Untersuchungen über eine Strömung in der vorderen Augenkammer.

Von

Dr. Siegmund Türk,
Augenarzt in Berlin.

Mit Taf. XIV, Fig. 1—10.

Unter normalen Verhältnissen ist in der Vorderkammer des menschlichen Auges und der ihm ähnlich gebauten Tieraugen von einer Strömung nichts zu sehen. Eine solche kann aber normalerweise hier auch nicht sichtbar werden, selbst wenn sie vorhanden ist. Denn in einem geschlossenen, mit Flüssigkeit völlig gefüllten Raume wird eine Strömung immer nur dann in Erscheinung treten, wenn entweder sichtbare geformte Elemente oder anders gefärbte Teile der Flüssigkeit selbst sich in dieser mit der Strömung bewegen. Keine dieser beiden Bedingungen bietet das normale Kammerwasser.

Was aber am Tierauge zu beobachten ist, wenn wirklich ein Farbstoff in die vordere Augenkammer eintritt, darauf ist vor Jahren schon von Ehrlich¹⁾ hingewiesen worden. Wenn man einem Kaninchen in genügender Menge Fluorescein in die Lymph- oder Blutbahn einführt, so zeigt sich nach kurzer Zeit in der Mitte der vorderen Augenkammer eine meist unmittelbar an der hinteren Hornhautwand verlaufende, scharf begrenzte, senkrechte grüne Farbstofflinie. Diese Linie weist in ihrer Form und Lage Verschiedenheiten auf, die auch bei ein und demselben Tiere in schneller Folge nacheinander auftreten können. Sie wird bald heller, bald dunkler oder auch für kurze Zeit ganz unsichtbar. Jetzt erscheint sie schmal, dann wieder breiter; bald ist sie scharf begrenzt, bald geht sie auf ihrer einen Seite in ein schwächer gefärbtes grünes Feld über, das die ganze Hälfte der Kammer einnimmt. Sie kann oben und unten

¹⁾ P. Ehrlich, Über provozierte Fluorescenz-Erscheinungen am Auge. Deutsche med. Wochenschr. 1882. Nr. 2 ff.

bis zum Kammerwinkel reichen oder in wechselnder Höhe, besonders oben, sich in zwei divergierende Schenkel teilen oder sich auch in ihrer ganzen Ausdehnung verdoppeln. Bisweilen wandert sie von der Mitte der Kammer eine kleine Strecke seitwärts, um dann wieder an ihre frühere Stelle zurückzukehren.

Die Deutlichkeit dieser Erscheinungen nimmt im Laufe von 1 bis 2 Stunden allmählich bis zum völligen Verschwinden ab, indem sich die grüne Färbung mehr und mehr dem ganzen Kammerwasser mitteilt.

Um die Erklärung des merkwürdigen Phänomens haben sich eine Reihe von Forschern bemüht.

Nach Ehrlichs Ansicht selbst sollte die Linie der Ausdruck eines Flüssigkeitswirbels sein, hervorgerufen durch das Zusammenreffen zweier entgegengesetzter, horizontal verlaufender Ströme, die von je einem, wie er meinte, in der Peripherie der Iris nasal und temporal gelegenen Sekretionszentrum ihren Ausgang nähmen.

Nicati¹⁾ sah in der Linie den Beweis für das Vorhandensein eines doppelten Rotationsstromes, der die Vorderkammer in zwei senkrechte Hälften teile. Als Ursache dieser Strömung, die er in der Mitte der Vorderkammer aufwärts, in ihrer Peripherie an beiden Seiten abwärts ziehen lässt, vermutete er eine Übertragung der „Vibrationen“ des im grossen arteriellen Iriskreise cirkulierenden Blutes auf den Humor aqueus. Diese Theorie einer mechanisch wohl undenkbaren Fortpflanzung von Gefässströmung auf Flüssigkeit ausserhalb der Gefässwand setzte überdies noch voraus, dass der Blutstrom im grossen Iriskreise sich am oberen oder unteren Ende des vertikalen Vorderkammermeridians in zwei Halbkreise nach beiden Seiten teile.

Gemeinsam ist den Theorien Ehrlichs und Nicatis, dass sie die Richtung der Ehrlichschen Fluoresceinlinie²⁾ für gebunden an bestimmte Punkte der Vorderkammer erachten. Gerade damit jedoch erweisen sich beide Erklärungsversuche als unhaltbar. Denn durch eine Reihe von Beobachtern³⁾, denen ich mich auf Grund eigener Versuche anschliessen muss, ist der Nachweis erbracht, dass sich die

¹⁾ Nicati, La glande de l'humeur aqueuse etc. Arch. d'Ophthalm. Tom. XI. p. 31 ff. 1891.

²⁾ Sie soll im Folgenden der Kürze wegen hier nur „E.-Linie“ genannt werden.

³⁾ Ulrich, Arch. f. Augenheilk. Bd. XII. S. 153 ff. 1883.

Ehrenthal, Inaug.-Dissert. Königsberg 1887. S. 33.

Gifford, Arch. f. Augenheilk. Bd. XXVI. S. 313. 1893.

Linie bei Drehung des Auges immer wieder senkrecht stellt. Hieraus aber folgt, dass sie nicht in einer festen Beziehung zu gewissen Punkten der Irisperipherie stehen kann, sondern dass sie, wie immer sie auch sonst zu erklären sei, schliesslich doch von der Schwerkraft abhängen muss.

So geht denn heute im allgemeinen auch die herrschende Ansicht dahin, dass die E.-Linie lediglich durch Senkung von fluoresceinhaltigem und deshalb schwererem Kammerwasser entstehe, das oben aus der Iris oder dem Kammerwinkel hervortrete.

Jedoch einwandsfrei ist auch diese Erklärung nicht, und ich möchte folgende Bedenken gegen sie geltend machen.

1. Wenn in der E.-Linie schwereres Kammerwasser einfach nach unten sinken würde, so müsste dieser Vorgang zur Bildung einer hypopyonähnlichen Ansammlung grüner Flüssigkeit in den unteren Teilen der Vorderkammer führen. Derartiges ist bei den Fluoresceinmassen, die nach Punktion der Vorderkammer aus der Pupille hervortreten, wohl zu beobachten. Am unverletzten Auge aber, um das es sich hier handelt, tritt im Anschluss an die Bildung einer E.-Linie niemals ein solches Fluoresceinhypopyon auf. Auch ergreift die zunehmende diffuse Grünfärbung des Humor aqueus nicht zuerst dessen tiefste Teile, sondern verbreitet sich gleichmässig über die ganze Vorderkammer.

2. In der weitaus grössten Zahl der Beobachtungen zieht die E.-Linie — gemäss der auch von Ehrlich selbst gegebenen Beschreibung — dicht an der hinteren Hornhautwand entlang. Würde es sich hier um einen einfachen Senkungsvorgang handeln, so wäre aber eher zu erwarten, dass der kürzeste Weg von oben nach unten in der Linie zum Ausdruck käme, dass diese also unmittelbar vor der Iris verlief. Es ist die Vermutung geäussert worden, dass die Lage an der hinteren Hornhautwand vielleicht auf die Einwirkung einer von der Pupille ausgehenden Strömung zu beziehen sei. Allein es lässt sich schwer vorstellen, dass eine solche Strömung, wenn sie stark genug wäre, die Lage der Linie in diesem Sinne zu beeinflussen, nicht auch in irgend einer Weise auf die Schärfe ihrer Form störend einwirken müsste.

