der *Magnusschen* Methode durchaus sprechen.

Unklar bleibt dabei nur die Richtung und der Mechanismus, mit welchem sich die Strömung vollzieht; man vermißt den einen Schenkel des Systems, von dem entweder nur der zuführende oder der abführende

Teil in Erscheinung tritt, es sei denn, daß die vordere Kammer als Quelle und Ursprung bei der Saftströmung eine gewisse Rolle spielt, wie übrigens auch *Leber* annimmt. Eine direkte oder indirekte Verbindung der cornealen Lymphgefäße zum Kammerwinkel konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

4. Die Lymphgefäße der Chorioidea und des Ciliarkörpers.

Die Lymphgefäße der Chorioidea sind von *Altmann* und später von *Alexander* mit der *Altmannschen Fettimprägnation* an Rinder- und Pferdeaugen dargestellt worden. Auf diese Weise gelang es, *unter dem Tapetum*, aber auch nur dort, auf mikroskopischen Flachschnitten ein Gefäßnetz sichtbar zu machen, das sich, wenn vorher von der Arteria ophthalmica aus die *Blutcapillaren* mit Berliner Blau gefüllt waren, von diesen deutlich abhob und nach Anordnung und Form zweifellos als Lymphgefäßnetz anzusehen war. Diese Arbeiten haben in der Literatur wenig Beachtung gefunden; so erwähnt *Leber* diese Lymphgefäße in Graefe-Saemischs Handbuch überhaupt nicht. Der *Methode* ist es wohl zuzuschreiben, daß an Augen ohne Tapetum, wie das menschliche Auge, diese Darstellung mißlang, vermutlich, weil hier die bedeckende Schicht, die Gefäßwandungen, nach der Retina zu gar zu dünn und zerreißlich waren. Die entgegengesetzten Vorbedingungen verlangt die *Magnussche Methode*, als hier gerade die *Dicke des Tapetum* eine Sichtbarmachung der gasgefüllten Räume ausschließt und die *dünnen Wandungen* der außerhalb des Tapetum liegenden Gefäße eine solche ermöglicht.

Die Bulbi der verschiedenen Säugetieraugen wurden etwa in der Mitte durchgeschnitten, so daß eine vordere und eine hintere Hälfte entstand. Der Glaskörper lief dann aus, und die Retina wurde an der Papille abgeschnitten. Der hintere Bulbusteil wurde nun auf einer Glasplatte befestigt, so daß er möglichst flach auflag. Auf das Pigmentepithel, resp. das Tapetum, wurde vorsichtig Wasserstoffsuperoxyd aufgetropft. In vielen Fällen war das Resultat absolut negativ, so, wie schon erwähnt, bei Rinder- und Schafaugen wegen des Tapetum, aber auch da, wo keine Pigmentschicht vorhanden war, also bei albinotischen Rattenaugen und beim Auge eines neugeborenen Kindes, wo diese Schicht sich in toto als Häutchen von der Chorioidea löste. Beim Schwein und Hund dagegen und bei Wiederkäuern *außerhalb des Tapetum* füllte sich ein reiches Gefäßnetz in der für Lymphkanäle typischen Weise. Es dehnte sich über die ganze Chorioidea, ja bis in den Ciliarkörper hinein, aus, und war mit Sicherheit auf dem Wege der Diffusion, *von der Fläche aus*, füllbar. (Abb. 6.) Dieser Umstand war insofern wichtig, als bei Einrissen ins Gewebe oder bei zu reichlichem Auftropfen von H_2O_2 *vom Rande her* sich sofort in größter Vollständigkeit die Gefäße der Choriocapillaris und der darunter liegenden Schicht füllten. Es

war in diesen Fällen anfangs nicht ganz leicht, die Blutcapillaren mit Sicherheit von den Lymphgefäßen zu unterscheiden, wie auch die Mikrophotogramme hier einigermaßen im Stiche lassen. Bei größerer Übung machte es aber keine Schwierigkeiten, zumal das Lymphgefäßnetz scheinbar *oberflächlich*, also retinalwärts, liegt. Auch der schon erwähnte Füllungsmodus half, Irrtümer auszuschließen. Die Choriocapillaris wies immer feinste mäanderartig verschlungene Gefäße auf, die sich ruckweise, mitunter wie huschend, mit Gas füllten, und diese Füllung alsbald wieder ausstießen. Die prachtvollen Bilder, die den schönen Injektionspräparaten von *Passera* in nichts nachstanden, waren infolgedessen kaum einigermaßen vollständig zu photographieren; so gibt

