R. BIBLIOTECA MEDICA ROMA
MISCELL
B 46
38

ZUR FRAGE NACH DEM BAUE DES GLASKÖRPERS

AKADEMISCHE ABHANDLUNG

WELCHE MIT GEHÖRIGER GENEHMIGUNG
DER WEITERFAHRENEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
IN UPSALA

ZUR ERLANGUNG DER MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE
IM HÖRSAAL DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES
AM 13. MAI 1931, NACHMITTAGS UM 4 UHR

ÖFFENTLICH VERTEIDIGT WIRD

VON

EUGÉN STRÖMBERG

OBERSTABSARZT BEIM KÖNIGL. NORDSCHONISCHEN INFANTERIEREGIMENT
MED. LIC., DER LANDSMANNSCHAFT KALMAR

R. BIBLIOTECA MEDICA ROMA

STOCKHOLM 1931

ISAAC MARCUS BOKTRYCKERI-AKTIEBOLAG

ZUR FRAGE NACH DEM BAUE DES GLASKÖRPERS

AKADEMISCHE ABHANDLUNG

WELCHE MIT GEHÖRIGER GENEHMIGUNG
DER WEITERFAHRENEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
IN UPSALA

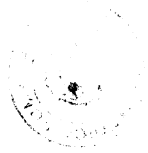
ZUR ERLANGUNG DER MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE
IM HÖRSAAL DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES
AM 13. MAI 1931, NACHMITTAGS UM 4 UHR

ÖFFENTLICH VERTEIDIGT WIRD

VON

EUGÉN STRÖMBERG

OBERSTABSARZT BEIM KÖNIGL. NORDSCHONISCHEN INFANTERIEREGIMENT
MED. LIC., DER LANDSMANNSCHAFT KALMAR



STOCKHOLM 1931

ISAAC MARCUS BOKTRYCKERI-AKTIEBOLAG

Inhaltsverzeichnis

Seite

EINLEITUNG ... 1

I. GESCHICHTLICHES ... 2

II. DAS ULTRAMIKROSKOP UND DESSEN ANWENDUNG BEI GLASKÖRPERUNTERSUCHUNGEN ... 13

III. DAS UNTERSUCHUNGSMATERIAL UND DESSEN BEHANDLUNG ... 19

IV. ALLGEMEINES ÜBER DIE ULTRAMIKROSKOPISCHE STRUKTUR DES GLASKÖRPERS ... 22

V. DIE VARIATIONEN DER STRUKTUR ... 32

VI. ALTERUNGSVORGÄNGE ... 36

VII. PHOTOGRAPHISCHE VERSUCHE ... 42

VIII. ERHÄRTUNGSVERSUCHE ... 45

IX. DER MENSCHLICHE GLASKÖRPER ... 56

X. ERGEBNISSE ... 59

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR ... 60

ERKLÄRUNG DER ABBILDUNGEN AUF TAFEL I—IV ... 63

Zur Frage nach dem Baue des Glaskörpers.

Von EUGÉN STRÖMBERG.

Einleitung.

»Selten möchte ein Gebilde des menschlichen Körpers der Gegenstand so zahlreicher und so widersprechender Untersuchungen gewesen sein wie der Glaskörper.» Diese Worte hat ein älterer Verfasser — C. O. Weber, 1860 — als Einleitung vor eine Arbeit über den Bau des Glaskörpers gesetzt. Schon zu jener Zeit waren so verschiedene Ansichten über den Bau des Glaskörpers vorgebracht worden, dass er wohl berechtigt war, dieses Urteil zu fällen. Seitdem ist diese selbe Frage mit wechselndem Resultat zum Gegenstand immer zahlreicherer Untersuchungen gemacht worden. Während mehrerer Jahrzehnte ist nun die Auffassung, dass der Glaskörper fibrillären Bau habe, die vorherrschende gewesen, wenn auch mehrfach Zweifel an dessen Existenz im unbehandelten Glaskörper geäussert wurden.

In letzter Zeit sind nämlich ultramikroskopische Untersuchungen des Glaskörpers ausgeführt worden, und die hierbei erhaltenen Resultate stehen in scharfem Gegensatz zu der Auffassung von der fibrillären Struktur. Dadurch ist die Berechtigung der üblichen Auffassung angegriffen und das ganze Resultat der Strukturforschung des Glaskörpers mit ihren minuziösen Einzelheiten in Frage gestellt worden. Es liegen also gewichtige Gründe für die Wiederaufnahme der Glaskörperfrage vor, um Klarheit über die gegenwärtig schwebenden Verhältnisse zu gewinnen; Zweck dieser Arbeit ist, einen Beitrag zur Kenntnis der Glaskörperbeschaffenheit zu liefern, was um so wichtiger ist, als diese Kenntnis von grösster Bedeutung für das richtige Verständnis zahlreicher Augenkrankheiten sein muss.

Ich will hier die Gelegenheit ergreifen Herrn Professor Erik Agduhr (Histologische Institution an der Upsalaer Universität) meinen warmen Dank auszusprechen. Auf seinen Vorschlag hin ist diese Arbeit unternommen worden; er hat ihren Fortgang mit grossem Interesse verfolgt und mir auch die erforderlichen Instrumente und in der ersten Zeit Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt.

Herrn Professor J. W. Nordenson bin ich zu grossem Dank verpflichtet, sowohl für sein ständig mir erwiesenes Interesse und die vielen Ratschläge, die befruchtend auf meine Arbeit eingewirkt haben, als auch für seinen freundlichen Beistand zur Erlangung eines Arbeitsplatzes im Laboratorium der Augenabteilung, wodurch eine unmittelbare Untersuchung des aus der Klinik kommenden Materials möglich wurde.

Ferner spreche ich Herrn Dozenten A. W. K. Tiselius für seine wohlwollenden Ratschläge und Auskünfte meinen Dank aus, sowie auch Herrn med. lic. I. Kugelberg für den mir bei den Photographierungsversuchen geleisteten Beistand.

Für die Übersetzung des schwedischen Textes und für gute Hilfe beim Korrektur-

lesen dieser Arbeit bin ich meinem Bruder Dr. phil. Ragnar Strömberg zu grossem Dank verpflichtet.

Zum Schluss sage ich meinen ergebensten Dank für die Unterstützung, die mir seitens des Regnellschen Fonds der Medizinischen Fakultät für die Ausführung der Arbeit zuteil wurde.

I. Geschichtliches.

Eine Durchsicht der geschichtlichen Entwicklung unserer Kenntnis von dem Bau des Glaskörpers ergiebt, dass die Verbesserung der Untersuchungsmethoden und die Einführung neuerer Gesichtspunkte unser Wissen schubweise befördert haben, und man kann infolgedessen verschiedene Perioden der Entwicklung vermerken, die zwar nicht ganz scharf gegeneinander abgegrenzt sind, aber doch so, dass eine bestimmte Ansicht die Periode kennzeichnet.

Auffassung des kammerigen Baues.

Die ältesten Ansichten sind durch die Auffassung vom »kammerigen Bau» gekennzeichnet. Die alten Anatomen Petit (1738), Demours (1741) und Zinn (1755) waren durch ihre Untersuchungen über den Glaskörper zu der Auffassung gebracht worden, dass dieser aus Flüssigkeit enthaltenden Zellen mit häutigen Scheidewänden zusammengesetzt sei. Der Begriff *Zellen* darf hier mit dem Begriff der Zelle nach der gegenwärtigen Auffassung der Anatomen nicht gleichbedeutend gefasst werden, sondern muss vielmehr mit z. B. Cellulae ethmoidales verglichen werden, und ist demnach von einem anderen Wert als dem späterhin in der Zellenlehre angenommenen Begriff. Der Glaskörper würde folglich einen »kammerigen Bau» besitzen. Diese Meinung stützte sich auf den Umstand, dass der Glaskörper nach dem Herausnehmen aus dem Auge nicht plötzlich zerfloss, sondern nur allmählich seinen Flüssigkeitsgehalt verlor, und dass der Rest »ein häutiges Wesen» war. Durch Gefrierenlassen stellte man fest, dass der Glaskörper dabei in Eisfragmente von verschiedener Gestalt und Grösse zerfiel, die durch dünne Wände getrennt waren.

F. Arnold (1832) bestätigte im grossen ganzen die gemachten Beobachtungen und schrieb: »Die Haut, welche die Glasfeuchtigkeit einschliesst, wurde die Glashaut genannt, und deren Teile wieder näher als Kapsel- und Zellhaut bezeichnet» (p. 96).

E. Huschke (1844) unterscheidet einen hinteren und einen ciliaren Teil der Membrana hyaloidea, aber glaubt keine Wände zwischen den Zellen sondern nur Fäden gefunden zu haben, jedoch ohne die Möglichkeit der Existenz derselben zu leugnen. »Die Glasfeuchtigkeit zerfällt wiederum in zweierlei Elemente, den festen Teil, das Zellgewebe des Glaskörpers, und den darin enthaltenen flüssigen Teil, die Glasflüssigkeit selbst» (p. 745). Er beschreibt die Zellen als grosse, sechseckige Gebilde mit einem körnigen Kern. Die Glashaut ist eine »höchst feinfaserige Membran» und von dieser gehen wahrscheinlich »Fasern von grösster Feinheit» aus, welche einander kreuzend »das ganze Innere des Glaskörpers durchsetzen» (p. 743).

Auffassung der konzentrischen Schichtung.

Hiernach folgte eine kurze Periode, von S. Pappenheim (1842) eingeleitet, wo die Lehre von dem konzentrischen Bau des Glaskörpers dargelegt wurde. Pappenheim wies nach, dass der Glaskörper eines Menschen und eines Ochsen nach Härtung mit Kali carbonicum sich in zwiebelartige konzentrische Schichten zerteilen liess, wo jede Schicht auf der Aussenseite aus äusserst feinen Fasern und eingeschlossenen Körnern bestand. Beim Menschen waren die Fasern isolierbar und unmessbar fein; im frischen Glaskörper konnte er keine Organisation entdecken. Die in seinen Präparaten beobachteten Fasern »scheinen nicht Kunst-

produkt zu sein, da sie im blossen Eiweisse nicht entstehen, und sind im frischen Zustande von dem höchsten Grade der Durchsichtigkeit» (p. 183).

Dieser Auffassung schliesst sich auch E. Brücke (1843, 1845, 1847) an. Er benutzte eine Lösung von essigsauerem Bleioxyd und zeigte bei Schöpsenaugen, dass von der Membrana hyaloidea aus ein System von mit einander parallelen milchweissen Schichten ausgeht, von denen die innersten die Linse erreichen, alle auf eine Achse symmetrisch geordnet, die von der Eintrittstelle der Art. central. nach dem Mittpunkt der hinteren Linsenfläche verläuft. Diese Membranen waren äusserst dünn und schwach lichtbrechend, und konnten nur nach Behandlung mit essigsauerem Blei beobachtet werden; die innersten Schichten waren der Beobachtung gar nicht zugänglich. Beim Menschen meinte er dasselbe Verhältnis zu finden. Er hob hervor, »dass der Glaskörper scheinbar eine gallertförmige Masse darstellt, aber nur scheinbar, denn eine echte Gallerte, wenn sie auch sehr weich ist, verliert ihr Wasser nur durch Verdunstung, nicht durch Ausfliessen» (1843, p. 347), und er suchte die »ältere falsche Ansicht von einem zelligen Bau des corpus vitreum» zu widerlegen (1845, p. 130), während er diejenigen Fasern, aus denen der ganze Glaskörper nach der Ansicht Pappenheims bestände, als ein durch Kali carbonicum gebildetes Kunstprodukt betrachtete (1845, p. 131). 1847 (p. 65) schrieb Brücke: »die concentrischen Häute habe ich beim Menschen nicht mit Sicherheit wiederfinden können», und modifiziert seinen Standpunkt zu besserer Übereinstimmung mit demjenigen Hannovers, zu dem wir nun kommen.

Auffassung des Apfelsinenbaues.

1845 veröffentlichte A. Hannover eine Arbeit, »Entdeckung des Baues des Glaskörpers». Er schrieb: »Der Glaskörper des menschlichen Auges besteht aus lauter Sectoren, die den Bogen nach aussen kehren, während alle Winkel gegen die Augenachse convergieren. Man kann seinen Bau am besten mit dem Bau einer Apfelsine vergleichen» (p. 471). Er zählt etwa 180 Sectoren, hebt aber hervor, dass zwei oder drei Sectoren gegen die Mitte zusammenschmelzen können. Der Canalis hyaloideus ist die gemeinsame Achse aller Sectoren. Ihre Spitzen erreichen nicht diese Achse, und der Glaskörper hier »ist so zu sagen texturlos und von einförmigerem Baue». Bei Erwachsenen hat er weder Kanal noch Arterie angetroffen. Die Sectorwände bestehen aus strukturlosen durchsichtigen Membranen mit einer grossen Menge feiner Körner, die er für Niederschläge hält (p. 473). Er fügt zu der Darstellung zwei Bilder hinzu (Taf. XIV), einen äquatoriälen und einen horizontalen Querschnitt, und diese haben in hohem Grade dazu beigetragen, dass seine Ansicht verbreitet und während längerer Zeit anerkannt wurde.

Bei den Säugetieren dagegen meinte Hannover, dass ein bedeutender Unterschied vorhanden sei. Er teilte die Ansicht Brückes über die mit einander parallelen Schichten, aber »die Schichten gehen wirklich in einander über, und es werden deshalb vollkommen geschlossene und in einander eingeschachtelte Säcke gebildet» (p. 469). Er gebrauchte Chromsäure als Fixiermittel und bestimmte eine lange Zeit für das Fixieren. »... denn ein Zeitraum von einem halben Jahre ist notwendig, damit die Erhärtung vollständig erfolge» (p. 476).

Konzentrische Schichtung gegen Apfelsinenbau.

Es kam nun eine Periode, in der man sich über konzentrische Schichten oder den Apfelsinenbau stritt. Die Untersuchungen von Brücke und Hannover wurden von W. Bowman (1849) wiederholt. Er fand bei der Anwendung von Brückes Methode auch dieselben konzentrischen Schichten, zeigte aber, dass sie zu der gegen die Lösung gekehrten Glaskörperoberfläche parallel waren, so dass bei unbeschädigtem Glaskörper eine Anordnung in konzentrischen

Schichten auftrat, bei geschnittenem Glaskörper in Schichten, die parallel mit der Schnittfläche waren (Bild p. 103). Nur bei Neugeborenen fand er die Apfelsinenstruktur von Hannover im Chromsäurepräparat wieder, aber nicht bei Erwachsenen. Bei Neugeborenen fand er auch ein dichtes Netz von Fasern in dem Glaskörper.

F. Finkbeiner (1855), der hauptsächlich Sublimatpräparate benutzte, schloss sich vollständig an die Untersuchungen von Hannover an, reduzierte aber die Anzahl der Sectoren (p. 330 ff.).

1852 und 1853 berichtete R. Virchow über seine Untersuchungen über den Glaskörper von Tieren und Menschen nach früheren Untersuchungen des Schleimgewebes. Er fand im Glaskörper von Schweinembryonen eine an die des Schleimgewebes erinnernde Struktur. In der homogenen Interzellularsubstanz fand er in ziemlich regelmässiger Entfernung rundkernhaltige granulierte Zellen von derselben Beschaffenheit wie in der Nabelschnur. Er nahm an, dass die Zellen allmählich zerfallen, und dass nur die Interzellularsubstanz zurückbleibt. Bei Erwachsenen fand er keine Struktur (1852, p. 468).