3. Beim Auftreten der typischen E.-Linie lässt sich nicht beobachten, was man doch nach der gegebenen Erklärung erwarten sollte, dass sich etwa ein Tropfen fluoresceinhaltiger Flüssigkeit im Kammerwinkel sammelt und herunterfliessend die E.-Linie zeichnet.

Vielmehr ist die Entstehung der Linie fast immer eine so unmerkliche, dass sie nur als fertiges Ganzes in Erscheinung tritt.

4. Es muss ferner als auffällig bezeichnet werden, dass der behauptete Senkungsvorgang zur Bildung solcher Farbstofflinien nicht im ganzen Bereich der oberen Hälfte des Kammerwinkels und nicht in grösserer Anzahl führt¹⁾, sondern meist nur eine E.-Linie oder Doppellinie und zwar in oder' nahe der Mitte hervorbringt. Die hierfür gegebene Erklärung, dass in den nicht zentral gelegenen Teilen des Kammerwinkels die Farbstofftropfen einem Übergewicht seitlicher Anziehung folgen und so, ohne sich loszulösen, im Kammerwinkel nach unten gleiten, kann wohl für dessen seitlichste Teile, aber schwerlich für seinen ganzen oberen, neben der Mitte gelegenen Rand annehmbar erscheinen.

5. Am entschiedensten schliesslich spricht gegen diese Beurteilung der E.-Linie eine Erscheinung, die sonst wenig Beachtung gefunden hat, von Nicati jedoch hervorgehoben und als Beweis für das Vorhandensein einer Strömung in der Vorderkammer in Anspruch genommen wurde. Die Erscheinung ist zu beobachten, nachdem die Fluorescein-Ausscheidung in der Kammer während einiger Zeit stattgefunden hat. Es zeigt sich dann zeitweise an Stelle der gewöhnlichen, grünen E.-Linie auf farblosem Grunde gewissermassen deren Negativ: eine ungefärbte, also dunkle, senkrechte Linie zwischen den beiden diffus grün gefärbten Kammerhälften. Nach meiner Beobachtung lässt sich das Phänomen manchmal auch dadurch hervorrufen, dass das Versuchstier zunächst eine Zeitlang seitlich gelagert und dann wieder aufgerichtet wird. In dem nach seitlicher Lagerung (also horizontaler Irisstellung) diffus gefärbten Kammerwasser tritt zuweilen gerade nach dem Wiederaufrichten die ungefärbte E.-Linie auf.

Dieses Negativ der E.-Linie, das doch, seiner ganzen Erscheinungsform nach, offenbar auf denselben Vorgang zurückgeführt werden muss wie das Positiv, lässt sich nun in der Tat gar nicht mit der Vorstellung vereinigen, dass der Fluoresceingehalt es sei, der die durch ihn beschwerten Teile des Kammerwassers zum Sinken veranlasse und damit die Bildung der E.-Linie bewirke. Denn die negative E.-Linie besteht ja gerade aus farbstofffreier Flüssigkeit.

¹⁾ Nur bei enger bzw. verengter Pupille kommt dies nach Wesselys Beobachtung (v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. L. 1. S. 139) vor, offenbar im Zusammenhang mit der abnorm reichlichen Fluorescein-Ausscheidung, die durch die Entspannung aller Irisgefässe herbeigeführt wird.

Berücksichtigt man diese vielen Bedenken und Widersprüche, so wird es berechtigt erscheinen, die Entstehung der E.-Linie als eine Frage zu behandeln, der eine völlig befriedigende Antwort immer noch nicht zu teil geworden ist.

Für ihre Beurteilung ist nun bisher ein Moment völlig unbeachtet geblieben, dem doch, wie ich glaube, eine entscheidende Bedeutung gebührt. Es ist dies die Tatsache, dass es sich bei der Vorderkammer um einen mit Flüssigkeit gefüllten Kugelabschnitt mit senkrechter Basis¹⁾ handelt, dessen Wände ungleich erwärmt sind. Die hintere Wand besitzt eine höhere Temperatur als die vordere. Erstere, von Iris und Linse gebildet, kann in ihrer Temperatur nicht weit von der des Körperinneren entfernt sein. Hingegen muss die Temperatur der Vorderwand, nämlich der Hornhaut, infolge der unmittelbaren Wärmeabgabe an die atmosphärische Luft sowie durch die dauernde Verdunstung von Flüssigkeit an ihrer Oberfläche eine wesentlich niedrigere sein. Dieser schon auf Grund theoretischer Erwägungen vorauszusetzende Sachverhalt ist durch experimentelle Untersuchungen, die v. Michel²⁾ und später Sillex³⁾ vorgenommen haben, sichergestellt worden. Es geht aus diesen Untersuchungen hervor, dass beim Kaninchen im allgemeinen die Temperatur der Hornhautlamellen um 4° unter derjenigen des Kammerwassers, um 7° unter der der Linse und um 9,6° unter der Temperatur des (der Rectumwärme bis auf 0,36° nahe kommenden) Irisgewebes liegt (Sillex). Im Kammerwasser selbst wiederum ist die Temperatur höher in der Nachbarschaft der Iris, niedriger in der Nähe der Hornhaut gemessen worden.

Von vornherein schon ist bei dieser Art der Wärmeverteilung zu vermuten, dass sie zur Entstehung von Strömungen in dem ungleichmässig erwärmten Flüssigkeitsabschnitt führen muss. Für diese Annahme fand ich eine Stütze zunächst in Experimenten, die ich mit einer der Vorderkammer ähnlich geformten Glaskammer, unter Schaffung entsprechender Temperaturbedingungen, vornahm. Es zeigte sich hier eine Strömung von ganz gesetzmässigem und im Hinblick auf die uns beschäftigende Frage sehr eigentümlichem Verlaufe.

Der betreffende Versuch lässt sich recht einfach in folgender Weise gestalten.

¹⁾ Senkrecht natürlich nur bei gewöhnlicher, aufrechter Körperhaltung.

²⁾ Zur Temperatur-Topographie des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XXXII. 1. S. 226 ff.

³⁾ Arch. f. Augenheilk. Bd. XXVI. S. 141 ff.

Ein dünnes Uhrglasschälchen von beliebiger Grösse — ich benutzte vorwiegend ein solches mit 4 cm langem Basisdurchmesser, aber auch andere mit Durchmesser von 2 und 6 cm Länge — wird mit einer viereckigen, etwa 1,5 mm starken, ungefähr 9:13 cm grossen, planparallelen Glasplatte zugedeckt und zwar zunächst nur so weit, dass am Rande des Uhrglases noch Platz zu seiner Füllung mit Wasser bleibt. Ist diese bis zum Überlaufen vollendet, so lässt sich die Glasplatte leicht derart herüberschieben, dass sich das Uhrglas, ganz mit Flüssigkeit gefüllt, ungefähr unter der Mitte der Platte befindet. Jetzt wird diese, mit dem Uhrglas zum Beschauer gewandt, senkrecht aufgerichtet und in dieser Stellung gestützt, wobei ein oder zwei Kittpartikel oder ein Heftpflasterstreifen, auf der Platte am unteren Rande des Uhrglases befestigt, dessen Heruntergleiten verhindern. Hinter die Glasplatte wird bis zur unmittelbaren Berührung mit ihr ein planwandiges, mit wärmerem oder heissem Wasser gefülltes Gefäss gestellt.