Abb. 6. Lymphgefäße der Chorioidea (Schwein). Vergr. 58fach.

auch Abb. 7 nur eine schwache Vorstellung davon. Die Schicht der großen Gefäße von der Chorioidea des Hundes mit ihren silberglänzenden, an Quecksilberröhren erinnernden Blutgefäßen zeigt Abb. 8. Am Menschenauge ließen sich die Lymphgefäßnetze auch darstellen, allerdings nur in geringerer Ausdehnung, was seinen Grund wohl in der nur mangelhaft entwickelten Pigmentschicht gerade dieser Augen hatte.

Abschließend ist also zu sagen, daß die Chorioidea ein wohlentwickeltes Lymphgefäßsystem besitzt, das an das *Pigmentepithel* irgendwie gebunden zu sein scheint, und das also, wenn sich dieser Zusammenhang bewahrheiten sollte, was noch zu untersuchen ist, tatsächlich zur *Retina* gehören würde.

Am *Corpus ciliare* ließ sich im Bereich des Orbiculus ciliaris das gleiche Bild, wie an der Chorioidea durch Auftropfen von Wasserstoffsuperoxyd gewinnen. Auch hier ein oberflächlich liegendes Lymphgefäßnetz, das

Abb. 7. Chorioicapillaris (Schwein). Vergr. 58fach.

Abb. 8. Stratum vasculare der Chorioidea (Hund).

aber nicht in die Processus ciliares zu verfolgen ist. Diese scheinen von der Oberfläche sichtbare Lymphgefäße nicht zu besitzen. Auch bei der Injektion füllten sich nur Blutgefäße, die ein bei binokularer Beobachtung sehr eindrucksvolles Bild mit schöner Tiefenwirkung darboten.

Man sah die steil aufgerichteten Fortsätze von einem silbern glänzenden Capillargeflecht in verschiedenen Lagen reich durchzogen, Bilder, die sich im Photogramm wegen der fehlenden stereoskopischen Wirkung nicht entsprechend wiedergeben lassen.

5. Die Lymphgefäße im Bereich der Iris und des Kammerwinkels.

Von besonderer Bedeutung sind von alters her die Verhältnisse des Lymph- und Saftstroms im Bereich der Iris und des Kammerwinkels gewesen wegen ihrer Beziehungen zum *Kammerwasserabfluß und zur Pathogenese des Glaukoms*. Es würde den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten, wenn die Erscheinungsformen und die Versuche, eine Theorie des Glaukoms aufzustellen, hier eingehend besprochen werden sollten. Nur einige modernere Arbeiten mit neuen Gesichtspunkten sollen hier Erwähnung finden, und im Anschluß daran, soll untersucht werden, was die *Magnussche* Methode zur Klärung dieses Problems leisten kann.

Es sind hier einmal die Arbeiten von *Hertel* zu nennen, der in der Beschaffenheit des Blutes, in einem Zuviel oder Zuwenig an Hormonen in pathologischen Veränderungen des osmotischen Drucks eine Ursache der intraocularen Drucksteigerung sieht. Er fand häufig „ein gewisses Parallelgehen von Augendrucksteigerung und Veränderung der Blutkonzentration“ bei dem Glaucoma simplex. Immerhin kann von einer gesetzmäßigen Beziehung beider keine Rede sein. *Seidel* hat durch eingehende biochemische, physikalische und mikroskopische Untersuchungen den Mechanismus der Kammerwasserabsonderung geklärt. Das *Ciliarkörperepithel sezerniert* nach ihm als echtes Drüsenepithel das Kammerwasser; der Vorgang ist also keine Filtration, wie *Leber* annimmt, sondern echte vitale Arbeit. Besondere Aufmerksamkeit hat er der Frage des Kammerwasserabflusses geschenkt. Er injizierte gefärbtes Wasser in die Vorderkammer und sah es in den episkleralen Gefäßen auftauchen. Er untersuchte das *Druckgefälle* zwischen der Kammer und dem *Schlemmschen* Kanal, ferner die Porengröße dieses Gefäßes im Vergleich zu denen der Iris, die er kleiner fand als die ersteren und er gewann die Überzeugung, daß der *Schlemmsche Kanal*, nicht die Iris den Hauptabflußweg des Kammerwassers bildet, und daß der akute Glaukomanfall eine „*Incarzeration der Uvea*“ vorstellt.