Den Untersuchungen von Bowman schloss sich A. Kölliker (1852) an, und bestritt die Existenz der Hannoverschen Membranen (p. 716).

Eine bedeutungsvolle Arbeit von A. Doncan erschien 1854, der unter Leitung von Donders die damalige Auffassung der Glaskörperfrage von neuen Gesichtspunkten prüfte. Die Apfelsinenstruktur von Hannover bewies er als von Reagenzien hervorgerufen. Die Sectorwände entstehen nur, wenn man den Glaskörper innerhalb der unversehrten Augenhäute der Einwirkung der Chromsäure aussetzt, sonst entsteht ein lamellenförmiges Gebilde. Er hielt die Veränderungen für Kunstprodukte. Brückes streifige Trübungen konzentrischer Schichten sind nur physikalische Erscheinungen, weil solche Trübungen parallel mit jeder beliebigen Schnittfläche des Glaskörpers zum Vorschein kommen, wenn dieser mit essigsaurem Blei behandelt wird. Er hob hervor, dass die zuverlässigsten Untersuchungsresultate nur durch unmittelbare Beobachtung des Glaskörpers mit dem Mikroskope zu erreichen sind. Er nahm deshalb den Glaskörper mit der mit ihm zusammenhängenden Linse aus dem Auge heraus und machte seine Beobachtungen. Ebenfalls suchte er die entoptischen Phänomene zusammenzustellen und die Erklärung derselben in dem Bau des Glaskörpers zu finden. Er meinte, dass der Glaskörper durch Schleimmetamorphose derjenigen Zellen entstehe, die von der Peripherie neugebildet werden. Im Glaskörper befindliche Erscheinungen seien sekundäre Gebilde im Schleimstoff.

Ausgehend von Untersuchungen von Augen des Menschen glaubte J. v. Gerlach (1853, p. 503) die Ansichten von Brücke und Hannover in der Weise vereinigen zu können, dass die peripheren Teile konzentrische Schichten und die zentralen Teile Sectoren aufweisen. F. Leydig (1857, p. 227) teilte die Auffassung von R. Virchow. Bei Neugeborenen ist ein Fachwerk vorhanden, und in den Maschenräumen liegt die Schleimsubstanz.

H. Frey (1859, p. 259) fand keine spulförmigen Zellen im Corpus vitreum, beobachtete jedoch welche in der Nähe der Membrana hyaloidea im Anschluss an Gefässe. Das Gewebe besteht aus einer homogenen, zähflüssigen Grundsubstanz, die beim Zusatz von Essigsäure gestreift wird, und aus stellenweise mit regelmässigen Zwischenräumen eingelagerten kugelförmigen Zellen, an die Lymphzellen erinnernd, die schon frühzeitig dem Untergange anheimfallen. Nur aus der homogenen Grundsubstanz besteht der reife Glaskörper.

In Übereinstimmung mit Donders und Doncan hob C. O. Weber (1860) hervor, dass der Glaskörper in frischem Zustande untersucht werden muss. Er schloss sich der Auffassung Virchows an und schrieb (p. 392), dass »der Glaskörper — — — — das ganze Leben hindurch aus Schleimgewebe besteht, dessen Zellen nur so eigenthümlich das Licht fast in derselben Weise brechen

wie die zwischen ihnen liegende Grundsubstanz, dass sie nur mit äusserster Mühe und unter eigenthümlicher Präparationsweise sichtbar werden». – »Man sieht (p. 391) sehr zarte spindelförmige, in feine Fädchen auslaufende, oft mit anderen in Verbindung stehende Zellen, mit ovalem, sehr zartem Kerne und besetzt mit verschieden grossen Schleimsäcken, als ob zwischen den Ausläufern der Zelle Schleimmasse sitzen geblieben wäre, oder als ob diese selbst mit Schleim erfüllt wären». Er leugnete ganz und gar die Existenz von Membranen und Sectoren im Glaskörper (p. 393).

Nach der Ansicht von C. Ritter (1865, p. 101) muss die Untersuchung der Augen sofort unternommen werden, während sie noch warm sind, oder auch wenn sie noch warm in die Konservierungsflüssigkeit eingesteckt worden sind. Er fand auf der inneren Oberfläche der Membrana hyaloidea in unbestimmten Zwischenräumen platte, mit Kernen versehene Zellen. Die Zellen sind rund, länglich oder spulförmig. In dem Glaskörper hat er keine Membranen beobachten können, und meinte, dass dieser wie eine Cyste aus einer strukturlosen Membran mit einem schleimigen Inhalt bestehe.

Von einer abweichenden Auffassung war J. Henle (1866–1873, p. 702) der den Glaskörper als aus einer homogenen Substanz zähflüssiger oder gallertiger Beschaffenheit gebildet betrachtete, die nach dem Tode einen Koagulierungsprozess erleidet, und dabei im Mikroskope als feinkörnige Substanz erscheint, die nach längerer Aufbewahrung in der Erhärtungsflüssigkeit in ein System äusserst feiner paralleler Fasern übergeht.

Später zählte A. Kölliker (1867, p. 62 u. 64) den Glaskörper der Gruppe »einfacher Bindesubstanz», und der Unterabteilung »der gallertigen einfachen Bindesubstanz» zu. Er schrieb (p. 696), »was mich betrifft, so finde ich im Glaskörper menschlicher und thierischer Embryonen, so wie bei Kindern und jungen Thieren nirgends etwas Anderes, als eine gleichartige schleimhaltende Grundsubstanz und viele – – – – in derselben vertheilte – – – – Zellen. – – – – Im Glaskörper des Erwachsenen war von den frühern Verhältnissen meist nur die gleichartige Grundsubstanz geblieben und die Zellen verschwunden.» Er gab folgendes Endurteil: »Aus diesen Erfahrungen ziehe ich den Schluss, dass der Glaskörper wohl früher einen Bau besitzt, der noch am meisten an embryonale Zellengewebe erinnert, dass aber später, wenigstens in seinen innern Theilen, jede Spur eines solchen verloren geht und derselbe nur aus einem mehr oder minder dichten Schleime besteht.»

Wie es Gerlach früher getan hatte, suchte D. Smith (1868, p. 376) die Ansichten von Brücke und Hannover zu vereinigen und zeigte, dass der Glaskörper nach Behandlung mit Karbolsäure in peripheren Teilen konzentrische Schichten und im Zentrum einen strahligen Bau aufweist. Auch J. Stilling (1869, p. 307) war der Meinung, dass der Glaskörper einen Rindenbereich und einen Kern besitzt; der Rindenbereich besteht aus konzentrischen Spalträumen, die einen homogenen Kern umschliessen.

In »*Studier öfver glaskroppen*» hat C. A. Blix (1868) eine mit Bildern versehene Darstellung über den Bau des Glaskörpers geliefert. Er untersuchte sowohl frisches wie mit verschiedenen Erhärtungsflüssigkeiten behandeltes Material. Er schrieb: falls man das Mikroskop auf die eigentliche Glaskörpermasse einstellt, so erblickt man im allgemeinen gewöhnlich in ihren zentralen Teilen keine Spuren von Zellen oder von irgend einer Struktur; in den peripheren Teilen trifft man immer Zellen, und um so zahlreicher je jünger das Tier gewesen ist, und diese Zellen zeigen nicht nur amoeboidähnliche Bewegungen, sondern wandern auch im Glaskörper. In erhärtetem Glaskörper beschrieb er Struktur. »Beim ersten Blicke sieht man nichts anders als ein Netz feiner Fäden, die sich in allen möglichen Richtungen kreuzen» (p. 12). Diese Fäden besitzen jedoch eine gewisse Anordnung und laufen strahlenförmig in Knotenpunkte in Gestalt spulförmiger Zellen zusammen, von

denen er eine Zeichnung liefert (Pl. II, Fig. 4). Fünf bis sechs Fäden gehen davon aus, und diese sind lang und gewunden und bilden Anastomosen mit von anderen Zellen ausgehenden Fäden. Zusatz von Essigsäure macht die Bilder deutlicher. In den peripheren Teilen des Glaskörpers ist das Drahtnetz beträchtlich dichter als in den zentralen Teilen.

Im Jahre 1865 beschrieb A. Iwanoff, der den Glaskörper von sowohl Menschen als Tieren untersucht und keine wesentlichen Unterschiede zwischen diesen gefunden hatte, Zellen dreier Arten, die er im Glaskörper gefunden hatte, von denen eine Gruppe mit einem klaren runden Bläschen in den inneren Teilen zur Aufgabe hätte, den Schleim abzusondern, woraus die ganze Masse des Glaskörpers besteht. Er hat weder Septa noch konzentrisch geordnete Membranen gefunden (p. 155 ff). 1872 lenkte er die Aufmerksamkeit auf den deutlichen Unterschied zwischen den peripheren und den zentralen Teilen eines frischen Glaskörpers, Schichten in der Peripherie und Homogenität im Zentrum. Bei der Ora serrata befindet sich eine mit der Oberfläche des Glaskörpers parallele Schicht, bestehend aus mehreren Fasern an Bindegewebsfasern erinnernd, die nach vorn die vordere Oberfläche des Glaskörpers bilden. Innerhalb dieser treten auch andere, an elastische Fasern erinnernde, auf (p. 1071 ff).

Eine kritische Prüfung der früheren Untersuchungen über den Glaskörper lieferte G. Schwalbe 1874. Er fand den Glaskörper in frischem Zustand völlig durchsichtig und gleichartig und anscheinend jeder Form von histologischer Struktur ermangelnd. Nur einmal gelang es ihm ohne Reagenzien Fibrillen im Glaskörper eines Menschen nachzuweisen, und da hatte der Glaskörper einen Teil seines Wassers verloren (p. 470 ff.). In Übereinstimmung mit Iwanoff fand er bei der Ora serrata Bündel äusserst feiner Fasern (p. 471). Die Angabe der Fasern in dem Glaskörper sei, erklärte er, darauf zurückzuführen, dass man durch Reagenzien entstandene Bildungen für präexistierende gehalten habe (p. 471). Bezüglich der Zellen in dem Glaskörper behauptet er bestimmt, dass sie »nichts weiter wie eingewanderte Lymphkörperchen sind» (p. 474). 1887 macht er wiederum eine Zusammenstellung der gemachten Untersuchungen und betrachtet den Glaskörper als bestehend aus einer Rindenschicht von konzentrischen Spalträumen durchsetzt und einem Kern mit radialen Scheidewänden, erinnernd an die Hannoversche Apfelsinentheorie.

1886 und 1888 hat P. Haensell Mitteilungen über seine Untersuchungen über die mikroskopische Struktur des Glaskörpers von neugeborenen Tieren, besonders Kaninchen gemacht. Er besteht aus Zellen, die ein tatsächliches Bindegewebe bilden, dessen Zellen zu einem Protoplasmanetz geformt und zu Lamellen geordnet sind.

M. Straub (1888), der seine Untersuchungen an Menschenaugen unternahm, fand Membranen. »Diese Grenzhäute sind die äusserste Lage von einer grossen Zahl gleich aussehender, den ganzen Glaskörper durchsetzender Häute. Der grösste Theil derselben entsteht genau an der Ora serrata, an welcher sie mit innigen Verbindungen festgeheftet sind; die übrigen Häute gehen von dem nach vorn convexen Theile der Limitans anterior ab» (p. 11). Er benutzte die Müllersche Flüssigkeit und untersuchte Augen, die in dieser Flüssigkeit bis zu mehreren Jahren aufbewahrt worden waren (p. 8).

Die Verfasser der Lehrbücher dieser Zeit verhielten sich den vorgebrachten Ansichten über den Glaskörper gegenüber verschieden. C. Toldt (1888) berichtet einiges von den älteren Ansichten und scheint die Auffassung von dem Glaskörper zu bevorzugen, dass er aus einer von Lamellen gebildeten Rinde und einem Kern bestände, erwähnt aber auch die Darstellung von H. Virchow (p. 639). Fr. Merkel (1890, p. 265) äussert Zweifel. »Eine Structur ist bis heute im Glaskörper überzeugend nicht nachzuweisen gewesen; denn wenn ihn der eine Forscher (Hannover) nach Art einer Apfelsine mit radiären Scheidewänden, der

andere (Brücke u. A.) nach Art einer Zwiebel mit concentrischen Lamellen gebaut sein lässt, so genügt schon diese Nebeneinanderstellung, um die Unsicherheit in Bezug auf eine Structur anzudeuten. H. Virchow hat jüngst durch Versuche erweisen wollen, dass der Glaskörper aus Flüssigkeit und einem Fasergerüst besteht. Er leugnete die Existenz der Membrana hyaloidea und war der Meinung, dass der Glaskörper der Zellen ermangelt, Wanderzellen ausgenommen. Seines Erachtens erübrigte noch vieles, und er schrieb (p. 266): »Die Glaskörperstructur lässt die Federn der Gelehrten noch immer nicht zur Ruhe kommen.«

Auffassung des fibrillären Baues.

Histologische Untersuchungen. Mit G. V. Ciaccios Arbeit »Beobachtungen über den innern Bau des Glaskörpers im Auge des Menschen und der Wirbelthiere im Allgemeinen» (1868) wurde eine neue Periode der Ansichten über den Bau des Glaskörpers eingeleitet, die sich über mehr als fünfzig Jahre erstreckte. Er hob hervor, dass der Glaskörper bei Menschen und bei anderen Wirbeltieren denselben Bau habe, und »scheint mir diese innere Structur in hohem Grade einfach». - - - - - Der Glaskörper besteht »ganz und gar aus Fasern und einer sehr durchsichtigen Materie, die etwas klebrig ist und homogen erscheint. Die Fasern sind ausserordentlich zahlreich, dünn, deutlich begrenzt, nicht platt, sondern rund; sie verlaufen nach verschiedenen Richtungen und sind dabei so mit einander verfilzt, dass ein wunderbar feines, unentwirrbares Netz daraus hervorgeht (p. 584). - - - - - Was sodann die gallertige Materie betrifft, so befindet sich dieselbe in den Lücken des Fasernetzes» (p. 585). Um die beschriebene Struktur zu erzeugen, behandelte er den Glaskörper mit Chromsäure oder Alkohol, verwarf aber den Gedanken an »ein Kunstgebilde» (p. 585). Die Lichtbrechungsverhältnisse der Fasern und die der gallertigen Substanz im frischen Glaskörper weichen nur unbedeutend von einander ab, was bewirkt, dass die mikroskopischen Beobachtungen in durchfallendem Licht überaus erschwert werden, während die erwähnten Mittel durch Koagulation hauptsächlich in der gallertigen Substanz den Brechungsexponenten verändern, wodurch die Faserstruktur zur Erscheinung kommt.