Bei dieser Anordnung entsteht in der Uhrglaskammerflüssigkeit sofort eine Strömung, deren Vorhandensein und Verlauf — in Übereinstimmung mit den einleitenden Sätzen dieser Arbeit — ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel nicht sichtbar ist, dagegen nach Zusatz gefärbter Flüssigkeit alsbald in Erscheinung tritt. Ich habe zu diesem Zwecke mittels einer Pipette an beliebigen Stellen des seitlichen Uhrglasrandes Tröpfchen einer dünnen Fluoresceinlösung¹⁾ in die Kammer hineinlaufen lassen. Es gelingt dies fast immer ohne Schwierigkeit, besonders leicht aber in senkrechter Uhrglasstellung, anscheinend weil hier die Kammer infolge des Zuges, den das senkrecht an der Platte haftende gefüllte Uhrglas ausübt, eine gewisse Saugwirkung entfaltet. Sowie nun ein solches Fluoresceintröpfchen in den peripheren Kammerwinkel gelangt, steigt es in Form eines mehr oder weniger schmalen, grünen Streifens dem Kammerwinkel entlang nach oben, fliesst dort bis fast oder ganz zur Mitte und senkt sich umbiegend vorn dicht an der Uhrglaswand²⁾ geradlinig nach unten. Von hier aus steigt der Farbstoff wieder seitlich im Kammerwinkel nach oben, aber nicht ganz so peripher wie beim ersten Male und bildet

¹⁾ Die Zusammensetzung war meist: Fluorescein. 0,2, Natron carbon. 0,3, Aqua dest. 1000. — Dünne wässrige Lösungen von Fuchsin oder Methylenblau gaben dieselben Resultate und sind für Demonstrationszwecke noch geeigneter.

²⁾ Der Streifen verläuft auch dann noch vorn, wenn die Kammer mit dem heissen Gefäss hinter ihr aus der senkrechten Stellung ein wenig schräg nach hinten geneigt wird.

so, indem er auch beim abermaligen Herniedersinken etwas weiter von der Mitte, bei nochmaligem Emporsteigen etwas weiter vom Rande entfernt bleibt, in der einen Kammerhälfte bald eine Art Spirale von 2 bis 3 Gängen (Fig. 1). Allmählich — im Laufe von 5 bis 10 Minuten — wird die Zeichnung dieser Fluoresceinstreifen verwaschener, und der Farbstoff teilt sich der umgebenden Flüssigkeit mit. Dann zeigt sich schliesslich die Hälfte der Kammer ziemlich gleichmässig grün gefärbt.

Wird an beiden Seiten der Kammer ungefähr zur selben Zeit Fluorescein zugesetzt, so erhält man eine symmetrische Bildung von Farbstofflinien, indem das Fluorescein zunächst im Kammerwinkel beiderseits nach oben steigt, sich weiterhin an der vorderen Wand in einer Doppellinie nach unten senkt und dann wiederum peripher auf- und zentral absteigend auf beiden Seiten die beschriebene Spirale bildet (Fig. 2). Wenn im weiteren Verlauf dann allmählich in beiden Kammerhälften diffuse Färbung auftritt, so findet man schliesslich die Kammer von zwei, durch eine senkrechte, schmale, ungefärbte Mittellinie getrennten grünen Halbkugelabschnitten eingenommen. — Vom Beginn des Versuches an ist eine zunehmende Erwärmung auch der vorderen Kammerwand fühlbar.

Dies typische Bild der Strömung zeigt unter gewissen Bedingungen kleine Besonderheiten.

Der horizontale Abstand der nach beiderseitigem Fluoresceinzusatz auftretenden ersten beiden senkrechten Farbstofflinien voneinander bzw. von der Mitte ist um so grösser, je längere Zeit zwischen dem Beginn der Erwärmung der Kammerrückwand und dem Fluoresceinzusatz vergeht. Findet dieser unmittelbar nach Beginn der Erwärmung statt, so fliesst der Farbstoff, ehe er sich senkt, beiderseits fast ganz zur Mitte oben. Dann bleibt zwischen den senkrechten Linien ein ungefärbter Zwischenraum von nur 0,5 bis 1 mm Breite. Lässt man hingegen die Rückwand erst einige Minuten unter dem Einfluss der Erwärmung, ehe man die Fluoresceintropfen hinzusetzt, so biegen die Farbstofflinien schon vor Erreichung der Höhe nach unten um, und die beiden senkrechten Linien sind durch einen Zwischenraum von einigen Millimetern getrennt¹⁾.

Wenn man noch länger mit dem Zusatz des Farbstoffes wartet,

¹⁾ Dieser Einfluss längerer Vorwärmung war aber nur bei den grösseren Uhrglaskammern, hingegen nicht bei der kleinsten von 2 cm Basisdurchmesser zu erkennen.

so kommt ein Zeitpunkt, wo sich eine charakteristische Strömung in der Uhrglaskammer überhaupt nicht mehr zeigt und das Fluorescein entweder, der Schwere folgend, nach unten fliesst oder in dem kapillaren Kammerwinkel eine Strecke weit nach oben steigt, oder auch sich in ganz unregelmässiger Weise in der Flüssigkeit verteilt.

Aus alledem lässt sich schliessen, dass die in der ungleichmässig erwärmten Uhrglaskammer zunächst stark ausgesprochene Strömung durch den fortschreitenden Ausgleich der Temperatur schwächer wird und am Ende verschwindet, wenn die ganze Kammer nahezu die gleiche Temperatur erreicht hat.

Andererseits ist der Einfluss, den die Erwärmung der Kammerrückwand ausübt, besonders schön zu erkennen, wenn vor ihrem Beginn der Farbstoff oben und seitlich im Kammerwinkel zugesetzt wird und nun zunächst, seiner Schwere oder einer zufälligen Strömung folgend, ein regelloses Linien- und Wolkenbild zusammensetzt. Sofort nach Erwärmung der Rückwand kommt in die träge Masse Leben, und in Frist von einer Minute gestaltet sich das symmetrisch angeordnete Fluoresceinlinienbild. Gerade bei dieser Versuchsanordnung auch bildet sich häufig im Zusammenfliessen der gefärbten Flüssigkeitsstreifen in senkrechter Richtung anfänglich nur eine einzige, vorn und zwar genau in der Mitte gelegene Fluoresceinlinie aus. Dabei kann neben ihr, je nach der ursprünglichen Lage des Farbstoffes, die eine Kammerhälfte Spiralbildung und später verwaschene Färbung zeigen, während die andere Hälfte fast ungefärbt bleibt. Bei geeigneter Farbstoffverteilung ist hier auch oft zu erkennen, dass die Strömung aufwärts besonders ausgeprägt wohl in der Peripherie der Kammer ist, dass aber auch an ihrer ganzen hinteren Wand eine Strömung nach oben hin stattfindet.

Nicht immer ist das System der Farbstofflinien genau zu beiden Seiten der Kammermitte gruppiert; es kann ein wenig nach links oder rechts von dieser abweichen. Öfter schien es, dass Strömungen, die in der Kammer beim Aufrichten aus der horizontalen in die senkrechte Lage vorübergehend Platz greifen, solche Ablenkungen von der Mitte bewirken mögen. Hierfür sprach die Beobachtung, dass manchmal ein Liniensystem, das zuerst nicht genau zentriert verlief, nach 1 bis 2 Minuten die typische Mittellage erlangte.