Die schon mehrfach erwähnte neue Untersuchungsmethode von *Koepp*e mit der *Gullstrandschen* Nernstspaltlampe hat auch hier zu überzeugenden und schönen Ergebnissen geführt. *Koepp*e sagt, daß die *Iris*, wie sie sich am lebenden Auge darstellt, keine eigentliche Membran, sondern ein Schwammwerk, ein Geflecht von Bälkchen und Leisten mit ausgesparten Krypten sei, die von einem „spinnwebfeinen Etwas“ überzogen wären. Die Irisblutgefäße mit ihren auffallend dicken Wan-

dungen, die einigermaßen vollständige Farbinjektionspräparate meist nicht gelingen lassen, seien in ein „wolliges Adventitialgewebe“ gebettet. Dieser Bau deutet auf die hervorragenden aufsaugenden Fähigkeiten dieses Organes nach Art eines Schwammes hin. Einen Zusammenhang der Krypten und Lymphräume der Tiefe hat auch *Koepppe* nicht aufdecken und ebensowenig eigentliche Lymphgefäße in der lebenden Iris mit Sicherheit nachweisen können. Nach ihm kommt also den *Irisporen* die wichtigste Rolle beim Kammerwasserabfluß zu und der weitere Weg würde dann in den Iris- und Ciliarvenen zu suchen sein. Seine Lehre von der *Pigmentverschiebung* beim Glaukom scheint diese Auffassung zu stützen. In zahlreichen Glaukomfällen fand er die Iris und den Kammerwinkel mit staubförmigem, schwarzbraunem Irispigment bedeckt, das die Irisporen verstopft und eine Verengung der abführenden Saftbahnen zur Folge hat. Acht Fälle mit deutlicher Pigmentverschiebung ohne anfängliche Drucksteigerung, sah er nach und nach in manifeste Glaukome übergehen. Die Ursachen dieser pathologischen Pigmentwanderung sollen hier nicht näher erörtert werden, da sie bisher noch zum Teil ins Reich der Hypothese gehören.

Abgesehen von dieser neuesten von *Koepppe* vertretenen Ansicht, steht bei allen Autoren, auch bei *Seidel*, im Mittelpunkt des Interesses der *Schlemmsche Kanal*. Der Entdecker selbst fand ihn 1827 bei Erhängten mit Blut gefüllt. Später gingen die Meinungen, ob er als Blut- oder als Lymphgefäß anzusehen sei, auseinander. In neuerer Zeit einigte man sich dahin, daß er zwar ein Blutgefäß sei, unter normalen Umständen aber eine klare Flüssigkeit (Kammerwasser) und nur bei Stauungszuständen Blut führt. *Salzmann* sah ihn bei seinen Beobachtungen mit dem Augenspiegel als grauliches Band durchschimmern, das „manchmal eine rötliche Färbung“ zeigte. Er ist übrigens keineswegs bei allen Säugetieren vorhanden; so fehlt er bei Pferd und Katze. Und auch da, wo er angelegt ist, tritt er unter höchst variabler Gestalt, bald mehr als Rundgefäß, bald mehr als Plexus auf.

Die für das Problem noch interessierenden „Lymphräume“: der *Fontanasche Raum*, das *Irisgerüstwerk*, das *Ligamentum pectinatum* sind Maschenwerke von bei den einzelnen Tierarten und beim Menschen sehr verschiedenen Gestaltung und Ausdehnung.

Bei Anwendung der *Magnusschen Methode* wurde die Irisvorderfläche zunächst durch die intakte Hornhaut beobachtet, was, da diese sich rasch trübte, ergebnislos verlief. Wurde Wasserstoffsuperoxyd durch die *Hornhaut* in die Vorderkammer injiziert, so war das Resultat, abgesehen von einer umschriebenen Füllung der *Bowmanschen Röhren* und der Saftlücken um die Einstichstelle herum, gleichfalls negativ. Das Kammerwasser enthält keine Katalase.