In seiner Arbeit »Die Netzhautablösung» hat E. Nordenson (1887, p. 79) den mikroskopischen Bau des Glaskörpers beschrieben. »Der abgehobene und zusammengeschrumpfte Glaskörper hat eine feinfaserige Beschaffenheit. Die Fasern erschienen sämmtlich als geschlängelte Linien und liegen zum Theil in grosser Ausdehnung parallel verlaufend neben einander - - - - - . Es giebt theils Bündel, die der Innerfläche der Netzhaut parallel in meridionaler Richtung verlaufen, theils und in überwiegender Anzahl solche, welche eine mehr oder weniger senkrechte Richtung zur Netzhaut einnehmen. Letztere strahlen in breiten Zügen von der Innenfläche der Netzhaut aus (Schwed. Aufl. 1886, p. 86, wird hier zugefügt »besonders bei der Ora serrata»), um sich divergierend in dem Glaskörper zu verbreiten. - - - - - Die dickeren Faserbündel kommen hauptsächlich in dem peripheren Theile des Glaskörpers vor, während man in der Mitte feinkörnige geronnene Eiweissmasse antrifft». Er benutzte die Müllersche Flüssigkeit und fixierte während fünf Wochen (p. 74). Die Arbeit enthält eine Anzahl besonders guter Bilder, die seine Anschauung erklären. Vor ihm hat niemand so vornehme Zeichnungen der mikroskopischen Glaskörperstruktur aufgewiesen.

In mehreren Arbeiten hat H. Virchow sich der Frage über den Bau des Glaskörpers gewidmet, und die Auffassung, die in dieser Frage in der letzten Zeit geherrscht hat, ist auf die von ihm und G. Retzius ausgeführten bedeutungsvollen Untersuchungen gestützt. In der Versammlung der Ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg 1885 hielt Virchow Vorträge über die physikalische und die morphologische Natur des Glaskörpergewebes. Der Glaskörper wird gebildet aus Flüssigkeit und einem

Gerüst von Fasern; diese haben die physikalische Eigenschaft der Festigkeit, was dadurch bewiesen wird, dass sie im Stande sind, eine Last zu tragen (1885, p. 226). Er präparierte in einer von ihm angegebenen Weise ein Stück des Glaskörpers und umband dieses an zwei Stellen, so dass es aufgehängt und belastet werden konnte, und dabei beobachtete er, dass der Glaskörper ausser seinem eigenen Gewicht noch eine Belastung von 20—25 g vertrug, ehe er zerriss. Von dem Präparate tropfte Flüssigkeit beständig ab, und sobald es ausgedehnt wurde, kam im Zentrum ein weisslicher Streifen zum Vorschein, den Virchow für durch Zusammenbacken zahlreicher Fasern gebildet hielt, während in den peripheren Teilen die Fasern und die Flüssigkeit noch vermischt waren (p. 227 ff.). »Die Faser, das morphologische Element des Glaskörpergewebes, ist drehrund und glatt und mit anderen Fasern nicht in Form von Fibrillenbündeln, sondern gerüstartig verbunden; — — — An Vereinigungsstellen ('Knotenpunkten') von drei oder mehr Fadenstücken findet man keine Anschwellungen und keine Ab- oder Zunahme der Dicke der Fadenstücke. Zuweilen treffen mehrere Fäden in einem Punkte zusammen, so dass Stellen des Gerüstes einen strahligen Charakter bekommen. Das Gerüstwerk ist so eng, dass an vielen Stellen seine Maschen nicht im Stande wären, ein rothes Blutkörperchen aufzunehmen; ja es kann so dicht werden, dass es den Charakter einer 'moleculären' Substanz annimmt» (p. 229). Später hat Virchow in einer Reihe von Schriften die Glaskörperfrage und damit verwandte anatomische Fragen behandelt. Im Jahre 1900 erschien seine grosse Arbeit »Fächer, Zapfen, Leiste, Polster, Gefässe im Glaskörperraum von Wirbeltieren sowie damit in Verbindung stehende Fragen». In dieser umfangreichen Arbeit, legte er seine Ergebnisse dar, die bezüglich des Baues des Glaskörpers hauptsächlich mit seiner Darstellung von 1885 zusammenfallen, und lieferte eine zuweilen recht heftige Kritik gegen diejenigen, die Zweifel an dem Vorhandensein der mikroskopischen Faserstruktur geäussert hatten, oder hinsichtlich der Einzelheiten mit den seinigen nicht übereinstimmende Ansichten gehabt hatten. Er sagte »Lass uns doch sehen, *welche* Fibrille des Dauerpräparates eine *wirkliche Fibrille* und welche ein *Kunstprodukt* ist! — — — Soll man annehmen, — — — dass die Fibrille selbst *noch viel dünner ist*, als das mikroskopische Bild uns vorspiegelt» (p. 750).

Nebst den früher erwähnten Arbeiten von H. Virchow ist diejenige von G. Retzius »Ueber den Bau des Glaskörpers und der Zonula Zinnii in dem Auge des Menschen und einiger Thiere» (1894) grundlegend für die bisher herrschende histologische Auffassung von dem Bau des Glaskörpers. Er erhärtete in 3 %-iger Bichromatlösung und Flemmingscher Flüssigkeit, brachte das Präparat in Alkohol, bettete in Celloidin ein, und färbte gewöhnlich mit Anilinfarben (p. 78 u. 79). Er fand stets im Glaskörper ein Netzgewebe von Fasern. »Bei stärkerer Vergrösserung löst sich nun das sämtliche Gewebe *in ein äusserst intricates Geflecht feinster Fasern auf*, welche sich in den verschiedensten Richtungen kreuzen und hier und da zu engeren Knotenpunkten zusammentreten, ohne jedoch netzförmig zusammenzuhängen. Die Fasern haben ein ziemlich steifes, hier und da gekörntes Aussehen und lassen zwischen sich offene Maschenräume, in welchen man keine Structur sieht. — — — Ueberall ist jedoch die faserige Natur stets vorhanden. — — — Auf diesen Fasern liegen eigenthümliche glänzende Kügelchen oder Körnchen von etwas wechselnder Grösse zerstreut; die Natur dieser Körnchen habe ich nicht eruiren können; — — — —» (p. 80). Diese Fasern sieht er oft zu Knotenpunkten zusammenlaufen, aber er kann nicht entscheiden, ob sie mit einander in Verbindung treten. Abgesehen von der eigentlichen Hyaloidea sind keine häutigen Bildungen vorhanden, sondern nur Verdichtungen des gewöhnlichen Glaskörpergewebes (p. 82). In der Gegend der Ora serrata biegen eine Anzahl Faserlamellen von verschiedenem Niveau nach hinten ab, die sich in Faserbün-

del auflösen, welche man rückwärts durch zwei Drittel des Glaskörpers verfolgen kann (p. 83). Eine Anzahl sehr schöner und sorgfältig ausgeführter Tafeln sind der Darstellung beigefügt.

Später hat Retzius abermals die Frage aufgenommen und seine Resultate mit denjenigen anderer Forscher in der Arbeit »Zur Kenntnis des Baus des Glaskörpers im Auge des Menschen» verglichen, die 1921 erschien. Dabei antwortete er vor allem H. Virchow, der 1900 (p. 741 ff.) seine Darstellung von 1894 kritisiert hatte, und hob hervor, dass während Virchow betont hat, dass die Fasern dreidimensional zusammenhängend sind, er selbst nicht damit einverstanden sei, sondern weist darauf hin, dass er »*keine* wirkliche *Vereinigung* (resp. Anastomosierung oder Verzweigung) dieser Fasern habe finden können» (p. 37).

Mit Retzius und H. Virchows Arbeiten wurde die fibrilläre Struktur des Glaskörpers allgemein anerkannt und die nachherigen Untersuchungen wurden mehr auf Einzelstudien gerichtet. Es folgten nämlich Untersuchungen über die Strömungen in dem Fasersystem, über die gerüst- oder geflechtartige Anordnung der Fasern, über die Körner der Fasern, und auch über rein technische Fortschritte bei der Behandlung des Untersuchungsmaterials.

Die Fasersysteme wären nach mechanischen Bedingungen angeordnet, und M. v. Lenhossék (1911) zieht einen Vergleich zwischen der Architektur des Glaskörpers und dem Bau der Beinspongiose (p. 295). J. Kuschel (1907) war der Meinung, dass die Fasern nicht in Folge von Druckkräften geordnet wären, sondern sah in der Anordnung des Fasersystems ein Spiel der Zugwirkung.

Das Verhältnis der Fasern zu einander ist der Gegenstand mancher Untersuchungen geworden. G. Retzius (1894, p. 80) glaubt gezeigt zu haben, dass eine geflechtartige Anordnung mit isolierten Fasern vorläge, aber H. Virchow betonte energisch das dreidimensionale Netz mit Knotenpunkten, wo die Fasern zusammenstiessen (1885, p. 229; 1900, p. 738). Dies Gerüstwerk fanden mehrere Verfasser (M. Wolfrum 1907, A. v. Szily 1908, A. Szent-Györgyi 1917, und andere) besonders in embryonalem Stadium und bei niederen Wirbeltieren. G. Retzius (1921, p. 36) prüfte aufs Neue seinen Standpunkt und konnte keine Anastomosen zwischen den Fasern finden, und A. Jokl (1927, p. 211) schloss sich ihm betreffs der Säugetiere und des Menschen an.

Die auf den Fasern beobachteten Körner, die in ziemlich regelmässiger Entfernung von einander liegen, und die bisweilen einander so genähert sind, dass die Fasern ein rosenkranzähnliches Aussehen erhalten, sind in verschiedener Weise aufgefasst worden. Sie sind betrachtet worden, teils als Niederschläge, teils als optische Querschnitte, und schliesslich als Knotenpunkte, wo mehrere Fasern zusammengestossen sind. Th. Salzmann (1900, p. 39) und Szent-Györgyi (1917, p. 333) unter anderen, schlossen sich denjenigen an, die in den Varicositäten durch Niederschlag entstandene Kunstprodukte sehen, indem Jokl (1927, p. 212) meinte, dass die Körner zu den Fasern gehören, und Verdickungen derselben seien, aber er reservierte sich betreffs der Einwirkung der Fixierungsflüssigkeiten.

Die Schwierigkeit bei der histologischen Behandlung des Glaskörpers bestand vor allem darin, die Schrumpfung des Präparates zu verhindern, die gewöhnlich schon bei dem ersten Akt der Behandlung oder sicher bei der Einbettung eintrat. Als ein bedeutender Fortschritt in diesem Falle mag die von Szent-Györgyi (1914, p. 25 ff.) angegebene Methode erwähnt werden. Er benutzte eine Fixiermischung, wo Aceton den wichtigsten Bestandteil ausmachte, und gab eine Methode für die Einlagerung in Celloidin nebst Färbungsmethoden an, wodurch Schrumpfung gänzlich oder in möglichst hohem Masse vermieden wird. Im Jahre 1917 veröffentlichte er seine Arbeit »Untersuchungen über den Bau des Glaskörpers des Menschen», und er zeigte darin besonders schöne Schnitte durch ganze Augen mit schön hervortretender Strukturierung des

histologischen Fasernetzes und beschrieb die Faserströmungen in denselben: meridionale, cirkuläre und radiäre Systeme.

Jokl (1927) baute weiter auf der Methode von Szent-Györgyi und hat in seiner Arbeit eine grosse Anzahl sehr schöner Abbildungen.

Nachdem die Glaskörperfrage durch die Arbeiten von Retzius und Virchow als gelöst angesehen werden konnte, wurde in den ersten Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts das Interesse, Einzelstudien in Strukturhinsicht ausgenommen, der Embryologie des Glaskörpers gewidmet. Die damals anerkannte Ansicht über die fibrilläre Struktur wurde dabei »das *klare Endziel*, auf welches loszusteuern ist» (Virchow, 1900, p. 766). Während eines halben Jahrhunderts war die Lehre von seinem mesodermalen Ursprung so gut wie dogmatisch geltend gewesen, seitdem H. Schoeler (1848) seine Lehre über die bindegewebige Abstammung des Glaskörpers dargelegt hatte. Die Anatomen A. Kölliker (1861 u. 1883), R. Virchow (1852 u. 1853), N. Lieberkühn (1872), G. Retzius (1894) und andere schlossen sich im grossen Ganzen dieser Anschauung an, obgleich sie in Einzelheiten auseinandergehende Auffassung hegten. Einzelne Verfasser brachten etwas grundsätzlich Neues vor. So meinte L. Kessler (1871 u. 1877) gefunden zu haben, dass der Glaskörper ein Transsudat aus den Gefässen sei. Diese Ansicht wurde von Kölliker (1879, p. 645) geprüft, der indessen seine frühere Meinung nicht aufgab.

Eine neue Periode wurde eingeleitet, sobald S. Tornatola (1897) seine Untersuchungen veröffentlichte. Er glaubte gezeigt zu haben, dass der Glaskörper ektodermale Genese habe und nahm an, dass die Retina »vitreoformative Zellen» besässe, und dass der Glaskörper ein »Sekretionsgewebe» sei (p. 543).

Die Theorie von Tornatola wurde ein Sporn zu umfassenden embryologischen Untersuchungen. Der fibrillenförmige Bau des Glaskörpers wurde durch die Arbeiten von G. Retzius und H. Virchow für vollständig aufgeklärt gehalten, und dessen Embryologie wurde der Gegenstand der Forschung. Im Laufe nur einiger weniger Jahre waren zahlreiche Untersuchungen mit äusserst auseinandergehenden Resultaten unternommen worden. A. Fischel (1900) und C. Rabl (1903) verfochten die Theorie von Tornatola, G. Ciriucione (1903 u. früher) war der Vertreter der alten Auffassung des mesodermalen Ursprunges. M. v. Lenhossék (1903) war der Meinung, dass er gezeigt habe, dass der Glaskörper ein Produkt der Linse ist, und dass die Zellen der Linsenanlage Kegelchen haben, in derselben Weise wie die Netzhautzellen nach Tornatola und anderen. A. Kölliker (1903), der früher die mesodermale Auffassung verfochten hatte, betrachtete jetzt den Glaskörper als ein ektodermales Gebilde, das während seiner Entwicklung im Anschluss an die einwachsenden Gefässe einen mesodermalen Zuschuss erhielt, aber er hat keinen Platz für den lentikularen Glaskörper von v. Lenhossék, was dagegen P. van Pée (1902, 1903) hatte, damit eine Brücke zwischen den divergierenden Ansichten schlagend.

Die vorgebrachten Ansichten wurden Gegenstände einer grossen Anzahl Untersuchungen seitens der Vertreter der verschiedenen Auffassungen. Die ektodermale Genese des Glaskörpers fand viele Fürsprecher, und mit M. Wolfrum (1907), L. Bach und R. Seefelder (1911–1914), J. Mawas und A. Magitot (1912) wurde diese Auffassung allmählich die vorherrschende. Während des letzten Jahrzehntes trat die Ansicht von der mesodermalen Genese wieder hervor, repräsentiert unter andern von G. Fracassi (1923) und Ch. Dejean (1923), der jedoch meint, dass die Glaskörperfasern ein Differenzierungsprodukt einer homogenen Masse seien (p. 360 ff.) Diese Frage dürfte demnach vorläufig noch nicht als endgültig gelöst angesehen werden, wenn auch die Lehre von der ektodermalen Genese allgemein angenommen zu sein scheint.