Der horizontale Abstand der beiden ersten senkrechten Fluoresceinlinien von einander kann übrigens auch durch Änderung des Gewichtsverhältnisses zwischen der Fluoresceinlösung einerseits und der Uhrglaskammerflüssigkeit anderseits beeinflusst werden. Es geschieht dies in dem Sinne,

dass Gewichtszunahme der Kammerflüssigkeit (durch Kochsalzzusatz) und Abnahme der Fluorescein-Konzentration jenen Abstand verringern und auch völlig verschwinden lassen, so dass es, auch bei längerer Vorwärmung, in der Mitte zur Bildung einer zusammenfliessenden, senkrechten Farbstofflinie kommt; umgekehrt wird der Abstand grösser durch Verminderung des Gewichts der Kammerflüssigkeit und durch Zunahme der Fluoresceinkonzentration.

Vergleichen wir nun mit diesen an der Uhrglaskammer gemachten Beobachtungen die Erscheinungsform der E.-Linie in der vorderen Augenkammer des Kaninchens, so ist die Übereinstimmung eine so auffällige und weitgehende, dass sich der Betrachter kaum dem Eindruck wird entziehen können, beide Phänomene seien gleicher Art und durch gleiche Ursachen bedingt. Das will sagen: Wie sich in der Uhrglaskammer infolge bestimmter Beeinflussung der Wandtemperatur eine Strömung zeigt, die ohne Hilfsmittel unsichtbar ist, bei Farbstoffzusatz aber immer wieder ein Linienbild zusammensetzt, dessen mittlerer Abschnitt lebhaft an die E.-Linie erinnert, so ist auch in der vorderen Augenkammer aus derselben Ursache dauernd eine ganz ähnliche Strömung vorhanden, die erst bei Fluoresceinzuführung zur Wahrnehmung gelangt und in der Mitte der Kammer die Bildung der E.-Linie zur Folge hat.

Die Zahl der Analogien ist gross genug, um diesen Schluss zu rechtfertigen.

Die Form des Raumes und die Bedingungen seiner ungleichmässigen Erwärmung sind in beiden Fällen in keinem wesentlichen Punkte unterschieden.

Hier wie dort finden wir bei Zuführung von Fluorescein eine senkrechte, an der vorderen Wand verlaufende Farbstofflinie oder Doppellinie, die oben und unten in zwei seitlich divergierende Schenkel übergeht.

In beiden Fällen sehen wir es zur Bildung einer negativen (ungefärbten) E.-Linie oder auch zur diffusen Färbung vorwiegend einer Kammerhälfte kommen.

Auch die Strömung des Fluoresceins dem Kammerwinkel entlang ist am Tierauge wiederzufinden. Nur ist dieser Abschnitt der Strömung auf dem stärker Licht reflektierenden Hintergrunde der Iris viel weniger auffällig, als der durch die senkrechte Linienbildung gekennzeichnete, der zum grossen Teil die schwarze Pupille zum

Hintergrund hat. Aber von verschiedenen Beobachtern¹⁾ wird neben der E.-Linie ein ringförmiger Fluoresceinstreifen in bzw. auf der Iris-peripherie erwähnt, dessen Vorhandensein ich nach eigenen Beobachtungen bestätigen kann. Ulrich äussert, dass er die E.-Linie häufig besonders nach oben als Dreieck verbreitert mit der ringförmigen (peripheren) Irisfärbung im Zusammenhang gesehen habe. Ich selbst habe verschiedentlich im Tierversuch bei Kaninchen und besonders deutlich auch bei Schleiereulen²⁾, deren grosse Vorderkammern für diese Experimente recht geeignet sind, an den Enden der E.-Linie unter bogenförmigem Umbiegen ihren seitlichen Übergang in die Peripherie der Kammer beobachten können, eine Erscheinung, die durchaus an das Bild der Uhrglaskammer-Versuche erinnerte.

Die einzige erheblichere Abweichung, die das Experiment an der Uhrglaskammer gegenüber dem Tierversuch aufweist, nämlich die Bildung einer Art Spirallinie, wie sie oben beschrieben wurde, und das damit verbundene schnellere Verschwinden der Strömung, findet ihre Erklärung darin, dass nur beim Tierauge die Abkühlung an der Vorderwand der Kammer der Erwärmung an der hinteren Wand das Gleichgewicht hält.

Denn bei der Uhrglaskammer genügt die Abkühlung der Vorderwand, die allein durch Wärmeleitung und -strahlung erfolgt, nicht, um gegenüber der Erwärmung der Rückwand einen Temperatur-Gleichgewichtszustand zu schaffen. Ein solcher wäre bei einer Versuchsanordnung, die eine beständige stärkere Abkühlung der Vorderwand ermöglichte, auch hier zu erwarten. Ohne eine solche Vorrichtung aber ist es bei der geringen Wärmeleitung, welche die gläserne Vorderwand der Uhrglaskammer besitzt, wohl verständlich, dass der ganze Kammerinhalt allmählich zu einer gleichmässig warmen Temperatur und die in ihm vorhandene Strömung damit zur Ruhe gelangt. So erklärt es sich, wenn wir hier im Fortgang des Versuches die Strömung sich in immer engeren Bahnen vollziehen sehen; mehr und mehr bleiben die Fluoresceinlinien von der Mitte einerseits, von der Peripherie anderseits entfernt, und sie verlaufen von Beginn an in ihrem senkrechten Teil in grösserem Abstand von der Mitte, wenn der Farbstoffzusatz erst spät erfolgt.

¹⁾ Ulrich, loc. cit. S. 159. — Schick, Experimentelle Beiträge z. Lehre vom Flüssigkeitswechsel im Auge. v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XXXI. 2. S. 67.

²⁾ Ihre Verwendung erfolgte auf Rat von Herrn Dr. H. Friedenthal.

Beim Tierauge hingegen ist durch die ständige Verdunstung von Tränenflüssigkeit eine fortwährende Abkühlung der Hornhautoberfläche im Gange, die stark genug ist, um dauernd den experimentell nachgewiesenen Temperaturabfall in den vorderen Schichten des Kammerwassers zu unterhalten. Damit aber muss in der Vorderkammer auch ein Dauerzustand der Strömung gegeben sein. Die Bildung einer Spirallinie ist also hier nicht zu erwarten, vielmehr ein dauerndes Auf- und Absteigen der Strömung in immer der gleichen Bahn.

Dass trotzdem auch hier bei fortlaufender Fluorescein-Ausscheidung die Strömung undeutlicher wird und schliesslich zu verschwinden scheint, ist nur eine Folge der fortschreitenden Durchdringung des ganzen Kammerinhaltes mit dem Farbstoff. Denn, ist diese vollendet, so kann das nunmehr gleichmässig gefärbte Kammerwasser Strömungen ebensowenig erkennen lassen, wie es im völlig ungefärbten Zustande vor der Fluorescein-Injektion der Fall ist.

Auf welche Art und Weise nun kommt dieser eigentümliche, in zwei Hälften geteilte Kreislauf der Strömung in Uhrglaskammer und Auge zu stande?

Die Erwärmung an der hinteren Wand des Raumes muss ein Steigen der erwärmten Flüssigkeitsschicht, die Abkühlung an der vorderen ein Sinken der davon betroffenen Flüssigkeitsteile zur Folge haben. Je dünner nun aber die Flüssigkeitsschicht im ganzen ist, desto mehr wird sich in allen ihren Teilen der Einfluss der Erwärmung geltend machen. Daher muss die Strömung aufwärts in der Peripherie der Kammer besonders hervortreten. Hingegen je dicker die Schicht ist, desto mehr unterliegt sie in ihren vorderen Teilen, von der Wärmequelle entfernt, der Abkühlung. Daher wird vorn in der Mitte der Kammer die Senkung der Flüssigkeit am meisten zur Geltung kommen. Der Peripherie entlang auf beiden Seiten aufwärts, vorn in der Mitte abwärts muss demnach die Strömung besonders stark in Erscheinung treten¹⁾.