Nun wurde die Cornea am Corneoskleralrande vorsichtig abgetragen

und die Iris direkt beobachtet. Da zeigte sich dasselbe Bild, das *Koepppe* entwirft; ein grobmaschiges Netzwerk, mit Bälkchen und Lücken, wobei Anordnung und Pigmentierung entsprechend der Tierart natürlich verschieden waren. Zu den weiteren Untersuchungen kamen vor allem Schweine, Schaf und wenig pigmentierte Menschaugen zur Verwendung, da sie untereinander den ähnlichsten Bau aufweisen und die Beobachtung durch keine zu dicke Pigmentschicht gestört wird.

Tropft man Wasserstoffsuperoxyd vorsichtig auf die Irisvorderfläche des Schweineauges, so wird es gierig von den „Schwammporen“ aufgesaugt und die zahlreich ausgestoßenen Blasen beweisen, daß sich in den Krypten eine katalasehaltige Flüssigkeit befindet. Doch nur ein

Abb. 9. Lymphräume der Iris (Schwein). Vergr. 58fach.

kleiner Teil des entwickelten Sauerstoffs wird wieder ausgestoßen, der größte Teil erscheint in den Hohlräumen der Iris unter einem feinen pigmentierten Netzwerk und bildet ein an vielen Stellen kommunizierendes Kanalsystem (Abb. 9). Dieselbe Erscheinung fand sich am Leichenaugen eines erwachsenen Mannes. Daß die gasgefüllten Hohlräume keine Blutgefäße sind, geht aus ihrem Kaliber und ihrer Form hervor. Das reiche Blutgefäßgeflecht wurde *durch Injektion* von Wasserstoffsuperoxyd in die Iris von albinotischen Ratten und von einem neugeborenen Kind dargestellt. Abb. 10 gibt diese Verhältnisse beim Rattenauge wieder. Man sieht hier das feine Stromagespinnst durchzogen von einer großen Menge von Blutgefäßen in regelmäßiger Anordnung und von gesetzmäßigem Kaliber. Hier deutet nichts auf die Anwesenheit von Lymphspalten, wie überhaupt das Rattenauge bei der Darstellung der Lymphgefäße des *inneren* Auges versagt. Die Blutgefäße der Iris eines neu-

geborenen Kindes boten gleiche Verhältnisse, wie die der Ratte, nur war das Kaliber natürlich um das Vielfache stärker, und die Gefäßwände waren erheblich dicker.

Die Ansicht der Iris von der Vorderfläche konnte zu keinen Aufschlüssen über die Verhältnisse in der Kammerbucht führen. Deshalb wurde weiterhin eine andere Versuchsanordnung gewählt. Die Augen wurden wieder in eine vordere und eine hintere Hälfte zerteilt, wie früher bei der Chorioidea beschrieben, und der vordere Teil nach vor-

Abb. 10. Blutgefäße der Iris (Ratte). Vergr. 58fach.

sichtiger Entfernung der Linse mit der Hinterfläche nach oben auf eine Glasplatte gespannt. Man sah nun auf die pigmentierten Flächen der Iris und des Corpus ciliare. Durch die Pupille schimmerte der zentrale Teil der Cornea hindurch. Auftropfen von Wasserstoffsuperoxyd auf die Irishinterfläche führte zu keinen Resultaten; es wurde weder resorbiert, noch auch freier Sauerstoff abgespalten. Die Injektion führte zum gleichen negativen Ergebnis, da die Pigmentschicht zu dicht ist, das darunterliegende Irisgewebe verbirgt und selbst offenbar keine Saftbahnen enthält. Darauf wurde nach einigen Einschnitten in die Iris, diese nach hinten umgeklappt, unter möglichster Schonung des Gerüstwerks, so daß jetzt am weitesten nach außen die Irisvorderfläche, daneben die eröffnete Kammerbucht vor Augen lag. Man sah nun, dank

der binokularen Anschauungsweise, sehr deutlich und mit schöner Tiefenwirkung den Übergang der Iris in das System von Bälkchen und Leisten des Gerüstwerks, und von dort nach oben dem Beschauer entgegen in das Lig. pectinatum und die Sclera. Das Bild war natürlich immer etwas anderes, je nachdem von welchem Tiere das untersuchte Auge stammte. Beim Menschen ist das Gerüstwerk nur andeutungsweise vorhanden, dagegen bei Schaf und Schwein gut entwickelt. Vom *Schlemmschen Kanal* war bei dieser

Darstellungsweise nichts zu entdecken.