Spaltlampenuntersuchungen. Die Gullstrandsche Spaltlampe in Verbindung mit dem Cornealmikroskop wurde nicht nur zu einem ausserordentlichen diagnostischen Hilfsmittel, sondern ist auch das Instrument der Histologie des lebenden Auges geworden. Ausser A. Gullstrand (1911, p. 143) haben mehrere Verfasser (L. Koeppe, 1920—1922, 1921, A. Vogt, 1921, 1930 u. a.) umfassende Untersuchungen über die vorderen Teile des Auges veröffentlicht, die allmählich auch auf den Glaskörper erstreckt worden sind, und mittels gewisser technischer Hilfsmittel die hinteren Teile des Glaskörpers und den Augenhintergrund umfasst haben. Betreffs des Glaskörpers sind die dabei gemachten Beobachtungen von mannigfaltiger Beschaffenheit gewesen. L. Koeppe (1921, p. 99) glaubte gezeigt zu haben, dass »der Glaskörper ein allerfeinst gebautes Gitterwerk darstellt, das sich aus einer gröberen Längsfaserung und einer etwa senkrecht dazu verlaufenden Querfaserung zusammensetzt». Vogt (1921, p. 136) hob hervor, dass das Glaskörpernetz von wechselndem Typus und von variierender Deutlichkeit sei. Es handelte sich bald um überwiegend lamellenförmige Struktur, um häutige Gebilde, bald bekam er den Eindruck reiner Faserstruktur. Er wies darauf hin, dass die Befunde gewissermassen von der benutzten Lichtquelle abhängig sind. Im Jahre 1930 (p. 2) schrieb er: »Die Spaltlampe erschliesst uns das Glaskörpergerüst in seiner lebenden vielgestaltigen Form. Bald finden wir ein lichtstarkes wogendes Faltengerüstwerk, bald beschränkt sich letzteres auf spärliche Fasern, Streifen oder Membranen bestimmter Gestalt, oder es bestehen die mannigfaltigsten Übergangsbilder». T. Koby (1920, p. 159) unterschied verschiedene Typen von Fasernetzen, und fand den Zwischenraum zwischen den Fasern mit homogener Flüssigkeit ausgefüllt. J. Veragut (1923, p. 333) veröffentlichte das Resultat seiner Untersuchungen an 82 Schulkindern im Alter von 9—16 Jahren und fand bei 75 Kindern deutlich faltige, frontal geordnete Membranen und bei den übrigen 7 ein teils faseriges, teils faltiges Gerüst. Lauter faseriges Gerüst sah er bei keinem Kinde.

W. Comberg (1924, p. 696) war gegen die gemachten Untersuchungen sehr skeptisch, und hielt es nicht für möglich, mit einer maximal hundertfachen Vergrösserung im Einzelnen den Glaskörper analysieren zu können. Seine Spaltlampenuntersuchungen wiesen auf die Wahrscheinlichkeit einer kolloidalen Struktur des Glaskörpers hin.

Das Resultat der Spaltlampenuntersuchungen suchten die Verfasser zu deuten, als mit der üblichen Auffassung von dem histologischen Bau des Glaskörpers zusammenfallend. Das bei dieser Untersuchung gefundene Fadennetz würde dem histologischen entsprechen oder dadurch erklärt werden können, während diese Untersuchungen gleichzeitig zeigen würden, dass der nicht behandelte Glaskörper doch eine Fadenstruktur hätte, die man früher im Mikroskope nicht hatte beobachten können.

Auffassung des Gallertbaues.

Von völlig hiervon abweichenden Gesichtspunkten aus haben M. Baurmann und A. Thiessen (1922) in einem Aufsatz »Die Struktur im Glaskörper des Auges» den Bau des Glaskörpers beurteilt. Bei Untersuchung im Immersions-Spalt-Ultramikroskop von Winkel erschien der Glaskörper von einem unregelmässigen Netzwerk feinster Fasern aufgebaut, die in zwei Dimensionen ultramikroskopisch waren, aber in der dritten mikroskopische Grösse besassen. Die harte Konsistenz des Glaskörpers zeigte sich an diese Fadenstruktur gebunden, und der Glaskörper wurde von Baurmann und Thiessen als eine Gallerte bezeichnet (p. 126 u. 127). Hierdurch wurde ein kräftigeres Argument gegen die übliche histologische Auffassung vorgebracht, als was früher möglich gewesen war. Kesslers Transsudattheorie (1877), Merkels Zweifel an den damaligen Ansichten (1890) und O. Cohnheims Auffassung von dem Glaskörper als einer Gallerte (1900), hatten

keinen Einfluss ausgeübt, während die ultramikroskopischen Untersuchungen und ihr Gegensatz zu der gewöhnlichen Auffassung einer grösseren Beachtung nicht entgehen können.

Weitere Untersuchungsresultate wurden von Baurmann 1923 veröffentlicht, wobei er betreffs der Faserstruktur und der Alterungsveränderungen bei dem Glaskörper Eigenschaften zeigte, die er bei Seifengallerten wiederfand. Im Jahre 1926 erschien eine neue Arbeit, in welcher er eine Brücke zwischen den Spaltlampenbefunden und denjenigen des Ultramikroskopes zu schlagen versuchte. Er sah in den mannigfaltigen Bildern dieselbe Erscheinung wie beim Betrachten eines Damastgewebes. Es ist die Richtung der Fäden des Gewebes, die bei fixer Einfallsrichtung des Lichtes dafür entscheidend ist, ob die Fadengruppen verhältnismässig hell oder dunkel erscheinen.

Im Jahre 1926 publizierte K. Heesch eine Abhandlung über die ultramikroskopische Struktur des Glaskörpers, worin er nachzuweisen versuchte, dass diese Struktur in verschiedenen Teilen des Glaskörpers verschieden ist. Dieser Arbeit folgte 1928 eine Untersuchung, teils über den Zusammenhang zwischen der ultramikroskopischen Struktur und dem Spaltlampenbefunde, teils zwischen der ultramikroskopischen und der mikroskopischen Fadenstruktur des Glaskörpers. Zuletzt gab er eine Zusammenfassung der Resultate seiner Untersuchungen.

* *
*

Aus der gegebenen Übersicht erhellt, wie die Ansichten über den Bau des Glaskörpers von Zeit zu Zeit gewechselt haben. Jede neue Auffassung von seinem Baue ist von einer Verwerfung der früheren Ansichten begleitet, und der Begriff Kunstprodukt ist bei der Erklärung der früher erzielten Resultate benutzt worden. In dieser Frage hat grosse Unsicherheit geherrscht, und die jüngste auf Untersuchungen im Ultramikroskope gegründete Anschauung über den Glaskörper als aus einer Gallerte bestehend, hat die Glaskörperfrage zum Anfang einer neuen Periode gebracht, wo die mikroskopischen Untersuchungsmethoden durch die ultramikroskopischen ersetzt werden. Mit voller Deutlichkeit zeigt jedoch die Literatur aus den letzten Jahren des vorigen Jahrzehntes, dass noch Unsicherheit herrscht.

Da demnach immer noch Arbeiten über den Glaskörper erscheinen, die trotz der von Baurmann und Thiessen und auch von Heesch und Comberg gemachten Beobachtungen sich auf seine fibrilläre Natur stützen, ist es von grösster Wichtigkeit, dass erneuerte Untersuchungen ausgeführt werden, um dadurch das tatsächliche Vorkommen der Gallertstruktur bei dem Glaskörper festzustellen.

Ein Verfasser (Jokl, 1927, p. 214) macht geltend, dass er in der Gallertstruktur ebenfalls Andeutung der fibrillären Fäden gefunden und dadurch im Ultramikroskope eine Stütze für die Annahme einer fibrillären Struktur erhalten habe, welches Verhältnis zum Gegenstand einer Prüfung gemacht werden muss. Auch ist die Meinung hervorgetreten (E. Redslob, 1927, p. 122), dass die Gallertstruktur im Ultramikroskope nicht ursprünglich sondern nur ein durch die Belichtung hervorgerufenes Kunstprodukt sei, welche Ansicht begreiflicherweise geprüft werden muss, weil die neue Anschauung auf das primäre Vorkommen der Gallertstruktur gegründet ist.

Das bekannte Verhältnis, dass der Glaskörper bei rein makroskopischer Untersuchung in seinen verschiedenen Teilen verschiedene Festigkeit besitzt, und dass histologische Bilder verschiedene Dichte zeigen, hat Anlass dazu gegeben, dass ein Verfasser (Heesch, 1926, p. 540) im Ultramikroskope Vergleiche zwischen Proben von verschiedenen Teilen des Glaskörpers angestellt hat. Da keine Kontrolluntersuchungen ausgeführt worden sind, und da seine Resultate einen unerwarteten Reichtum an Einzelheiten aufweisen, ist es angemessen erschienen, wiederholte Untersuchungen in dieser Hinsicht auszuführen.

Die Alterungsvorgänge im Glaskörper

sind ein Gegenstand der Untersuchungen von Baurmann und Thiessen (1922, p. 126), Baurmann (1923, p. 363) und Heesch (1926, p. 536 ff.) gewesen, und dabei hat es sich erwiesen, dass verschiedene chemische Mittel die Fähigkeit besitzen diese Veränderungen zu beschleunigen oder zu verzögern. Die Frage der Einwirkung der Temperatur ist dagegen nicht behandelt worden, und es scheint deshalb erforderlich zu ermitteln, in welchem Masse verschiedene Temperaturverhältnisse diese Veränderungen beeinflussen.

Von besonders grosser Wichtigkeit und grossem Interesse ist es Kenntnis von dem Zusammenhang zwischen der Gallertstruktur im Ultramikroskope und der bei den mikroskopischen Untersuchungen beschriebenen Fadenstruktur zu erhalten. Man hat (Heesch, 1928, p. 129) im Ultramikroskope einige Proben von in verschiedenen Erhärtungsflüssigkeiten behandeltem Glaskörper untersucht, hat dabei aber nur gewisse Stadien beobachten können. Es ist deshalb wünschenswert erschienen zu versuchen eine Möglichkeit zu gewinnen, die ganze Zeit der Erhärtung hindurch im Ultramikroskope den Vorgang zu beobachten, und hierdurch die Veränderungen von Gallertstruktur zu histologischer Struktur in dem grösstmöglichen Umfang zu verfolgen.

In diesem Zusammenhang ist es von Interesse das Verhältnis einiger einfachen Gallerten zu vergleichen, die besser erforscht und deshalb bekannter sind.

Die ultramikroskopischen Untersuchungen sind an Glaskörpern von Rindern, Schweinen und Pferden ausgeführt. Das Verhältnis bei Menschenaugen ist nur einige Male beschrieben worden (Baurmann, 1923, p. 363 u. 1926, p. 311, vgl. Heesch, 1929, p. 696) und dann äussert summarisch. Es dürfte deshalb besonders bedeutungsvoll sein, Untersuchungen des Glaskörpers der Menschenaugen und auch derjenigen von Föten auszuführen, von denen die letzteren noch nie untersucht worden sind. Dabei ist es von Interesse zu erfahren, ob die Beobachtungen mit denjenigen zusammenfallen, die bei dem Studium von Rinderaugen gemacht worden sind, oder ob etwaige Unterschiede vorliegen.

II. Das Ultramikroskop und dessen Anwendung bei Glaskörperuntersuchungen.

Das histologische Fadensystem des Glaskörpers ist durch eine ausserordentliche Feinheit gekennzeichnet, und seine Dimensionen sind an die Grenzen des Auflösungsvermögens des Mikroskopes verlegt worden. So schreibt G. V. Ciaccio (1868, p. 584): »Die Fasern sind ausserordentlich zahlreich, dünn — — — ein wunderbar feines, unentwirrbares Netz — — —» und G. Retzius (1894, p. 80) spricht von »einem äusserst intricaten Geflecht feinster Fasern.» A. Szent-Györgyi (1917, p. 331 u. 332) schreibt: »Im Präparate erscheinen die Fibrillen zum grossen Teile als unmessbar feine Bildungen» und »eine Menge von Fasern, die so fein sind, dass sie auch bei guten Färbungen an der Grenze der Sichtbarkeit stehen. Man beobachtet im Glaskörper, selbst bei gelungensten Färbungen, einzelne Stellen, die faserfrei zu sein scheinen. Ich vermute, dass dies Stellen sind, deren Fibrillen bis zur Unsichtbarkeit zart sind». In frischem Zustande hat man nicht die geringste Andeutung einer Struktur entdecken können (G. Schwalbe, 1874, p. 470; M. Salzmann, 1912, p. 161; G. Fracassi, 1923, p. 231, u. a.). Die Ursachen dieses Umstandes wären, teils die ausserordentliche Zartheit des Fasersystems, teils die optischen Verhältnisse. Das Fasernetz und die Glaskörperflüssigkeit hätten denselben Brechungsexponenten, wodurch die Konturen der Fasern in dem mikroskopischen Bilde verschwänden.

Nach der von E. Abbe entwickelten Theorie für die objektähnliche Abbildung

können wir Punkte eines Objektes trennen, wenn der Abstand der Punkte $\geq d$ ist, wo $d = \frac{\lambda}{2\, n \sin \alpha}$, was durch seitliche Beleuchtung des mikroskopischen Objektes erreicht wird. Hier bezeichnet

λ die Wellenlänge des benutzten Lichtes

n das Brechungsverhältnis des Mediums zwischen dem untersuchten Teilchen und dem Objektive und

α den halben Winkel, unter welchem die Linse von dem beobachteten Objektpunkte sichtbar ist.

Je kleiner d ist, um so grösser ist die Auflösungsfähigkeit des Mikroskopes. Der Abstand d kann dadurch vermindert werden, dass man den Zähler vermindert und den Nenner vergrössert, also durch Benutzung von Licht kurzer Wellenlänge und durch Steigerung der numerischen Apertur des Objektives. Sin α kann niemals grösser als 1 werden, und wenn Trockensysteme benutzt werden, ist $n = 1$, und die obere Grenze der numerischen Apertur demnach 1, und bei den jetzt gebräuchlichen Objektiven beträgt diese Grenze 0,95. Wird Wasser mit dem Brechungsexponenten 1,33 benutzt, ist die numerische Apertur etwa 1,25, und mit Immersionsöl, dessen Brechungsexponent 1,515 ist, steigt die numerische Aperatur bis auf 1,40. Bei Anwendung von Ölimmersion und Licht mit einer Wellenlänge von 500 $\mu\mu$ beträgt die Grösse der kleinsten Teilchen, die im Mikroskop beobachtet und gemessen werden können 180 $\mu\mu$. Mit einer Wellenlänge von 275 $\mu\mu$ und speziel gebautem Mikroskop liegt die Grenze bei 110 $\mu\mu$ (The Svedberg, 1928, p. 128 ff.)

Für Teilchen von geringerer Grösse kann die Sichtbarmachung nur unter Verzichtleistung auf ähnliche Abbildung geschehen (H. Siedentopf u. R. Zsigmondy, 1903, p. 3 ff.). Ausgehend von Tyndalls und Lord Rayleighs Beobachtungen, dass das von sehr kleinen Teilchen (klein gegen die Wellenlänge des Lichtes) abgebeugte Licht linear polarisiert ist, am vollkommensten in der Richtung senkrecht zum einfallenden Strahl, konstruierten Siedentopf und Zsigmondy das Ultramikroskop 1903, und dies ist später 1913 (Zsigmondy, p. 975 ff.) und 1919 (Winkel-Zeiss' Druckschrift nr 234, 235) verbessert worden. Das Prinzip dieses Typus des Ultramikroskopes ist die ganze Zeit durch dieselbe. Ein Lichtkändel von einer Bogenlampe oder von der Sonne wird durch eine geeignete Zusammenstellung von einer Sammellinse, einer engen Spalte und einer Blende so geleitet, dass von dem Untersuchungsmaterial nur eine Schicht von einigen Tausendsteln mm Dicke beleuchtet wird und durch ein senkrecht zu der Richtung des Lichtes stehendes Mikroskop beobachtet werden kann.