Aber auch in den übrigen Teilen der Kammer wird hinten Steigung, vorn Senkung der Flüssigkeit von statten gehen. Nur lässt sich an der Uhrglaskammer beobachten, dass, während eine Strömung

¹⁾ Die Richtung dieses besonders hervortretenden Teiles der Strömung ist also gerade entgegengesetzt dem sonst ähnlichen Bilde, das Nicati (loc. cit.) von ihr gezeichnet hat. Auf die Unhaltbarkeit der von Nicati gegebenen Erklärung ist bereits im Eingange dieser Arbeit hingewiesen worden.

aufwärts an der ganzen hinteren Wand erfolgt, die Strömung nach unten, an der Vorderwand herab, auf den Bereich eines mittleren, senkrechten Streifens beschränkt ist, dessen Breite im allgemeinen etwa den mittleren beiden Vierteln des horizontalen Hornhautmeridians entspricht.

Wird das Auge oder die Uhrglaskammer umgelegt, derart, dass die hintere Wand der Kammer zur unteren wird, die Wölbung also nach oben sieht, so muss unter den veränderten Bedingungen die Strömung in der eben beschriebenen Form natürlich verschwinden. Die E.-Linie macht dann einer diffusen Färbung des Kammerwassers Platz. An der Uhrglaskammer aber, besonders wenn eine etwas grössere gewählt wird, lässt sich beobachten, dass der am Rande zugesetzte Farbstoff bei dieser Lage einer Strömung folgt, die, offenbar auch auf Erwärmung und Abkühlung beruhend, zunächst der oberen Kammerwand entlang mehr oder weniger weit zur Mitte führt, dann nach unten umbiegt, zur Peripherie geht und nun andeutungsweise noch einmal oben zur Mitte wandert. Es erinnert dieses Bild übrigens an die Beobachtung Schicks (*loc. cit.*), der von der horizontal liegenden Iris hier und da ein grünes Wölkchen gegen die Hornhaut aufsteigen, nach dem Zentrum hinziehen und über der Pupillenmitte sich auflösen sah.

Alle nach Fluorescein-Injektion in die Blut- oder Lymphbahn auftretenden Erscheinungen in der aufrecht stehenden Vorderkammer des unverletzten Auges und besonders alle Eigentümlichkeiten der E.-Linie finden leicht ihre Erklärung auf dem Boden der Anschauung, dass der Farbstoff, wenn er in die Kammer eingetreten ist, den Bahnen einer dauernd in dieser kreisenden Strömung folgt.

Die Abhängigkeit der E.-Linie von der Schwerkraft erscheint natürlich, da die Linie der Ausdruck des durch Abkühlung sinkenden, also der Schwere folgenden Teiles der Strömung ist.

Ihre unmerkliche Entstehung entspricht dem ganz allmählich zunehmenden Farbstoffgehalt der Strömung.

Zu einer hypopyonartigen Ansammlung von Fluorescein am Boden der Vorderkammer kann es nicht kommen, da die farbstoffhaltigen Teile des Kammerwassers im Kreislauf der Strömung wieder nach oben wandern.

Die Lage der Linie vorn dicht an der Hornhaut ist durch den Verlauf der stärksten Strömung erklärt, deren Lokalisation gerade an dieser Stelle schon in den vorhergegangenen Ausführungen erläutert worden ist. Anderseits bietet auch die seltene, aber bis-

weilen doch beobachtete, tiefere Lage der Linie dicht vor der Iris der Deutung keine gar zu grossen Schwierigkeiten. Denn bei der grösseren Dicke und dadurch erschwerten Erwärmung der mittleren Kammerwasserschichten mag der kühlere, also sinkende Abschnitt der Strömung vielleicht auch einmal tiefer in die Kammer hineinreichen.

Auch die wechselnde seitliche Entfernung der Linie von der Mitte der Kammer, ihr bald einfaches, bald doppeltes Auftreten ist gut zu verstehen. Denn dieser Wechsel der Erscheinungen ist offenbar dadurch begründet, dass der Farbstoff, der, wie Schick¹⁾ an der horizontal liegenden Iris feststellen konnte, an den verschiedensten Punkten derselben austritt, bei seinem Übertritt in das Kammerwasser in verschiedene Abschnitte der Strömung hineingerät. Dass die E.-Linie dabei aber doch am häufigsten vorn zentral verläuft, also im Bereich der stärksten Senkung der Vorderkammerströmung, entspricht der Beobachtung, dass die Fluoresceinausscheidung — wohl infolge der Nachbarschaft des Circulus venosus — besonders in der Peripherie der Kammer stattzufinden scheint, also dem korrespondierenden Orte besonders ausgeprägter Steigung der Strömung.

Ohne Schwierigkeit ist ferner das Zustandekommen des öfter zu beobachtenden Negativs der E.-Linie, nämlich der zentralen ungefärbten Linie zwischen zwei grünen Feldern, zu erklären, wenn man sich vorstellt, dass in der nahezu gänzlich gefärbten Flüssigkeit gerade eine noch ungefärbte Schicht in den Bereich der Hauptströmung gerät²⁾.

Mit der hier gegebenen Deutung der E.-Linie ist schliesslich auch die von Ehrenthal gefundene auffällige Tatsache gut in Einklang zu bringen, dass noch einige Zeit nach dem Tode des Versuchstieres das Auftreten der E.-Linie zu beobachten ist. Denn die Temperaturunterschiede in den Wänden der Vorderkammer müssen ja auch noch in der ersten Zeit nach dem Tode vorhanden sein und Strömung im Kammerwasser unterhalten. Dauert aber die Strömung fort, so ist bei eintretender Fluoresceindiffusion auch nach dem Tode die Bildung von E.-Linien notwendige Folge.

Um das Bestehen und Wesen der behaupteten Strömung in der

¹⁾ Loc. cit. S. 65.

²⁾ In gleichem Sinne ungefähr hat auch Nicati (loc. cit.) über die Entstehung der negativen E.-Linie geurteilt.

vorderen Augenkammer und die damit verbundene Erklärung der E.-Linie noch sicherer zu stellen, habe ich, von Herrn Privatdozenten Dr. Hans Friedenthal in dankenswertester Weise unterstützt, in seinem Laboratorium eine Anzahl von Tierversuchen vorgenommen.

Der eine Teil dieser Versuche richtete sich dahin, den Nachweis für das Vorhandensein der Strömung, ohne die Färbung von der Blut- oder Lymphbahn aus, durch unmittelbaren Farbstoffzusatz zum Kammerwasser zu führen¹⁾. Zu diesem Zwecke wurde eine kleine Menge von etwa 0,05 ‰ Lösung von Fluorescein in 0,9 ‰ Kochsalzlösung in die vordere Augenkammer von Kaninchen eingespritzt, indem unter möglichster Vermeidung von Kammerwasserabfluss eine Kanüle durch die Hornhaut gestochen wurde. Mehrere dieser Versuche schlugen fehl, wahrscheinlich weil das Kammerwasser, sei es durch vorhergegangene Luxation des Auges, sei es durch teilweisen Abfluss, fibrinhaltig wurde und in diesem Zustande keine Strömung erkennen liess. Zwei Versuche indes führten zu dem beabsichtigten Ergebnis. Für ihr Gelingen erschien von Wichtigkeit die Unterlassung der Luxation des Auges und der Gebrauch einer nicht zu konzentrierten Fluoresceinlösung.