Abb. 11. Lymphat. Kranzgefäß der Kammerbucht (Schwein).

Die jetzt zu beschreibenden Beobachtungen wurden zunächst alle am Schweinsauge ausgeführt, das die besten Untersuchungsbedingungen bot. In den auf diese Weise sichtbar gemachten Kammerwinkel wurde nun vorsichtig mit einer feinen Kanüle Wasserstoffsuperoxyd getropft. Sofort sah man, wie sich die Iriskrypten in der beschriebenen Weise füllten, wie Sauerstoffblasen wieder entbunden wurden. Gleichzeitig füllte sich *von der Iris aus* das Gerüstwerk, ein System unregelmäßig gestalteter bauchiger Räume, und als bedeutsamste Erscheinung im Lig. pectinatum, an der Stelle, wo man

in der Tiefe den *Schlemmschen Kanal* vermuten mußte, tauchte ein gegen die Cornea streng abgegrenztes zirkulär verlaufendes Gefäßbündel auf, das in derselben Gestalt um den ganzen inneren Sclerarand herum lief (Abb. 11). Der Lage nach konnte man es für den *Schlemmschen Kanal* halten, obgleich dieser eigentlich tiefer im Gewebe liegen mußte. Seiner Gestaltung und seinem Füllungsmodus nach mußte es aber ein *Lymphgefäß* sein, das mit den Iriskrypten und dem Gerüstwerk und dadurch mit den Augenkammern in direkter Kommunikation stand. In der Literatur ist ein solcher Gefäßkranz nirgends beschrieben.

Die Untersuchungen am Menschaugen führten zu einer gewissen Lösung der Frage. Auch hier war dieses zirkuläre Gefäßbündel vor-

handen (Abb. 12). Die Füllung geschah auch hier, wie oben beschrieben, von den Iriskrypten durch die Fontanaschen Räume, aber auch — und das war das Besondere —: *direkt von der Kammer aus*. Es mußten also Öffnungen, nach Art der Stomata, dieses Gefäß nach der Kammer zu durchbrechen; *bewiesen* wurde ihr Vorhandensein dadurch, daß nach zu reichlicher Füllung vereinzelte Gasblasen aus dem Gefäß wieder entbunden und ausgestoßen wurden. Auch *Leber* spricht von einer offenen Verbindung zwischen dem Lückensystem des Lig. pectinatum und der Vorderkammer, nur kennt er *kein geschlossenes Gefäßsystem* am Lig. pectinatum, das dem von uns gesehenen entspricht.

Abb. 12. Lymphat. Kranzgefäß in der Kammerbucht (neugeb. Kind).

Im Verlauf der Untersuchung, als das Gewebe und mit ihm die Blutgefäße der Iris verschiedentlich eingerissen waren, zeigte sich auf einmal in der Tiefe an manchen Stellen ein Teil *eines gasgefüllten Randgefäßes* von ziemlich ansehnlichem Kaliber, dessen Füllung nach Art des Verhaltens der Blutgefäße sehr unbeständig und flüchtig war. Dieses Gefäß lag genau unter dem Gefäßkranz, also in Wirklichkeit mehr nach der äußeren Oberfläche der Sclera zu, und es konnte kein Zweifel bestehen, daß dieses der *Schlemmsche Kanal* war.

Der *Kammerwasserabfluß* würde sich also nach den mit der *Magnus*-schen Methode gewonnenen Ergebnissen folgendermaßen gestalten: Resorption durch die Irisporen, durch das Gerüstwerk und vermutlich auch direkt durch das zirkuläre Gefäßbündel, sonst jedenfalls Weiterleitung in dieses und mutmaßlich in die Lymphscheiden der Episcleral- und Vortexvenen, was bisher allerdings noch nicht bewiesen werden

konnte. Da aber eine Kommunikation vom Irismaschenwerk zu einem gut abgegrenzten Lymphgefäß sicher steht, so muß wohl angenommen werden, daß der Abfluß auch auf dem *Lymphwege* weiter erfolgt, zumal ja die Vortexvenen mit Sicherheit Lymphscheiden besitzen. Man umgeht auf diese Weise die peinliche Vorstellung des Übergangs von Kammerwasser aus Lymphspalten direkt in Blutgefäße, der ohne Analogon in der Kreislaufphysiologie wäre.