Bei etwa 0,2 μ liegt demnach die Grenze für die objektähnliche Abbildung für die besten mikroskopischen Objektive, und dies ist auch die ungefähre Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit bei gewöhnlicher Beleuchtung. Vor der Einführung des Ultramikroskopes konnten kleine Teilchen, die in kolloidaler Lösung vorkommen, nicht direkt beobachtet werden, und im Mikroskope sind deshalb solche disperse Systeme für homogen gehalten worden.

Solchen Teilchen, deren Dimensionen unterhalb der Auflösbarkeit des Mikroskopes liegen, hat Siedentopf die Bezeichnung *Ultramikronen* gegeben. Sind sie im Ultramikroskop sichtbar, submikroskopisch, werden sie nach Vorschlag von Zsigmondy *Submikronen* genannt; wenn sie sich auch ultramikroskopisch nicht mehr als Einzelteilchen erkennen lassen, wenn sie amikroskopisch sind, werden sie *Amikronen* genannt (Zsigmondy, 1925, p. 12). Die Grenzen der Sichtbarmachung variieren. Bei Rubinglas ist die Sichtbarmachung noch möglich mit Teilchen von 4–7 $\mu\mu$ Durchmesser (Siedentopf u. Zsigmondy, 1903, p. 39), während bei organischen Kolloiden die Teilchen schon bei einem Durchmesser von 30–40 $\mu\mu$ amikroskopisch sein können (Zsigmondy, 1925, p. 12).

Die Intensität des abgebeugten Lichtes von Teilchen, die im Vergleich mit der Wel-

enlänge des Lichtes sehr klein sind, ist viel geringer als diejenige des zur Beleuchtung angewandten Lichtes (Siedentopf, 1912, p. 5). Lord Rayleigh hat gezeigt, dass die Intensität des abgebeugten Lichtes dem Quadrat der Grösse des Teilchenvolumens proportional, und der vierten Potenz der Wellenlänge des Lichtes umgekehrt proportional ist (Zsigmondy, 1925, p. 9). Daraus ergibt sich eine sehr rasche Abnahme der Intensität des gebeugten Lichtes bei Verminderung der Teilgrösse. Dasselbe Verhältnis besteht bei Veränderung der Wellenlänge des Lichtes. Wenn Licht von derselben Intensität und mit den Wellenlängen 400 und 700 $\mu\mu$ zur Anwendung kommt, wird etwa neunmal mehr von dem Lichte mit kürzerer Wellenlänge abgebeugt als von dem anderen. (Siedentopf, 1912, p. 6.)

Auch die optischen Konstanten der dispersen Phase und des Dispersionsmittels sind für die Sichtbarmachung von Bedeutung. Hierüber schreibt Zsigmondy (1925, p. 13): »Auch aus dem Umstande, dass einzelne Lösungen im Ultraapparat keine Einzelteilchen aufweisen, darf man nicht schliessen, dass diese Flüssigkeiten wesentlich kleinere Teilchen enthielten als die Metallhydrosole mit submikroskopischen Teilchen; denn die Grenze der ultramikroskopischen Sichtbarkeit variiert von Körper zu Körper und liegt um so höher, je näher der Brechungsexponent des zerteilten Körpers demjenigen des Mediums steht.» Dieser Umstand erklärt, dass die Bedingungen für die Sichtbarmachung bei kolloiden Metallen viel günstiger als bei organischen Kolloiden liegen.

Die ultramikroskopische Abbildung gibt im Gegensatz zu der mikroskopischen keine objektähnliche Abbildung, aber ermöglicht die Sichtbarmachung von Teilchen einer bedeutend geringeren Grössenordnung, als was mit der mikroskopischen Abbildung der Fall ist. Von der Grösse der Beugungsscheibchen kann man indessen nicht unmittelbare Schlussfolgerungen auf die tatsächliche Grösse der Teilchen ziehen, ebensowenig wie man aus diesen Beugungsscheibchen Schlüsse über die wirkliche Form der Teilchen ohne weiteres ziehen kann (Siedentopf, 1912, p. 8).

Siedentopf (1908, 1909, 1912) hat ebenfalls die Möglichkeiten einer Sichtbarmachung von Objekten untersucht, die nur in zwei Dimensionen ultramikroskopisch sind und in der dritten grössere Ausdehnung besitzen. Während es für die Ultramikronen gleichgültig ist, von welcher Seite das Licht kommt, ist dies nicht länger der Fall, wenn es sich um Teilchen handelt, die in einer Dimension beträchtlich grössere Ausdehnung als in der anderen haben. Diese Objekte zeigen im Ultramikroskope eine gesetzmässige Abhängigkeit von dem Azimut der Beleuchtung.

Er gibt eine Definition des Azimutbegriffs, die hier erwähnt werden mag (1908, p. 425). »Die relative Lage eines beleuchtenden Strahles gegen die Achse des Mikroskops lässt sich durch zwei Winkel bestimmen. Nehmen wir die Achse, um die Vorstellung zu fixieren, im folgenden stets als vertikal an, so bezeichnet man als Apertur der Beleuchtung bekanntlich den Winkel, den der beleuchtende Strahl mit dieser Achse bildet. Mit der Achse zusammen liegt er in einer bestimmten Vertikalebene. Der Winkel dieser (Vertikalebene) gegen eine bestimmte andere Vertikalebene bezeichnet das Azimut der Beleuchtung. Wir wollen hier diesen Winkel gegen die Symmetrieebene des Mikroskops zählen, und zwar wenn wir von oben auf den Mikroskoptisch blicken im Sinne des Uhrzeigers. Das Azimut von 90° liege dann z. B. vom Beobachter aus nach rechts.»

Siedentopf (1908, p. 426) hat gezeigt, dass das abgebeugte Licht von linearen Objekten, die in zwei Dimensionen ultramikroskopisch sind, seine grösste Intensität besitzt, wenn das relative Azimut der Beleuchtung zum Objekte 90° oder 270° erreicht. Das Maximum ist besonders scharf ausgeprägt, so dass die Intensität des Beugungsfächers bei geringer Änderung des relativen Azimuts sehr rasch abnimmt. Schon bei einer Änderung des relativen Azimuts

um 10° bis 20° ist die Intensität auf Null gesunken. Um solche Objekte sichtbar zu machen ist es erforderlich, dass diese und die Beleuchtung in relativem Azimut von annähernd 90° oder 270° liegen.

Über die tatsächliche Dicke dieser linearen Objekte geben uns die Beugungsstreifen ebensowenig Auskunft, wie die Beugungsscheibchen betreffs der punktförmigen Teilchen. Eine mikrometrische Ausmessung der Beugungsstreifen kann folglich keine andere Auskunft über die Dicke des Objektes geben, als dass das Objekt dünner als der Beugungsstreifen sein muss. (Siedentopf 1912, p. 43.)

Hieraus ergibt sich, dass die ultramikroskopischen Bilder nicht auf dieselbe Weise gedeutet werden dürfen, wie es bei dem Mikroskope geschieht. Die Grösse der punktförmigen Teilchen entzieht sich unserer Beurteilung, und wir können sie nur durch ihre verschiedene Lichtintensität unterscheiden. Von linearen in zwei Dimensionen ultramikroskopischen Objekten sehen wir nur diejenigen, deren Azimut etwa 90° oder 270° ist.

Wie schon hervorgehoben wurde, ist die Intensität des abgebeugten Lichtes in äusserst hohem Grade von der Grösse der Teilchen abhängig. In einer kolloiden Lösung oder Gallerte, wo grössere Teilchen beigemischt worden sind, sieht man intensiv leuchtende Punkte, die es unmöglich machen, das abgebeugte Licht naheliegender kleineren Teilchen zu sehen, oder die bei hinreichender Teilchengrösse das Gesichtsfeld vollständig erleuchten und jede vereinzelte Beobachtung verhindern. »Nehmen wir an, dass die Intensität der von materiellen Teilchen bestimmter Art gebeugten Strahlen sich bei gleichbleibender Intensität der Beleuchtung proportional ihrer Fläche ändert, so würde ein Teilchen von 1 μ Durchmesser 10 000 mal mehr Licht zerstreuen als ein Teilchen von 10 $\mu\mu$ Durchmesser» (Siedentopf u. Zsigmondy, 1903 p. 29). Sind die Teilchen von derselben Art aber von verschiedener Grössenordnung, kann man aus der Intensität des abgebeugten Lichtes das gegenseitige Grössenverhältnis beurteilen. Gröbere Fremdteilchen von 0,5 μ Durchmesser und grössere erkennt man sogleich an ihrem blendenden Glanz (p. 10).

Diese Beimischungen von grösseren Fremdteilchen haben auch eine andere ungünstige Einwirkung. Heesch (1928, p. 125) hat bei Glaskörperuntersuchungen nachgewiesen, dass diese Teilchen die Strukturbilder beeinflussen, indem sie durch Reflexionswirkung Anregung zu Sekundärstrahlen geben, die das ultramikroskopische Bild verändern.

Für meine Untersuchungen habe ich ein der histologischen Institution zu Uppsala gehörendes Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop nach R. Zsigmondy, Modell 1919, geliefert von der Firma Winkel-Zeiss in Göttingen, zu meiner Verfügung gehabt. Die Beschreibung dieses Instrumentes findet sich in Winkel-Zeiss' Druckschrift Nrs 234 u. 235, warum ich hinsichtlich dieser Fragen auf die obenerwähnten Schriften verweise. Das von Zsigmondy, 1913, konstruierte Ultramikroskop ist von A. Ehringhaus umgebaut, wobei vorzugsweise ein verbessertes Dunkelfeld gewonnen wurde. Es wird angegeben, dass man durch photometrische Messungen gefunden hat, dass die Helligkeit derselben Teilchen im Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop dieser Konstruktion etwa 21 mal grösser ist, als in dem Spalt-Ultra-Mikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy.

Das benutzte Instrument ist in der Weise konstruiert, dass es durch Umtausch des Beleuchtungsobjektives und des Beobachtungsobjektives nebst der Anbringung eines Kreuztisches für die Untersuchungsküvette wie ein Spalt-Ultra-Mikroskop gebraucht werden kann.

Das Ultramikroskop muss auf einem festen Fundament stehen, so dass Erschütterungen bei den Untersuchungen in möglichst grossem Masse vermieden werden. Bei der Untersuchung eines frischen Glaskörpers stören mässige Erschütterungen weni-

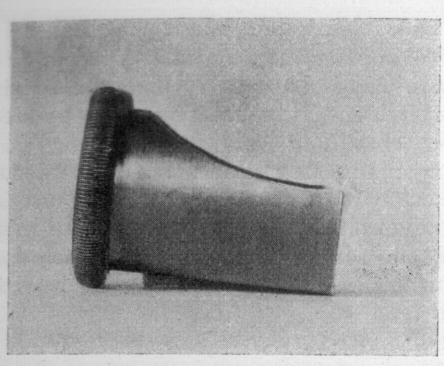


Fig. 1.

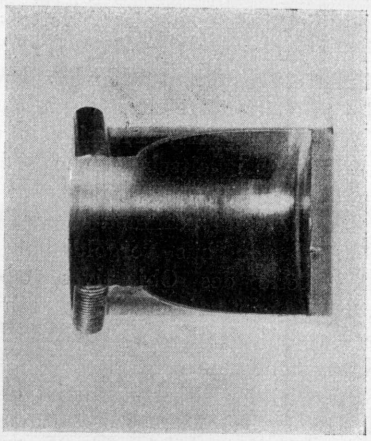


Fig. 2.

ger, wenn aber der Glaskörper älter ist, oder wenn Erhärtung vorgenommen wird, werden die Beobachtungen erschwert, wenn ausser der normalen Beweglichkeit in dem Präparate auch Verrückungen hinzukommen, die grosse Bewegungen des ganzen Gesichtsfeldes verursachen. Um diesen entgegenzuwirken, habe ich in der letzten Zeit das Ultramikroskop auf einem aus einer Steinplatte und einem Eisengerüst bestehenden Tisch aufgestellt gehabt, der auf festem Fundament steht. Es gilt auch die Mikrometerschraube bei der Einstellung des Mikroskopes vorsichtig zu berühren. Die kleinen Erschütterungen, die auftreten, wenn die Kohlenspitzen der Bogenlampe von dem Uhrwerk gegeneinander geführt werden, sind hinreichend um Störungen im Präparate hervorzurufen.

Die Anwendung des zum Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop gehörenden Einfülltrichters mit Gummischlauch habe ich weniger geeignet gefunden bei Erhärtungen oder bei der Zuführung einer anderen Flüssigkeit zu dem in der Küvette befindlichen Glaskörperstück. Wird irgend eine Flüssigkeit durch den Trichter eingegossen, findet leicht eine Verschiebung des zu untersuchenden Materials statt, so dass es häufig aus dem Gesichtsfeld hinausgebracht wird, oder dass jedenfalls Verrückungen eintreten. Bei der Erhärtung dringt die Flüssigkeit nicht gleichförmig in das Material, sondern hauptsächlich von der unteren Oberfläche ein. Es erwies sich als beschwerlich, trotz aller Vorsicht ein gutes Resultat zu erzielen. Ich liess deshalb einen Behälter aus Messing verfertigen — siehe die Fig. 1—3 — der, nachdem das Rohr für den Gummischlauch unter der Küvette abgeschraubt worden ist, auf das Beleuchtungsobjektiv geschoben, und daran befestigt werden kann. Er muss nach so genauem Mass gemacht werden, dass, wenn er auf das Beleuchtungsobjektiv angebracht worden ist, Flüssigkeit eingegossen werden kann ohne auszulaufen. Der Behälter hat die Form eines Zylinders, dessen oberer Teil abgesägt ist um die Anbringung an das Objektiv zu ermöglichen, auch nachdem das Beob-

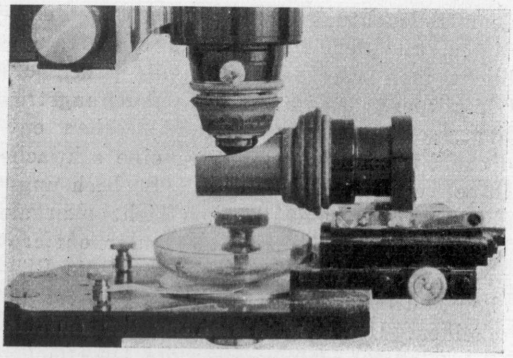


Fig. 3.

achtungsobjektiv gegen die Küvette niedergeschraubt und das Mikroskop für die Untersuchung eingestellt worden ist. Die Ränder des Behälters reichen dann so hoch, dass, wenn dieser mit Flüssigkeit gefüllt wird, die Flüssigkeitsoberfläche sich über dem in der Küvette befindlichen zu untersuchenden Material befindet. Der Behälter sollte am besten aus vergoldetem Silber, wie die Teile des Objektives, oder aus Hartgummi angefertigt werden. Ich werde in der Darstellung diesen Behälter *Erhärtungsgefäss* benennen.