Versuch 1. — In die Vorderkammer eines Kaninchens wird nach vorhergegangener Atropineinträufelung ungefähr 0,1 ccm einer (schätzungsweise) 0,05 ‰ Fluorescein-Kochsalzlösung gespritzt. Es bildet sich nach kurzer Zeit ein ungefähr 4 mm breiter, zentral gelegener, senkrechter, grüner Streifen, neben dem das nasale und temporale Segment der Kammer frei von Färbung bleibt. In diesem Streifen zeigt sich nach wenigen Minuten in der Mitte oben am Limbus ein stärker grün gefärbtes sphärisches Dreieck, von dessen nach unten gerichteter Spitze eine schmale senkrechte E.-Linie ausgeht (Fig. 3). Nasal ist diese durch einen schmalen ungefärbten Streifen begrenzt. Nach ungefähr zehn Minuten ist das ganze Kammerwasser gleichmässig grün gefärbt. Aber nach Verlauf weiterer fünf Minuten zeigt sich dann vorübergehend in der unteren Kammerhälfte wieder eine schmale, senkrechte, ungefärbte Mittellinie, die nach unten etwas breiter wird und bis zum Limbus reicht (Fig. 4).

Versuch 2. — Einem Kaninchen wird nach vorhergegangener Atropineinträufelung ungefähr 0,1 ccm einer (genau) 0,05 ‰ Fluorescein-Kochsalz-

¹⁾ Mehrfach angestellte Versuche, nach dem Vorgange Lebers mittels Kanüle fein verteiltes Blattgold (oder auch Aluminiumblattmetall) ohne Verlust von Kammerwasser in die Vorderkammer einzuführen, misslangen. Leber berichtet (Graefe-Saemischs Handbuch d. ges. Augenheilk., 2. Aufl. Bd. II, 2. S. 228) über einen solchen Tierversuch, dass die Flitterchen sich bis zu $\frac{3}{4}$ Stunden in kreisförmigen Bahnen vor Iris und Pupille auf und ab bewegten, wobei sie immer mehr vom Pupillargebiete weg in das Bereich der Iris gelangten und sich allmählich auf dieser niederschlugen.

lösung in die Vorderkammer gespritzt. Im ersten Augenblick danach zeigt sich in der Kammer eine regellos angeordnete Fluoresceinmasse. Diese formt sich bald zu einem mehrere Millimeter breiten, senkrechten, grünen Mittelstreifen, neben dem nur das nasale und temporale Kammersegment ungefärbt bleibt. Nach 1 bis 2 Minuten zeigt sich in der Mitte des Farbstreifens ein ungefärbter (also dunkel¹⁾ aussehender) senkrechter schmaler Spalt, der oben und unten in einigem Abstand vom Kammerwinkel endet (Fig. 5). Er verschwindet bald; aber nach einigen Minuten erscheint etwas schläfenwärts von der Kammermitte wieder eine schmale, senkrechte, ungefärbte Linie, die oben nahe dem Limbus im Bogen nach der Schläfenseite umbiegt (Fig. 6). Diese Linie bleibt ungefähr 5 bis 10 Minuten sichtbar, verschwindet dann für kurze Zeit (nach Einträufelung eines Atropintropfens), um bald wieder zu erscheinen. Kurze Zeit danach zeigt sich in der Mitte der sonst gleichmässig grün gefärbten Kammer ein besonders zierliches Bild: senkrecht gestellt, oben vom Limbus in gerader Linie bis weit nach unten zu verfolgen, tritt eine typische schmale grüne E.-Linie auf. Sie wird an beiden Seiten durch je eine ungefärbte (dunkle) Linie begrenzt, die oben von der Nasen- bzw. Schläfenseite im Bogen an sie herantritt (Fig. 7). Nach 1 bis 2 Minuten verschwindet dieses Bild. Die ihm folgende gleichmässige Grünfärbung der ganzen Kammer wird dann noch zu wiederholten Malen, in Pausen von etwa 8 bis 10 Minuten, durch das Auftreten negativer (ungefärbter) E.-Linien unterbrochen, die oben nach einer oder beiden Seiten (Fig. 8) in einem kurzen Bogen umbiegen. Noch $\frac{3}{4}$ Stunden ungefähr nach der Fluoresceineinführung liess sich nach vorhergegangener gleichmässiger Kammerfärbung das Erscheinen einer negativen E.-Linie beobachten.

Diese Versuche zeigen also, dass auch bei unmittelbarem Fluoresceinzusatz zum Kammerwasser die Bildung senkrechter, gefärbter oder ungefärbter Linien eintreten kann, ganz analog den E.-Linien, die sich im Auge nach Einführung des Farbstoffes in die Blut- oder Lymphbahn bilden. Es lässt sich diese Erscheinung kaum anders deuten, als dass eine dauernd in der Vorderkammer bestehende Strömung den Farbstoff in ihren Bahnen mit sich führt. Dass hier die Entstehung der Ehrlichschen Farblinie nicht durch Senkung eines Fluoresceintropfens aus dem Kammerwinkel in Frage kommen kann, ist nach dem Verlauf der Experimente klar.

Zugleich aber lehren die Versuche, dass für die Beurteilung der E.-Linie ohne Bedeutung die Frage ist, auf welche Weise nach Fluorescein-Injektion in die Blut- oder Lymphbahn der Eintritt des Farbstoffes in das Kammerwasser erfolgt, ob Sekretion oder Diffusion diesen Eintritt vermittelt. So gross das Interesse ist, welches diese vielumstrittene Frage verdient, so kann sie doch hier, wo es sich nur

¹⁾ In den Zeichnungen sind die gefärbten Teile dunkel, die ungefärbten weiss gehalten.

darum handelt, den Beweis zu erbringen, dass die E.-Linie Folgeerscheinung einer von Temperaturdifferenzen abhängigen und dauernd in der Kammer kreisenden Strömung ist, unerörtert bleiben. Denn aus den eben mitgeteilten Versuchen geht hervor, dass die Bildung von E.-Linien nach jeder geeigneten Farbstoffbeimischung erfolgen kann, unabhängig von dem Wege, auf welchem diese eintritt, mag sie nun von der Blutbahn ausgehen oder mag die Farblösung grob mechanisch dem Kammerwasser zugesetzt werden.

Andere Versuche noch wurden in der Richtung angestellt, eine weitere Bestätigung für die Auffassung zu erhalten, dass gerade in Temperatureinflüssen die Ursache für die in der Kammer bestehende Strömung zu suchen ist. Wenn diese Anschauung zutrifft, so lässt sich von Abkühlung und Erwärmung der Hornhaut eine gewisse Wirkung auf den Verlauf der Strömung und damit auf die E.-Linie als Ausdruck dieser Strömung erwarten.