Daß dieses lymphatische Kranzgefäß nicht eher gefunden wurde, liegt m. E. an der Zerreißlichkeit des umgebenden Gewebes, das den in das Gefäß eindringenden Farblösungen keinen Widerstand bietet, und ferner daran, daß es auf demselben Querschnitt liegt wie der *Schlemmsche* Kanal, der es von außen überdeckt und als größeres Gefäß mit ausgesprochenen Wandungen das Interesse vorwiegend in Anspruch genommen hat. Man gewinnt den Eindruck, als sei ihm seit seiner Entdeckung eine unverhältnismäßige Bedeutung beigemessen worden. Möglicherweise ist er nur als Nebenschließung für die Blutzirkulation der vorderen Bulbushälfte anzusehen, die ausschließlich bei in diesem Bereich besonders verhängnisvollen Stauungen in Wirksamkeit tritt. — Die deutliche Füllung der episcleralen Blutgefäße, die *Seidel* nach Farbinjektionen in die Vorderkammer findet, kann ebensowohl die perivaskulären Lymphscheiden betreffen, was weder bei direkter Beobachtung noch auf mikroskopischen Schnitten auseinander zu halten sein wird.

Bei den übrigen von uns untersuchten Säugetieraugen, so bei Rind und Schaf, ist der Lymphgefäßkranz im Lig. pectinatum nicht in der beschriebenen Weise sichtbar gewesen, doch sind diese Untersuchungen noch nicht abgeschlossen.

Eine weitere Aufgabe wird sein, die Augen mit kongenitalem Glaukom, den Buphthalmus und den Hydrophthalmus auf ihre Lymphgefäße im Bereich der Kammerbucht hin zu erforschen. Vielleicht gelingt es auf diese Weise, wichtige Aufschlüsse über die Glaukompathogenese zu erhalten.

Herrn Professor *Magnus* sage ich am Schlusse dieser Arbeit für die freundliche Überlassung derselben meinen aufrichtigen Dank.

Literaturverzeichnis.

- ¹⁾ *Alexander*, Die Lymphcapillaren der Chorioidea. Arch. f. Anat. u. Physiol., Anat. Abt. 1889. — ²⁾ *Bartels*, Das Lymphgefäßsystem. Fischer, Jena. 1909. — ³⁾ *Fuchs*, Lehrbuch der Augenheilkunde. 1921. — ⁴⁾ *Gutmann*, Über die Natur des *Schlemmschen* Sinus und seine Beziehungen zur vorderen Augenkammer. Arch. f. Ophthalmol. **41**. 1895. — ⁵⁾ *Hertel*, Weiterer Beitrag zur Lehre vom Augendruck. Ber. d. Ophthalmol. Ges. Heidelberg. 1918. — ⁶⁾ *Hertel* u. *Citron*, Über den osmotischen Druck des Blutes beim Glaukomkranken. Arch. f. Ophthalmol. **104**. 1921. — ⁷⁾ *Huß*, Über den Einfluß des Wasserstoffsperoxyds (*Merck*) auf das Auge