Um gute Bilder zu erzeugen ist es nötig, in den Beobachtungstrog des Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskopes ein Stück Glaskörper überzuführen, das in möglichstem Masse unbeschädigt ist. Ich habe ein Stück Glaskörper mittels einer feinen, spitzen Schere und einer feinen Pinzette ausgeschnitten. Es ist hierbei von Belang eine angemessene Menge zu erhalten. Ich habe gefunden, dass das ausgeschnittene Stück etwa der Zündmasse eines Streichhölzchens und kaum der Grösse einer Erbse entsprechen soll. Bei der Anwendung grösserer Stücke, werden die Beobachtungen durch die Unruhe in dem Präparate gestört, die durch die Ausbreitung in der Küvette und den Wasserverlust erfolgt. Zu kleine Stücke verhindern infolge der Verdunstung lange andauernde Beobachtungen. Bei der Überführung in den Trog ist es notwendig nachzusehen, dass keine Luftbläschen entstehen, weder zwischen dem Glaskörperstück und dem Beleuchtungsobjektiv, noch zwischen diesem und dem Beobachtungsobjektiv. Erblickt man von der Seite das Stück des Glaskörpers, das in dem Untersuchungstrog liegt, so kann man die Luftbläschen entdecken, besonders wenn man eine schwache Lupe benutzt. Die an dem Beobachtungsobjektiv liegenden Bläschen sieht man am leichtesten, wenn man das Okular entfernt und in den Tubus hineinsieht, da die Bläschen durch das Objektiv vergrössert erscheinen. Um die Entstehung der Luftblasen zu verhindern, müssen die Oberflächen der beiden Objektive von Fett befreit sein. Bei der Reinigung muss jede Berührung mit den Fingern vermieden werden. Eine leichte Abwischung mit einem in Spiritus gefeuchteten Filtrierpapier ist gestattet, aber Abspülung mit destilliertem Wasser muss unmittelbar unternommen werden, so dass die Kittfassung der Linsen und des Glasstücks in der Küvette nicht aufweicht. Abwischen mit harten Gegenständen kann die Oberflächen der Frontlinsen beschädigen.

Um ein grösseres Gebiet untersuchen zu können, als was das Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop gestattet benutzte Baurmann (1926, p. 304 ff.) dies Instrument als Spalt-Ultra-Mikroskop aptiert von etwa 235-facher Vergrösserung. Für den Glaskörper konstruierte er eine planparallele Glasküvette von der Grösse $11 \times 7 \times 4$ mm. Diese wurde mit einem Stück Glaskörper gefüllt und durch ein Deckglas geschlossen, wonach sie auf einem in allen drei Richtungen beweglichen Kreuztisch angebracht wurde, so dass ihre Längsseite senkrecht zu der Einfallrichtung des Lichtes zu liegen kam. Durch diese Anordnung bekam er gute Übersichtsbilder. Es ergab sich indessen, dass die Struktur der verschiedenen Teile in der Küvette in der überraschendsten Weise variierte. Der Glaskörper ist von einem ungeahnten Reichtum an verschiedensten Strukturbildern gekennzeichnet (p. 306), schreibt er. In der Mitte der Küvette findet er die Fadenstruktur hauptsächlich senkrecht zu der Einfallrichtung des Lichtes geordnet, aber nach den Seiten weist sie ein wirres Gemenge von Bildern auf, von einem Durcheinander ungeordneter Fasern bis wie glänzendes, feinwelliges Haar. Die zahlreichen Bilder, die er beigefügt hat, geben eine lebhafte Vorstellung von den höchst verschiedenartigen Strukturzuständen, die diese Untersuchungsmethode aufweist.

Kurz danach veröffentlichte Heesch (1928, p. 121) eine Arbeit über den Glaskörper, worin er diese Untersuchungsmethode zur Prüfung aufnimmt. Er kommt dabei unter anderem zu der Auffassung, dass

die abwechslungsreichen Bilder, die entstehen, wenn die Küvette so geführt wird, dass das einfallende Licht nicht in ihrer Mitte liegt, ihre Erklärung in dem von den Wänden reflektierten Licht hätten. Er verfertigte deshalb ein paar grössere Küvetten, eine aus Glas und eine aus Hartgummi, und konstatierte, dass die Glaskörperstruktur in denselben eine Fadenrichtung überwiegend senkrecht zu dem einfallenden Licht aufwies, dass aber bei den Wänden in der Glasküvette eine andere Struktur angedeutet war, was in der Hartgummiküvette dagegen fehlte. Als Resultat seiner Untersuchungen betont er, dass die gewonnenen Strukturbefunde mit grösster Vorsicht beurteilt werden müssen (p. 128).

Ich habe eine Serie Untersuchungen unternommen, und dabei das Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop als Spalt-Ultra-Mikroskop benutzt. Dabei habe ich die ausserordentliche Mannigfaltigkeit der Bilder beobachten können, die zum Vorschein kommen, wenn die Küvette verschoben wird, und kann deshalb Baurmanns Beschreibungen bestätigen. Die benutzte Küvette ist von derselben Grösse wie Baurmanns. Nur in der Mitte der Küvette hatte die Struktur dasselbe regelmässige Aussehen mit feinen Fäden, die sich unter spitzem Winkel kreuzen. Wird der Lichtkegel nach den Rändern geführt, so wird ein wirres Gemenge von Bildern sichtbar. Heeschs Erklärung für diese Erscheinung scheint berechtigt zu sein.

Die Unsicherheit betreffs der Strukturbilder mit ihren unaufhörlichen Abwechslungen nebst der geringeren Vergrösserung hat mich veranlasst gegenwärtig bei der Ermittelung des Baues des Glaskörpers das Spalt-Ultra-Mikroskop nicht anzuwenden. Das Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop gibt immer dieselbe Bildart, und die Untersuchungen werden nicht von unerwarteten optischen Effekten gestört, die die Beurteilung trüben, ehe sichere Auskünfte betreffend der ultramikroskopischen Struktur des Glaskörpers gewonnen worden sind.

III. Das Untersuchungsmaterial und dessen Behandlung.

Das Material für diese Untersuchung ist meistens Glaskörper von Rindern gewesen, aber ich habe auch Glaskörper von Pferd und Schwein untersucht. Wie Baurmann und Heesch ist mir daran viel gelegen gewesen, die Augen vom Schlachtplatz so schnell wie möglich nach dem Abschlachten des Tiers zu bekommen. Um völlig sicher zu sein, möglichst frisches Material zu erhalten, bin ich selbst bei mehreren Gelegenheiten am Schlachtplatz gewesen, und habe dort die Augen des geschlachteten Tiers ausgeschnitten erhalten, sobald das Blut von dem Tiere abgeronnen war. Hierdurch ist es mir gelungen, Glaskörper zu untersuchen, etwa ½ Stunde, nachdem das Schlachten stattgefunden hatte. Wie sicher diese Methode auch ist, so ist sie doch zeitraubend, und ich wage zu behaupten, dass die Ausbeute nicht dem entspricht, was an Zeit verloren geht. Durch Verabredung mit dem Schlächter habe ich ganze Serien von Augen der geschlachteten Tiere nur etwa eine Stunde nach dem Schlachten erhalten können.

Die Augen wurden mit Augenmuskeln und Augenlidern ausgeschnitten, wodurch sie im möglichsten Masse vor Verdunsten geschützt waren, ehe der Glaskörper ausgenommen wurde. Da die Augen so früh vom Schlächter kamen, waren sie noch warm und mit fast normaler Spannung in dem Augapfel. Ich habe aber auch ältere Augen untersucht. Bisweilen haben die Umstände die unmittelbaren Untersuchungen der empfangenen Augen verhindert, und diese haben erst mehrere Stunden nachher stattgefunden. Andere Male habe ich vom Schlächter alte Augen bekommen, wobei ich auch Angabe über die Zeit erhalten habe, wann das

Schlachten vorsichgegangen war. Durch Arbeiten auf diese Weise mit Material von verschiedenem Alter habe ich gelernt auf Grund der Schrumpfung des Augapfels und anderer Eigenschaften, auf die ich später zurückkommen werde, die Zeit annähernd zu bestimmen, die nach dem Schlachten verflossen ist.

Der Glaskörper ist durch den gewöhnlichen Äquatorialschnitt aus dem Auge ausgenommen worden. Das Auge ist von der Bindehaut seines vorderen Teils freipräpariert, und die Sclerotica ist von Muskeln und Fascien befreit worden. Mit einem scharfen Messer ist ein Schnitt rings um das Auge, durch die Sclerotica, die Chorioidea und die Retina gelegt worden etwa ½ bis 1 cm von dem Limbus gehend. Der Glaskörper wird von der Glaskörperbasis bei der Ora serrata mit Gewalt losgemacht, wobei ein einige mm breiter Saum von Ciliarepithel rings um den ganzen Glaskörper mitfolgt; hierdurch ist ein guter Orientierungspunkt nach dem Herausnehmen aus dem Auge stets vorhanden. Von den übrigen Teilen der Retina löst er sich ohne die geringste Schwierigkeit nur durch eine geringe Seitwärtsdrehung des Auges ab, wobei er gewissermassen aus dem Auge ausfliesst. Wenn sich der Glaskörper bis an die Nähe der Papille gelöst hat, bemerkt man hier eine innigere Befestigung, aber dieser Widerstand wird meistens durch weitere Drehung des Augapfels überwunden. Zuweilen ist es nötig mit einer Pinzette den Pigmentsaum zu fassen, aber gewöhnlich braucht dies nicht zu geschehen.

Nach dem Ausnehmen wird der Glaskörper in eine Glasschale gebracht. Er breitet sich dabei aus, ist aber bei Palpation fest elastisch mit einer Ahnung von Knorpelkonsistenz. Der palpierende Finger oder das palpierende Instrument empfindet einen federnden Widerstand, und bei gesteigertem Druck bricht der Widerstand. Man bekommt eine Empfindung, die an sich ballenden Schnee erinnert. Im Gebiet rings um den Pigmentsaum behält er gern eine kleine Erhöhung bei. Von den Rändern fliesst Glaskörperflüssigkeit allmählich auf dem Boden des Glasgefässes aus.

Diese Methode den Glaskörper auszunehmen passt, so lange man nur eine »Normalprobe» davon nehmen will, wünscht man aber eine Probe von einem gewissen Teil zu nehmen, stellt sich die Sache anders. Eine gute Orientierung hat man in dem Pigmentsaum, aber wenn dieser zerschnitten wird, oder wenn der Glaskörper während der Probenahme einige Male gedreht wird, verliert man nach und nach die Orientierung. Ausserdem wird er durch wiederholte Gewalt beschädigt, wozu noch der Verlust der Glaskörperflüssigkeit hinzukommt.

Um Proben von einem bestimmten Teil der Peripherie des Glaskörpers erhalten zu können, und diese dabei möglichst wenig zu lädieren, müssen andere Methoden gebraucht werden. Proben von den vorderen Teilen habe ich genommen, nachdem ich zuerst die Cornea mit einem scharfen Messer und die Iris mit einer Schere weggeschnitten und die Kristallinse ausgehoben hatte. Hierdurch kann man die vordere Oberfläche des ganzen Glaskörpers erreichen, ohne dieselbe nennenswert zu beschädigen. Andere Proben von peripheren Teilen des Glaskörpers habe ich genommen, nachdem ich mit einer Schere ein drei- oder viereckiges Loch in die Sclerotica gemacht, und danach die Oberfläche blossgelegt hatte. Um zu verhindern, dass Glaskörper dabei ausgepresst wird, ist es zweckmässig, die vordere Augenkammer zu punktieren und das Kammerwasser herauszulassen. Dann kann man zwei Methoden versuchen. In dem einen Falle geht man mit einem scharfen Messer durch die Sclerotica, die Chorioidea und die Retina, und nimmt diese Schichten zusammenhängend heraus, wobei die Glaskörperfläche blossgelegt wird. In dem anderen Falle ist es angemessen mit dem Trepan zuerst Löcher in die Sclerotica zu bohren, und hiernach die Sclerotica zwischen den Löchern zu durchschneiden, so dass die gewünschte Luke erhalten wird. Die Chorioidea und die Retina werden danach mit einer Schere gleichzeitig ausge-

schnitten. Die Retina löst sich sehr leicht von dem Glaskörper, ausser vorn an der Glaskörperbasis. Durch diese Methoden hat man die Glaskörperfläche erreicht, ohne dass diese beschädigt worden ist, oder jedenfalls so, dass die etwaigen Schäden so weit vermindert sind, wie die Umstände es gestatten. Bezüglich des Gebietes entsprechend der Ora serrata kann man mittels dieser Methoden die Glaskörperfläche nicht in dem Zustande freilegen, der notwendig ist, um Proben für ultramikroskopische Untersuchung nehmen zu können. Hier bleiben Retinalpigmente an der Oberfläche sitzen, und sobald die Proben diese Beimengung haben, ist es unmöglich, oder jedenfalls höchst unwahrscheinlich im Ultramikroskope irgend eine Struktur sehen zu können, infolge der leuchtenden Sonnen, die vollständig oder fast vollständig das Gesichtsfeld ausfüllen. Die Proben von diesem Teil müssen aus dem Inneren des Glaskörpers gegen das Corpus ciliare genommen werden, und hierbei muss sorgfältig verhindert werden, dass Pigment mitfolgt.

Um Proben von der Peripherie des Glaskörpers zu nehmen hat Heesch (1926, p. 539) eine Methode angegeben. Er schneidet mit einem scharfen Messer durch die Augenhäute rings um ein kleines Gebiet und schneidet den Glaskörper mit einer scharfen Schere ab, so dass er ein Glaskörperstück im Zusammenhang mit den Häuten erhält. Hiernach fasst er das Glaskörperstück mit einer Pinzette und trennt es von der Retina, ohne dabei etwas von der Retina mitzunehmen. Auf diese Weise erhält er Proben von der Gegend des Corpus ciliare und der Ora serrata, von dem Äquator und vom hinteren Pol. Ich habe Proben nach dieser Methode genommen, bin aber zu der von mir angegebenen zurückgekehrt. Nur betreffs Proben von der Gegend der Ora serrata ist Heeschs Methode anwendbar. Hier ist nämlich der Glaskörper fest fixiert, sodass er bei dem Herausnehmen mitfolgt, aber von übrigen Teilen ist es recht mühselig und mit beträchtlicher Gewalt gegen den Glaskörper verbunden, durch den mit einem Messer in die Häute gemachten Schnitt eine Schere einzuführen und mit dieser ein Glaskörperstück loszumachen, das danach in Zusammenhang mit den Häuten ausgenommen werden soll. Auch nicht am Eintritt des Sehnerven, wo der Glaskörper ein wenig mehr befestigt ist, als in den übrigen Teilen, abgesehen von der Gegend bei der Ora serrata, hat diese Methode einen Vorzug. Wenn es sich um frisches Material handelt, bleibt die Retina bei dem Herausnehmen des Glaskörpers aus dem Auge sehr selten an der Glaskörperfläche sitzen. Wenn das Material dagegen 6–10 Stunden alt ist, geschieht es sehr oft, dass die Retina gänzlich oder teilweise dem Glaskörper mitfolgt. Wird solches Material benutzt, dürfte die Methode von Heesch versucht werden können, aber nicht wenn die Untersuchung an frischen Augen unternommen wird.

Pferdeaugen weisen einige Abweichungen auf. Die Augen, die ich untersucht habe, sind von alten Pferden gekommen. Fohlenaugen standen mir nicht zur Verfügung. Bei jenen gelingt es nicht nach der von mir angegebenen Methode, den Glaskörper von der Retina loszumachen. Er sitzt in ganzer Ausdehnung fixiert und muss mit Gewalt abgelöst werden. Der Glaskörper ist weicher als bei Rindern und verliert leicht Flüssigkeit. Proben von den verschiedenen Teilen des Glaskörpers können nicht in derselben Weise wie bei Rinderaugen genommen werden. Nur von den vorderen Teilen gelingt es, nicht aber von den hinteren. Hier ist Heeschs Methode anwendbar.