Versuch 3. — Einem Kaninchen werden 8 ccm konzentrierter Fluoresceinlösung (= 1,2 g reinen Fluoresceins) subcutan in zwei Portionen in einem Zeitraum von ungefähr $\frac{1}{2}$ Stunde injiziert. 21 Minuten später tritt an dem beobachteten Auge eine typische E.-Linie auf. Bei Überrieselung des Auges mit kaltem Wasser verschwindet die Linie, indem das Kammerwasser gleichmässige Fluoresceinfärbung annimmt. Nach Aufhören der Überrieselung zeigt sich die Linie bald wieder. Im weiteren Verlaufe des Versuches ist hin und wieder das Erscheinen eines Negativs der E.-Linie (einer ungefärbten Linie zwischen den beiden grünen Kammerhälften) zu beobachten. Auch diese Linie verschwindet bei kalter Berieselung des Auges.

Versuch 4. — Einem Kaninchen wird 1 ccm konzentrierter Lösung von Fluorescein (gelöst in Normalnatronlauge, die durch Kohlensäuredurchleitung neutralisiert wurde) in die Ohrvene gespritzt. Unmittelbar darauf zeigt sich intensive Fluoresceinfärbung an Binde- und Nickhaut. Sofort wird das eine Auge einer dauernden Berieselung mit warmem Wasser ausgesetzt. In ungefähr $\frac{1}{2}$ Minute tritt eine zunehmende verwaschene Grünfärbung im Kammerwasser vor dem Rande der Pupille auf, die sich in 2 bis 3 Minuten über den grössten Teil der Kammer verbreitet, ohne eine bestimmte Gestaltung zu zeigen. Eine E.-Linie erschien während der warmen Berieselung nicht, blieb allerdings auch auf dem andern Auge aus. Nach Aufhören der Berieselung bildet sich allmählich eine ungefärbte (also dunkel erscheinende) senkrechte Linie zwischen zwei grünen Feldern, die langsam wieder verschwindet. Mehrfach kann dann an beiden Augen dieses Negativ der E.-Linie durch kalte Berieselung prompt hervorgerufen, durch warme zum Verschwinden gebracht werden.

Der hindernde Einfluss, den die warme Berieselung in bezug gerade auf die erste Bildung einer E.-Linie ausübt, erschien in diesem Versuche nicht einwandsfrei erwiesen, weil hier in derselben

Zeit auch an dem nicht berieselten Auge keine E.-Linie aufgetreten war. Der Versuch wurde daher wiederholt.

Versuch 5. — Einem Kaninchen wird 1 ccm konzentrierter Lösung von Fluorescein in 6 bis 7 % Natriumkarbonatlösung innerhalb ungefähr 8 Minuten in zwei Hälften in die Ohrvene gespritzt. Nach 6 Minuten zeigt sich an dem einen Auge eine typische E.-Linie. An dem andern, das vom Beginn des Versuches ab dauernd mit Wasser von 37,5° Wärme berieselt wurde, nimmt das Kammerwasser nur allgemeine schwache Fluoresceinfärbung an. Als ungefähr 12 Minuten nach Beginn des Versuches mit der warmen Berieselung aufgehört wird, bildet sich nach Ablauf weiterer etwa 3 Minuten auch auf diesem Auge eine typische E.-Linie.

Als Ergebnis der mitgeteilten Versuche kann demnach gelten, dass stärkere Abkühlung oder Erwärmung der Hornhaut auf die Strömung in der Vorderkammer und damit auch auf die Bildung der E.-Linie einen gewissen Einfluss ausüben. Wenn nun durch warme Berieselung der Hornhaut die Vorderkammerströmung bzw. die Bildung der E.-Linie verhindert wurde¹⁾, durch kalte Berieselung die Strömung im Negativ der E.-Linie neu in Erscheinung trat, wo sie verschwunden schien, so sind diese Beobachtungen recht geeignet, die Auffassung zu stützen, dass die Abkühlung des Kammerwassers an der Hornhaut die Ursache der normalen Kammerströmung ist. Die mehrfach bei diesen Versuchen gemachte Erfahrung aber, dass auch kalte Berieselung eine vorhandene E.-Linie zum Verschwinden brachte, ist wohl so zu erklären, dass durch abnorm starke Abkühlung der regelmässige Verlauf der Strömung auch wiederum gestört werden kann.

Ein Hinweis mag hier seine Stelle finden. Die Regelmässigkeit und Schärfe des Linienbildes, das diese von Temperaturdifferenzen abhängige Strömung in der Vorderkammer hervorbringt, kann als ein Beweis dafür angesprochen werden, dass andere Strömungen, die stark genug wären, den Lauf dieser Temperaturströmung abzulenken und zu stören, in der Kammer nicht vorhanden sind. Es deckt sich diese Anschauung mit dem Standpunkt, zu welchem die Forschung insbesondere in der Frage der Sekretion des Kammerwassers gegenwärtig gelangt ist. Denn im Gegensatz zu früher, wo vielfach eine

¹⁾ Die Frage, ob Lidschluss allein schon genügt, um die Temperatur der vorderen Kammerwand soweit zu erhöhen, dass die Strömung in der Kammer und die Bildung der E.-Linie ausbleibt, ist wahrscheinlich zu verneinen. Doch möchte ich auf Grund nur eines Versuches, in welchem trotz Lidschluss, nach meiner Erinnerung, die E.-Linie auftrat, diese Frage noch nicht als entschieden betrachten.

ziemlich schnelle Sekretionsströmung in der Kammer angenommen wurde, herrscht heute im allgemeinen Übereinstimmung in der Meinung, dass diese Absonderung eine äusserst langsame ist und eine irgendwie lebhaftere Strömung nicht hervorbringen kann.

Zu erörtern bleibt jetzt noch die Frage, wie weit diese für die vordere Augenkammer des Kaninchens gewonnenen Anschauungen eine Verallgemeinerung auf die ähnlich gebauten Augen anderer Tiere und des Menschen zulassen.

Da die beschriebene Kammerströmung auf rein physikalischen Ursachen beruht, so ist von vornherein zu erwarten, dass sie sich wiederfindet in allen entsprechend gebauten Augen, wo der Inhalt einer uhrglasförmigen Vorderkammer an der hinteren Wand Erwärmung, an der vorderen Abkühlung erfährt. Temperaturunterschiede in den vorderen und hinteren Teilen des Kammerwassers sind auch beim Hunde experimentell nachgewiesen worden¹⁾. Wo solche Unterschiede aber bestehen, muss eine Strömung unausbleibliche Folge sein und zwar, bei der gegebenen Form des Raumes, eine Strömung von dem oben geschilderten Verlaufe.

Möglicherweise ist mit dieser Strömung die Bildung einer E.-Linie nach Fluorescein-Injektion nicht immer verbunden. Ehrenthal²⁾ hat ihr Auftreten bei der Katze allerdings beobachtet. Bei zwei Schleiereulen sah ich sie etwa $\frac{1}{4}$ Stunde nach subcutaner Injektion von je 2 ccm einer 20% Fluoresceinlösung ebenfalls erscheinen. Wenn es sich aber um sehr kleine Augen handelt, wie beim Frosch, bei Ratte und Meerschweinchen, so mag die geringe räumliche Ausdehnung der Kammer die Entwicklung eines deutlichen Linienbildes verhindern. Dagegen muss es auffallen, dass Ehrenthal beim Hunde (allerdings nur in einem angestellten Versuche) und Wessely³⁾ beim Affen die Bildung der Linie ausbleiben und nur diffuse Kammerwasserfärbung eintreten sahen.

Vielleicht liegen hier Besonderheiten im Eintritt des Farbstoffes in die Kammer vor, vielleicht gelingt es, bei passend gewählter Fluoresceindosis auch bei diesen Tieren noch die Bildung von E.-Linien hervorzubringen. Auch ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, dass — im Gegensatz zu dem indolenten Kaninchen — die

¹⁾ Sillex, loc. cit.