und dessen Verwendbarkeit in der Augentherapie. Monatsbl. f. Augenheilk. 1902, II. — ⁸⁾ *Koepe*, Die Rolle des Irispigments beim Glaukom. Ber. d. Ophthalmol. Ges. Heidelberg 1916. — ⁹⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen mit der Nernstspaltlampe und dem Hornhautmikroskop, II. Mit. Arch. f. Ophthalmol. **92**. 1917. — ¹⁰⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw., IV. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **92**. 1917. — ¹¹⁾ Klinische Beobachtungen usw., V. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **93**. 1917. — ¹²⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw., VI. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **33**. 1917. — ¹³⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw. VII. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **94**. 1917. — ¹⁴⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen, XI. Mitt. usw. Arch. f. Ophthalmol. **96**. 1918. — ¹⁵⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw., XII. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **97**. 1918. — ¹⁶⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw. XV. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **98**. 1918. — ¹⁷⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw. XVI. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **98**. 1919. — ¹⁸⁾ *Koepe*, Klinische Beobachtungen usw., XVI. Mitt. Arch. f. Ophthalmol. **98**. 1919. — ¹⁹⁾ *Koepe*, Über den derzeitigen Stand der Glaukomforschung an der *Gullstrand*schen Nernstspaltlampe. Zeitschr. f. Augenheilk. **40**. 1918. — ²⁰⁾ *Koepe*, Die stereomikroskopische Sichtbarmachung des lebenden intrafaszikulären Kittliniensystems der Hornhautlamellen. Münch. med. Wochenschr. 1920. — ²¹⁾ *Koepe*, Die Mikroskopie des lebenden Kammerwinkels im fokalen Licht der *Gullstrand*schen Nernstspaltlampe. Arch. f. Ophthalmol. **101**. 1920. — ²²⁾ *Koepe*, Das biophysikalisch-histologische Verhalten des lebenden Augengewebes unter normalen und pathologischen Bedingungen. Arch. f. Ophthalmol. **102**. 1920. — ²³⁾ *Koepe*, Das stereomikroskopische Bild des lebenden Kammerwinkels an der *Gullstrand*schen Nernstspaltlampe beim Glaukom. Ber. d. Ophthalmol. Ges. **42**. 1920. — ²⁴⁾ *Krücke*, Über Lymphbahnen der Retina. Ber. d. Ophthalmol. Ges. Heidelberg. 1916. — ²⁵⁾ *Krusius*, Über subconjunctivale Perhydroinjection und ihre Verwendung zur experimentellen und anatomischen Darstellung des Ausbreitungswegs subconjunctivaler Einspritzungen. Arch. f. Ophthalmol. **64**. 1909. — ²⁶⁾ *Leber*, Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Graefe-Saemischs Handb. der Augenheilk. II. 2. 1903. — ²⁷⁾ *Levinsohn*, Zur Pathogenese des Glaukoms. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. **61**. 1918. — ²⁸⁾ *Magnus*, Die Darstellung der Lymphwurzeln in menschlichen und tierischen Geweben, ihr Verhalten an serösen Häuten und ihre Bedeutung für deren Pathologie. Dtsch. Zeitschr. f. Chir. 1922. — ²⁹⁾ *Magnus*, Chirurgenkongreß 1922. — ³⁰⁾ *Merkel* u. *Kallius*, Makroskopische Anatomie des Auges. Graefe-Saemischs Handb. d. ges. Augenheilk. **1**, 1. — ³¹⁾ *v. Recklinghausen*, Das Lymphgefäßsystem. Strickers Handb. d. Gewebelehre **1**. — ³²⁾ *Salzmann*, Anatomie und Histologie des menschlichen Auges im Normalzustande. Leipzig-Wien 1912. — ³³⁾ *Salzmann*, Die Ophthalmoskopie der Kammerbucht. I., II. Zeitschr. f. Augenheilk. **31**; 1914 und **34**; 1915. — ³⁴⁾ *Seefelder*, Das Verhalten der Kammerbucht und des Gerüstwerkes bis zur Geburt. Graefe-Saemischs Handb. f. d. ges. Augenheilk. **1**, 1. — ³⁵⁾ *Seidel*, Experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. Arch. f. Ophthalmol. **95**. 1918. — ³⁶⁾ *Seidel*, Weitere experimentelle Untersuchungen usw. I. Arch. f. Ophthalmol. **101**. 1920. — ³⁷⁾ *Seidel*, Weitere experimentelle Untersuchungen usw. II, III, IV, V. Arch. f. Ophthalmol. **102**. 1920. — ³⁸⁾ *Seidel*, Weitere experimentelle Untersuchungen usw. VI, VII, VIII, IX. Arch. f. Ophthalmol. **104**. 1921. — ³⁹⁾ *Seidel*, Weitere experimentelle Untersuchungen usw. XII, XIII. Arch. f. Ophthalmol. **107**. 1922. — ⁴⁰⁾ *Teichmann*, Das Saugadersystem. Leipzig 1861. — ⁴¹⁾ *Uribe-Troncoso*, The physiologic nature of the Schlemm Canal. Ref. Centralbl. f. Ophthalmol. **6**. — ⁴²⁾ *Virchow*, Mikroskopische Anatomie der äußeren Augenhaut und des Lidapparats. Graefe-Saemischs Handb. d. ges. Augenheilk. **1**, 1. — ⁴³⁾ *Vogt*, Die Sichtbarkeit des lebenden Hornhautendothels. Arch. f. Ophthalmol. **101**. 1920.