Die Untersuchung hat indessen nicht nur Glaskörper von Tieraugen umfasst, sondern ich habe auch Gelegenheit gehabt, eine grosse Anzahl Augen von Menschen und Menschenföten zu untersuchen. Eine Anzahl Augen habe ich von der hiesigen Augenabteilung erhalten, bei Enucleation infolge Glaucoms und Tumors oder bei Evisceration infolge traumatischer Schäden, wenn der Glaskörper nicht ganz durchblutet oder mit Eiter gefüllt war. Mir ist auch Gelegenheit bereitet worden, Glaskörper von unmittelbar vorher Gestorbenen zu untersuchen. Der

Glaskörper ist dabei in der Weise ausgenommen worden, wie es oben beschrieben wurde.

Fötenaugen habe ich von der hiesigen Geburtshilflich-Gynäkologischen Klinik bekommen.

Da für das Erhalten eines unverletzten Glaskörpers das Auge zerschnitten werden muss, und da Schwierigkeiten oft auftreten, das Auge ohne grosse Deformierung wieder auf seinen Platz zu bringen, ist es selbstverständlich, dass diese Vorkehrungen unter grosser Berücksichtigung der berechtigten Ansprüche der Verwandten getroffen werden müssen.

Das Material hat demnach aus Augen bestanden, die nur einige Stunden nach dem Tode untersucht worden sind. Der Glaskörper ist gewöhnlich durch den Äquatorialschnitt gewonnen worden. Wenn aber das Erhalten der Probe eines bestimmten Teils der Peripherie beabsichtigt wurde, haben besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen. Da ist nach dem Punktieren der vorderen Kammer mit einer Schere eine Luke in die Sclerotica ausgeschnitten worden, wonach die Chorioidea und die Retina abgelöst worden sind, oder auch sind alle Häute gleichzeitig entfernt worden, wodurch die gewünschte Glaskörperfläche sich der Probenahme darbietet. Die vordere Oberfläche ist nach der Entfernung der Cornea, der Iris und der Linse zugänglich gemacht worden.

IV. Allgemeines über die ultramikroskopische Struktur des Glaskörpers.

Wie aus der geschichtlichen Übersicht erhellt, bietet die Behandlung des Glaskörpers, mit anderen Geweben verglichen, für histologische Zwecke bedeutende Verschiedenheiten. Die histologische Untersuchung desselben hat bei den verschiedenen Phasen erhebliche Schwierigkeiten zu bekämpfen. Besonders hat sein geringer Gehalt an festen Bestandteilen und sein Reichtum an Flüssigkeit fast unübersteigbare Hindernisse bereitet. Das Verhältnis hat eine sehr umständliche Methodik hervorgezwungen, deren genaue und sachkundige Befolgung eine unumgängliche Bedingung für die Erhaltung guter mikroskopischer Bilder ist.

Die chemische Zusammensetzung des Glaskörpers macht diese Schwierigkeiten völlig begreiflich. Nach O. Hammarsten (1926, p. 486) ist sein Gehalt an festen Bestandteilen nur 9—11 ‰, mit einem Gehalt an Mineralstoffen, der sich auf 6—9 ‰ beläuft und an Proteinstoffen 0,7 ‰. W. S. Duke-Elder (1929, p. 46) hat die chemische Zusammensetzung untersucht und gefunden, dass 100 ccm Glaskörper 99,6813 g Wasser und nur 1,1087 g bei 100° C getrocknete feste Stoffe enthalten. Die Gesamtmenge der Proteinstoffe umfasst nur 0,0652 g. Er hat in Tabellenform die chemische Zusammensetzung des Glaskörpers und des Kammerwassers dargestellt, und er weist eine auffallende Ähnlichkeit zwischen denselben sowohl betreffs der eingehenden Stoffe wie auch betreffs ihrer Proportionen nach. Nur betreffs der Proteinstoffe liegt ein Unterschied vor. Der Glaskörper hat die Zahl 0,0652 gegen 0,0201 für das Kammerwasser.

Ungeachtet der Fortschritte der Technik und trotzdem, dass besonders gute Präparate erhalten wurden, sind Zweifel an den histologischen Bildern hervorgetreten. H. Virchow (1900, p. 750) schreibt selbst, »dass die ausserordentlich *geringe Menge* von fester Substanz, die beim *Auspressen* des Glaskörpers übrig bleibt, und die ausserordentlich *grosse Menge* von Fasern, die man auf *Schnitten* findet, in einem beunruhigenden Widerspruche stehen». Er fragt unter anderem: Soll man annehmen, — —

dass durch die fixierenden Reagentien die Fibrillen verdickt, gequollen sind? oder dass ein Teil der Flüssigkeit, die beim Auspressen abtropft, *in den Fibrillen* selbst enthalten war?» Szent-Györgyi (1917, p. 331) stellt sich auch die Frage, ob die Fibrillen ein Produkt der Koagulation sind oder ob sie schon im Leben bestehen. Unter dieser letzten Annahme muss ihre Summe dem kaum sichtbaren Rückstand entsprechen, der bei der Auspressung des Glaskörpers übrig bleibt.

Die von M. Baurmann und A. Thiessen eingeführten ultramikroskopischen Untersuchungsmethoden ermöglichten mit Übergehung der histologischen Technik den Glaskörper unmittelbar zu untersuchen, und dabei hat man das genau beschriebene Fadennetz in einem unbehandelten Glaskörper nicht wiederfinden können, der, wie es sich erwies, aus einer Gallertsubstanz bestand von einem ausserordentlich feinen Netzwerk von Fäden aufgebaut, das in zwei Dimensionen ultramikroskopische Grösse hat. Die Einteilung in Glaskörpergerüst und Glaskörperflüssigkeit hat sich als unhaltbar erwiesen, und Baurmann schreibt hierüber (1923, p. 366): »Die Glaskörperflüssigkeit gehört zur Gallerte, ähnlich wie etwa das Krystallwasser zum Krystall.»

Die Struktur, die zum Vorschein kommt, wenn das Ultramikroskop vorsichtig eingestellt wird, ist am deutlichsten in dem engsten Teil des Lichtkegels und erscheint meistens hauptsächlich auf folgende Weise. Sie besteht aus einer Menge von ausserordentlich feinen, fast asbestglänzenden Fäden, hauptsächlich senkrecht zu dem einfallenden Licht und mit einander parallel angeordnet, oder sich unter spitzem Winkel schneidend. Bisweilen findet man bei der Einstellung ein Gewirr von Fäden, die sich in so lebhafter Bewegung befinden, dass es auf Schwierigkeiten stösst, sie zu beobachten. Dabei kann man oft sehen, dass sich das Präparat verschoben hat, und auf dem abgeschliffenen Teil der Küvette gleitet, oder dass sich ein Flüssigkeitströpfchen unter dieser bildet. Das Präparat muss dann in der Küvette zurechtgelegt, oder das Tröpfchen abgewischt werden. Mit einer gewissen Beweglichkeit in dem Präparate muss man bei der Einstellung immer rechnen, wenn die schräggeschliffenen Oberflächen der beiden Objektive sich nähern, und das Glaskörperstück dadurch ausgepresst wird. Wartet man eine kurze Weile ab, hört die sichtbare Bewegung auf und die Fäden liegen ziemlich unbeweglich. Die Lichtstärke der Fäden variiert, aber diese Veränderungen sind von der Bogenlampe abhängig und machen eine genau Beobachtung der gegenseitigen Lage der Kohlenspitzen notwendig. Wird die Einstellung der Mikrometerschraube vorsichtig verändert, kann man zuweilen den Fäden folgen, und dabei beobachten, dass sie gewöhnlich länger sind, als was sich bei unveränderter Einstellung ergibt. Die Fäden bilden ein mehr oder minder dichtes Netzwerk. Die Maschenräume zwischen den Fäden sind dunkler und in denselben treten einige kleine bewegliche leuchtende Punkte auf. Die Anzahl und Grösse derselben sind von dem Zustand des Glaskörpers abhängig. Die Dichte des Fadensystems variiert, und ich werde später auf diese Fragen eingehen.

Die ultramikroskopischen Bilder variieren bezüglich der Länge und der gegenseitigen Dichte der Fäden, sowie bezüglich der Form der Maschenräume, bald längliche Räume mit fast parallelen Seiten bietend, bald an die Maschenräume eines gestreckten Fischnetzes erinnernd. Diese Verschiedenheiten sind indessen mit der Mannigfalt der Strukturtypen gar nicht zu vergleichen, die im Spaltultramikroskope auftreten, wie schon erwähnt wurde (p. 18).

Die Intensität des von den Fäden abgebeugten Lichtes ist so gut wie immer dieselbe. Zuweilen kann man etwas breitere Streifen bemerken, die bei Veränderung der Einstellung als zwei oder mehrere Fäden von der gewöhnlichen Form erscheinen, die aber eine solche gegenseitige Lage haben, dass das Licht von denselben zu einem breiteren Lichtstreifen zusammenschmilzt. Ir-

gendwelche Verschiedenheit der Lichtstärke der Fäden im Präparate habe ich nicht beobachten können.

Bei den zahlreichen Untersuchungen, die an Augen von Rind und Schwein unternommen worden sind, ist immer die nun beschriebene ultramikroskopische Struktur beobachtet worden, und kein Unterschied zwischen denselben ist nachgewiesen worden. Die Variationen von einem Präparat zu einem anderen sind ebenfalls dieselben. Die oben gelieferte Darstellung ist auf Untersuchungen dieser leicht zugänglichen Augen gegründet.

Die untersuchten Pferdeaugen haben dagegen gewisse Verschiedenheiten gewährt. Diese Augen habe ich immer von Pferden bekommen, die alt waren. Der Glaskörper ist weicher als bei den Augen des Rindes. Im Ultramikroskope findet man wie gewöhnlich das Fadennetz wieder, dies ist aber lichter, und die Fäden sind kürzer. Hier und da im Gesichtsfelde treten stilliegende, leuchtende Teilchen auf, die bisweilen eine solche Lichtstärke besitzen, dass sie die Fadenstruktur verhüllen. Gewöhnlicherweise sind sie von geringerer Lichtstärke, und man sieht sie dann in dem Fadennetz liegen, häufig an die Fäden angeschlossen oder im unmittelbaren Zusammenhang damit, aber zuweilen auch scheinbar ganz ohne Berührung mit denselben. Inwieweit sie in diesem Falle zu Fäden einer anderen Richtung gehören, die folglich im Ultramikroskope nicht sichtbar sind, dürfte nicht entschieden werden können. Das Bild ist indessen sehr typisch und kommt regelmässig wieder. Es erinnert an das Verhältnis bei Glaucomaugen von Menschen, zu dem ich später zurückkommen werde.

Baurmann (1923, p. 362) hat hervorgehoben, dass er nicht in frischem Glaskörper »weitere Strukturelemente, wie etwa Zellen oder gröbere etwa mikroskopische Fäden« hat beobachten können. Mit Rücksicht auf das, was schon in Kap. II angeführt wurde, ist nichts anderes zu erwarten. Alle gröberen Teilchen geben im Ultramikroskope ein so starkes Licht, dass ein Studium derselben im Einzelnen nicht möglich ist. Sie erschweren oder machen Strukturuntersuchungen unmöglich und werden als Verunreinigungen betrachtet. Auch die geringste Beimengung von Pigmentepithel verhindert die Beobachtungen, und bei Anwesenheit von solchem, muss ein neues Stück Glaskörper in die Küvette gelegt werden, damit die Untersuchung erfolgreich sei.

Schon in dem ersten Bericht 1922 (Baurmann u. Thiessen, p. 126) wurde ein Mass für die Dichte der im Gesichtsfeld liegenden Fäden angegeben. Das Zählen der Fäden in einem Raum von bekannter Grösse hatte ergeben, dass im Mittel ein Faden durch einen Kubus von 9,8 μ^3 ging. Im Jahre 1923 kommt Baurmann (p. 362) auf dieselbe Frage zurück, und hält an derselben Angabe fest. Der mittlere Abstand zwischen den Fäden ist etwa 2,1 μ, den er auf dieselbe Weise durch Zählen der Anzahl der Fäden erhält, die durch einen Raum von bekanntem Volumen gehen. Heesch (1926, p. 536), der auch diese Bestimmungsmethode gutzuheissen scheint, nimmt diesen Wert für die Struktur im Zentrum des Glaskörpers an. Als er 1929 (p. 693 u. 702) auf diese Frage zurückkommt, schreibt er: »Im Mittel sind zwei Fäden 9,8 μ von einander entfernt», was doch als ein Versehen angesehen werden dürfte, weil er die Befunde von Baurmann und Thiessen bestätigt. Indessen übersieht er dieses und betont, dass, da die Höhe des beleuchteten Gebiets 2,83 μ ist (dürfte 2,85 μ sein, vgl. Winkel-Zeiss Druckschrift Nr 235, p. 10), nur ein Faden in einer Schicht von dieser Höhe liegen kann. Der angegebene Wert bezieht sich begreiflicherweise nur auf die im Gesichtsfeld liegenden Fäden, folglich nur auf diejenigen deren Richtung senkrecht zu dem einfallenden Licht ist. Fäden, die in einer anderen Ebene liegen, sind nicht in Betracht gezogen, weshalb selbstverständlich eine noch grössere Anzahl vorhanden ist.

Um mir eine Auffassung von der Dichte des Fadennetzes zu bilden, habe ich wie

Baurmann und Heesch es versucht, durch Zählen der Fäden ihren gegenseitigen Abstand zu bestimmen. Dabei musste ich jedoch von der Methode abgehen, die von ihnen angegeben wurde, nämlich durch Zählen der Fäden in einem bekannten Volumen, auch wenn dies ein Würfel ist, was von Baurmann und Thiessen (p. 126) hervorgehoben wurde, was aber aus der Darstellung von Heesch (1926, p. 536) nicht hervorgeht. Da es in diesem Falle gilt, Fäden zu zählen, um dadurch einen Ausdruck der gegenseitigen Dichte zu bekommen, kann das Volumen, das bei punktförmigen Teilchen die richtige Methode ist, nicht benutzt werden, sondern die Fäden müssen per Flächeneinheit senkrecht zu der Längsrichtung gezählt werden.

Ich habe das Zählokular U6 (Winkel-Zeiss, Druckschrift 235) benutzt. Das Zählnetz besteht aus 9 Quadraten, von denen nur das mittelste zum Zählen angewandt wird. Um das übrige Licht abzublenden ist das Okular mit einer Blende versehen, die bei maximaler Abblendung nur die Möglichkeit gibt, durch das mittelste Quadrat nebst kleineren Segmenten von den angrenzenden zu sehen. Bei dem Zählen muss der Tubusauszug auf 185 mm eingestellt und das Zählnetz scharf eingestellt sein, was durch Verschiebung der Augenlinse des Okulars bewirkt wird. Das Zählnetz muss in dem dünnsten Teil des Lichtkegels liegen, so dass die eine Quadratseite mit der Verbindungslinie zwischen den Spitzen der dunklen Kegel parallel ist, die andere Seite demnach mit der Richtung des Lichtes zusammenfallend. Die Seite des Quadrats beträgt 10,4 μ und die Höhe des beleuchteten Gebiets 2,85 μ, bei einer Spalt von 70 μ (Druckschrift 235, p. 10). Das Rechteck, durch welches die zu zählenden Fäden durchgehen, hat demnach eine Oberfläche von 29,64 μ^2. Beim Zählen muss das Mikroskop auf die obere Fläche des beleuchteten Gebiets scharf eingestellt sein.