²⁾ Kritisches und Experimentelles zur Lehre vom Flüssigkeitswechsel im Auge. Inaug.-Dissert. Königsberg 1887. S. 34.

³⁾ Zur Wirkung des Adrenalins auf Pupille und Augendruck. Zeitschr. f. Augenheilk. Bd. XIII. 1905.

lebhaften Bewegungen des Auges bei diesen intelligenteren Tieren auf die Strömung und damit auf die Entwicklung der E.-Linie störend einwirken. Weiteren Untersuchungen mit direkter oder indirekter Zuführung von Fluorescèin zum Kammerwasser muss es vorbehalten bleiben, diese Fragen zu entscheiden.

Beim Menschen treten unter pathologischen Verhältnissen Erscheinungen in der Kammer auf, die möglicherweise als Zeichen für das Vorhandensein dieser Strömung zu deuten sind.

Seit langer Zeit ist bekannt, dass die kleinen Rundzellenklümpchen, die bei fast jeder Iritis im Kammerwasser auftreten, in vielen Fällen, besonders bei Iritis serosa, wenn sie sich an der hinteren Hornhautwand niederschlagen, eine regelmässige Figur zusammensetzen. Es ist dies ein gleichseitiges Dreieck im Bereich des unteren Hornhautquadranten mit nach oben gerichteter Spitze.

So bekannt diese Erscheinung ist, so fehlt ihr bisher doch eine ausreichende Erklärung. Denn in dieser regelmässigen Dreiecksform der Anordnung, wie es geschehen ist, eine Folge der Bewegungen des Augapfels zu sehen, durch welche die Präzipitate an die Hornhaut geschleudert werden, ist angesichts der Regellosigkeit der Augenbewegungen nicht recht einleuchtend. Hingegen lassen sich meines Erachtens in diesem mit Niederschlägen bedeckten Dreieck vielleicht die Spuren der hier beschriebenen Vorderkammerströmung wiedererkennen. Denn indem diese, in der Mitte von oben herabsinkend, unten nach beiden Seiten auseinanderweicht, umgrenzt sie unten ein dreieckiges Feld, in dessen Bereich keine oder nur geringe Strömung herrscht. Dadurch ist hier den Zellklümpchen die Möglichkeit des Haftens mehr als an den andern, von der Strömung bestrichenen, unteren Hornhautteilen gegeben. Dazu kommt vielleicht, dass sich die von der Strömung mitgeführten geformten Elemente wohl gerade am Rande der Strömung am ehesten absetzen.

Es mag sein, dass auch das nachstehende, in Lehrbüchern bisher nicht beschriebene Phänomen als Folgeerscheinung der hier behandelten Strömung aufzufassen ist.

Wenn nämlich die Entzündungsvorgänge an Iris oder Ciliarkörper sehr gering sind, wie es z. B. im Anschluss an leichte Hornhautverletzungen der Fall ist, wo grössere Rundzellenklümpchen sich nicht im Kammerwasser zeigen, so sieht man bei genauester Betrachtung doch nicht selten unten an der hinteren Hornhautwand eine zarte, schmale, graue Linie (Fig. 9). Sie erstreckt sich von der Mitte des Limbus einige Millimeter weit senkrecht nach oben und

erweist sich unter stärkerer Vergrößerung als zusammengesetzt aus feinsten, staubförmigen Beschlagspunkten. Am besten bei aufwärts gerichtetem Auge im durchfallenden Lichte zu erkennen oder mit der Lupe unter fokaler, von der Iris reflektierter Beleuchtung, erinnert sie in Lage und Form ein wenig an die Ehrlichsche Fluoresceinlinie. Bisweilen läuft sie an ihrem oberen Ende etwas verbreitert aus (Fig. 10).

Zu Bildungen ähnlich der Dreiecksanordnung der Präzipitate kann auch Blutgehalt des Kammerwassers Veranlassung geben. So sah ich bei einer Kranken, die erst nach einer Sklerotomie, später noch einmal nach Iridektomie einen kleinen Bluterguss in der Kammer aufwies, zu wiederholten Malen folgende Erscheinung: im unteren Hornhautquadranten zeigte sich ein dreieckig geformter, ganz dünner, blutiger Belag an der Descemetischen Membran, der wie aus feinsten Blutteilchen zusammengesetzt erschien; erst unten im Kammerwinkel ging er in die gewöhnliche, oben horizontal abschneidende, kompakte Form des Hyphäma über. — Ein ähnliches Bild, nur etwas seitlich neben der Mitte, bot sich mir vor kurzem bei einem zweiten Patienten.

Bemerkenswert war an diesen Bildungen, dass sie manchmal während der Beobachtung Form oder Aussehen änderten.

Selbstverständlich sind solche Spuren einer Vorderkammerströmung nur zu erwarten, wo es sich um leichte, im Kammerwasser schwebende Gebilde handelt. Im allgemeinen sind derbe Blutmassen oder Eiter zu schwer, um einer Einwirkung der Strömung zu unterliegen, ja oft vielleicht selbst noch Cholestearinkrystalle. Von letzteren äussert Leber¹⁾, dass sie nichts von einem Strömungsvorgang in der Vorderkammer erkennen lassen. Aber da in seinen Mitteilungen über das Verhalten dieser Krystalle in der Kammer sich der Vermerk findet, dass bei ruhig gehaltenem Auge einzelne sich langsam senken, andere hingegen langsam aufsteigen, so mag sich in diesem Auf und Ab der Bewegungen doch wiederum bisweilen ein Einfluss der uns hier beschäftigenden Strömung zu erkennen geben.

Verswinden muss die Strömung jedenfalls, wenn durch Fibrin gehalt die Beweglichkeit des Kammerwassers beeinträchtigt ist.

Was endlich die Wirkung dieser Strömung anbetrifft, so muss sie, indem sie die Abkühlung der erwärmten und die Erwärmung der

¹⁾ Über den Flüssigkeitswechsel in der vorderen Augenkammer. Bericht d. Heidelberger ophthalm. Gesellschaft 1898. S. 90 ff.

abgekühlten Teile des Kammerwassers unterhält, den Ausgleich der Temperatur innerhalb dieser Flüssigkeit befördern. Auch erscheint sie geeignet, die Mischung der frisch secernierten mit den älteren Teilen des Kammerwassers zu beschleunigen.

Zum Schlusse fasse ich die Ergebnisse dieser Arbeit in folgenden Sätzen zusammen:

1. In der vorderen Augenkammer des Kaninchens und wahrscheinlich auch in der Vorderkammer aller ähnlich gebauten Augen besteht bei aufrechter Stellung des Auges eine Strömung, die an der hinteren Wand emporsteigt, an der vorderen herabsinkt. Besonders ausgeprägt verläuft diese Strömung aufwärts in der Peripherie der Kammer, abwärts vorn in der Mitte.

2. Die Strömung entsteht durch die Erwärmung des Kammerwassers an der hinteren Wand der Kammer und durch seine Abkühlung vorn an der Hornhaut.

3. Die Bildung der Ehrlichschen Fluoresceinlinie beruht auf dieser Strömung.

4. Die Dreiecksform der Anordnung von Beschlägen unten an der hinteren Hornhautwand ist wahrscheinlich als ein Zeichen für das Vorhandensein dieser Strömung auch im menschlichen Auge zu betrachten.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.