Beim Zählen der Fäden, die hierbei von der einen Seite des Quadrats darein einzutreten scheinen, findet man beträchtliche Variationen. Im allgemeinen erhält man 5 bis 7 Fäden, häufig 4 bis 5. Bei dichterer Struktur wird eine grössere Anzahl, 8 bis 12, erhalten und zuweilen treten bei der Bestimmung der Anzahl Schwierigkeiten auf, wenn eine noch grössere Anzahl vorkommt. Auf Grund dieser Zahl würde also bei einer Struktur von mittlerer Dichte ein Faden auf eine Fläche von 7,4 bis 5,9 μ^2 kommen und bei dichterer Struktur ein Faden auf 3,8 bis 2,5 μ^2 und noch geringere Flächen.

Ein unmittelbarer Vergleich mit den Ergebnissen der früher gemachten Zählungen kann nicht angestellt werden, da diese durch eine Methode gewonnen worden sind, die von der von mir benutzten verschieden war. Zu grosse Bedeutung dürfte ausserdem diesen Ziffern nicht beigemessen werden können, weil nur die Fäden im Präparate, die, wie schon früher beschrieben worden ist, eine bestimmte Lage im Verhältnis zu dem einfallenden Licht haben, Gegenstand des Zählens werden. Gleichfalls ist es unsicher, ob alle Fäden, die diese Lage einnehmen, gezählt werden können. Zwei Fäden können sehr wohl so liegen, dass sie sich nicht trennen lassen, besonders wenn man, wie in diesem Fall, das Mikroskop auf die obere Fläche des Lichtkegels scharf einstellen muss. Wird das Mikroskop gesenkt, so wird die Höhe des Lichtkegels bis auf einen beliebigen Wert vermindert, was das Zählen ganz unsicher macht. Ein dünnerer Querschnitt kann durch Verminderung der Spalt von dem angegebenen Wert 70 μ erhalten werden, aber die Lichtstärke nimmt dabei sehr rasch ab, so dass es bei einer Spaltbreite von ein wenig unterhalb 40 μ unmöglich ist, etwas von der Struktur des Glaskörpers zu unterscheiden.

Die Länge der Fäden ist Gegenstand der Beurteilung seitens der erwähnten Forscher gewesen. Baurmann und Thiessen (1922, p. 126) haben im frischen Glaskörper eine Fadenlänge von 30 μ beobachtet, geben aber an, dass diese Zahl nur einen annähernden Wert bezeichnet, vielleicht nur die untere Grenze. Der Verlauf der Fäden kann ver-

schieden sein und in verschiedenen Niveaus des beleuchteten Raumes liegen, oder auch einen Winkel mit dem einfallenden Licht bilden, so dass sie nicht weiter verfolgt werden können. Sie rechnen auch mit der Möglichkeit, dass die Struktur, während des Ausschneidens des Glaskörperstücks beschädigt wird. 1923 hält Baurmann ungefähr an derselben Angabe fest und weist darauf hin (p. 362), dass bei angemessenen Verhältnissen die Länge auf wenigstens 30 μ bestimmt werden kann. Heesch (1926, p. 535 ff.) gibt an, dass die Fäden mikroskopische Masse haben, und spricht von einem lockeren langfaserigen Filz, ist aber der Ansicht, dass die Fäden der verschiedenen Teile des Glaskörpers ungleiche Länge haben (p. 541).

Betreffs dieser muss Baurmanns und Thiessens (1922, p. 126) Angabe, dass die Fäden in verschiedenen Ebenen des beleuchteten Gebiets liegen können, und dass der Winkel gegen das einfallende Licht ihre Beobachtung unmöglich machen kann, im Gedächtnis behalten werden. Ein Netz von anscheinend kurzen Fäden kann oft, wenn man durch geänderte Einstellung des Mikroskopes den einzelnen Fäden zu folgen versucht, aus Fäden zu bestehen scheinen, die quer über das Gesichtsfeld gehen, und wenn dies nicht der Fall wäre, gibt es nichts, was hindert, dass die Fäden von der Richtung des Lichtes abbeugen mit dem Ergebnis, dass sie nicht mehr sichtbar werden. Deshalb ist es sehr schwierig, über kurze Fäden mit Bestimmtheit Aussprüche zu machen. Besser ist es dann, mit der Benennung kurze Fäden solche Fäden zu bezeichnen, die im Ultramikroskope kurz scheinen, ohne sich dabei hinsichtlich ihrer tatsächlichen Länge zu binden.

Gewisse Masse der Länge der Fäden kann man im Ultramikroskope direkt aufmessen, ohne sie damit in Übereinstimmung mit dem, was schon gesagt wurde, als Maximalgrenzen zu betrachten. In dem im Okular U6 eingelegten Zählnetz hat jedes Quadrat eine Breite von 10,4 μ. Drei solche Quadrate liegen neben einander mit einer Gesamtbreite von 31,2 μ, wozu die Breite der vier, die Quadrate begrenzenden Linien kommt, von denen jede auf 0,5 μ geschätzt werden kann. Die ganze Breite beträgt demnach 33,2 μ. Wenn das senkrecht liegende Spaltbackenpaar zusammengeführt wird, so dass die Breite des Lichtkegels der Breite des Zählnetzes entspricht, wird ein bestimmtes Mass, entsprechend dem oben angegebenen Wert, erhalten. Wird die Breite des Lichtkegels durch Verschiebung des Spaltbackenpaars, vergrössert, kann die Breite desselben im Verhältnis zu der des Zählnetzes geschätzt werden. Unter gewissen Umständen sieht man bei der Untersuchung des Glaskörpers Fäden, die von einem Rand des Lichtkegels zu dem andern verfolgt werden können. Durch gleichzeitige Vergrösserung des Lichtkegels kann man Fäden beobachten, deren Länge auf etwa 50 μ geschätzt werden kann. Fäden von 30 μ Länge kann man sehr oft verfolgen, auch wenn sie ein Netz bilden.

Aus diesen Beobachtungen Schlussfolgerungen über die tatsächliche Länge der Fäden zu ziehen, dürfte nicht tunlich sein. Vielleicht haben die Fäden im Glaskörper eine bedeutende Länge.

In diesem Zusammenhang dürfte Anlass vorhanden sein, eine Arbeit zu erwähnen, die dem ultramikroskopischen Befund eine ganz abweichende Erklärung gibt. In seiner Arbeit über den Glaskörper hat Jokl (1927, p. 213) auch die ultramikroskopischen Befunde berührt, und hat selbst einige Untersuchungen ausgeführt. Er findet, »dass der Glaskörper der untersuchten Rindsembryonen eine deutliche Gel-Struktur zeigte. Innerhalb dieser im allgemeinen gleichförmigen Struktur traten jedoch dunkle Züge hervor, die einen welligen Verlauf und eine Anordnung zeigten, welche recht gut mit der der Glaskörperfasern in den betreffenden Stadien übereinstimmte. Ihre Dicke war möglicherweise etwas grösser. Diese Züge liessen eine deutliche ultramikroskopische Struktur vermissen. Man hätte sie als von Flüssigkeit gefüllte Kanäle auffas-

sen können, doch zeigten sie keine Körnchen mit Brownscher Molekularbewegung. Unter den gegebenen Umständen sind sie wohl mit grösster Wahrscheinlichkeit als Bildungen zu betrachten, welche den im mikroskopischen Präparate hervortretenden Fasern entsprechen. Der Mangel einer deutlich sichtbaren ultramikroskopischen Struktur innerhalb dieser Partien braucht einer solchen Auffassung nicht zu widersprechen, da die Sichtbarkeit einer solchen ja durch die Kontrastwirkung der Umgebung ausgelöscht sein kann. Nach diesen meinen Untersuchungen treten also die Glaskörperfasern auch im Ultramikroskop hervor, u. zw. als eine Art Negativ, eingebettet in eine Grundsubstanz von deutlicher Gel-Struktur.»

Diese Erklärung Jokls des im Ultramikroskope auftretenden Strukturnetzes ist gänzlich irreführend. Er beobachtet die ultramikroskopischen Fäden, macht aber geltend, dass der Zwischenraum zwischen diesen die mikroskopischen Fäden repräsentiere. In diesen Zwischenräumen hat er keine Brownsche Molekularbewegung sehen können, und das ist ja denkbar, wenn er einen nur etwa eine Stunde alten Glaskörper benutzt hat, und wenn die Untersuchung bei Zimmertemperatur nicht mehr als eine kürzere Zeit in Anspruch genommen hat. Andernfalls muss er diese Bewegung beobachtet haben. Die Alterungsvorgänge, auf die ich in einem anderen Zusammenhang zurückkomme (p. 38), werden unter anderem durch das Auftreten der Brownschen Molekularbewegung gekennzeichnet, und diese wird immer lebhafter. In den Räumen zwischen den ultramikroskopischen Fäden findet diese Bewegung statt, also gerade in den von Jokl angenommenen mikroskopischen Fäden. Man dürfte wohl auch befugt sein anzunehmen, dass die mikroskopischen Fäden in dem Glaskörper von dichterer Beschaffenheit als die Gel-Struktur sind, die sie nach Jokl umgiebt. In solchem Fall müsste ja das von diesen mikroskopischen Fäden abgebeugte Licht stärker als das von der umgebenden Gel-Struktur abgebeugte sein. Statt dessen sind die Zwischenräume dunkel, und nur die ultramikroskopischen Fäden beugen das Licht ab. Wird ein Glaskörperstück in 4 %-iger Formaldehydlösung untersucht, sieht man in dem Ultramikroskop ungefähr dasselbe Bild wie im frischen Glaskörper, nur mit noch stärker lichtabbeugenden ultramikroskopischen Fäden, während die Zwischenräume dunkel sind. Wären mikroskopische Fäden vorhanden, so würden diese durch Erhärtung bei Untersuchung im Ultramikroskope deutlicher hervortreten.

Die Ansicht Jokls betreffs der Beurteilung des ultramikroskopischen Befunds muss somit auf direkter Missdeutung beruhen.

Eine eigenartige Darstellung von dem Entstehen des ultramikroskopischen Fadennetzes liefert E. Redslob (1927, p. 121 ff.). Er meint gezeigt zu haben, dass die ultramikroskopische Fadenstruktur in einem frischen Glaskörper nicht vorhanden ist, sondern sich im Laufe der Untersuchung bildet als eine durch die Wärme verursachte Koagulierung des Albumins des Glaskörpers, oder als ein Effekt der Bestrahlung. Im gewöhnlichen Mikroskope gelang es ihm nicht, bei der Untersuchung eines frischen Glaskörpers Fäden zu finden, aber wohl nach Erhärtung in Zenkers Flüssigkeit, wobei er ein stattliches Netzwerk glänzender Fäden beobachten konnte (p. 119). Er untersuchte dann im Ultramikroskop mit 100-facher Vergrösserung. Dabei bemerkte er, dass das Fadennetz anfangs nur ganz schwach zum Vorschein kam, dass es aber allmählich distinkter und dichter wurde. Das untersuchte Präparat liess er während 24 Stunden mit erloschener Lampe unverändert liegen, wonach er es abermals untersuchte und konstatierte, dass die Struktur reiner und deutlicher war. Er glaubt aus diesen Untersuchungen herauslesen zu können, dass die sichtbare Struktur durch einen Koagulierungsvorgang entstanden ist, der von der Einwirkung der Lichtstrahlen abhängig ist, also ein Artefakt.

Die angeführte Ansicht steht in Gegensatz zu der Baurmannschen Auffassung, weshalb ich es für zweckmässig gehalten habe, die Verhältnisse im Immersions-Spalt-Ultramikroskope näher zu untersuchen. Redslob benutzte 100-fache Vergrösserung bei seiner Untersuchung. Wie früher hervorgehoben worden ist, hat Heesch nachgewiesen, dass Baurmanns Untersuchungen mit einem Spalt-Ultramikroskop bei 235-facher Vergrösserung zu einem überraschenden Reichtum an verschiedenartigen Strukturtypen führen, die teilweise durch optische Effekte von den Wänden des Untersuchungsgefässes erklärt werden können, die aber zum Teil in Zusammenhang mit der geringeren Vergrösserung gebracht werden können. Redslobs Benutzung noch geringerer Vergrösserung erschwert das Studium der Einzelheiten des Fadennetzes.

Bei meinen Kontrolluntersuchungen habe ich, wie früher erwähnt wurde, das Immersions-Spalt-Ultramikroskop mit seiner 550-fachen Vergrösserung gebraucht. Dabei ist immer die beschriebene Fadenstruktur beobachtet worden. Wie Redslob beobachtet und beschrieben hat, wird sie nach und nach deutlicher. Um festzustellen in welchem Masse das Licht an der gesteigerten Deutlichkeit des Fadennetzes beteiligt ist, habe ich wit einer Schere ein Glaskörperstück ausgeschnitten und in die Küvette gelegt, und ohne den Beleuchtungsstrom zu schliessen, das Mikroskop grob eingestellt. Nach einer halben bis ganzen Stunde habe ich die Bogenlampe angezündet, habe sie aber abgeschirmt, bis das Licht konstant geworden war. Erst dann habe ich das Lichtbündel an das Beleuchtungsobjektiv kommen lassen und die Feineinstellung des Mikroskopes eiligst gemacht. Die dabei hervortretende Struktur ist deutlich lichtstärker, als wenn die Beobachtung unmittelbar nach dem Einlegen des Glaskörperstücks in die Küvette gemacht worden war. Je längere Zeit das Material in der Küvette liegen bleibt, um so deutlicher wird das Fadennetz. Wiederholte Versuche geben dasselbe Resultat. Die Zeit kann indessen nicht willkürlich lange ausgedehnt werden, weil das Präparat trocknet. Wird dem Licht die ganze Zeit Zutritt zu dem Beleuchtungsobjektiv gewährt, sieht man, dass die Fadenstruktur anfänglich lichtschwächer ist und eine unregelmässige Anordnung hat, die nach und nach regelmässiger wird. Die Lichtstärke nimmt allmählich zu, und wird der Versuch genügend lange ausgedehnt, bemerkt man, wie eine Lichtzone von der Seite sich dem engsten Teil des Lichtkegels nähert und das Sehen verhindert. Dann ist das Präparat getrocknet und Luft an die Objektivlinse gekommen.

Stellt man die gemachten Beobachtungen zusammen, findet man, dass die Fäden lichtabbeugender werden, je längere Zeit das Präparat in der Küvette gelegen hat, ob es beleuchtet worden ist oder nicht. Es dürfte sehr unwahrscheinlich sein, dass der Koagulierungsprozess in den wenigen Augenblicken einträte, die für die Einstellung erforderlich sind, besonders da der Effekt verschieden wäre, wenn die Untersuchung sofort gemacht wird, oder wenn das Präparat einige Zeit in der Küvette liegen bleibt. Eine andere Ursache muss diesem Verhältnis zu Grunde liegen.

Die tatsächliche Erklärung ist, dass der Glaskörper die ganze Zeit Flüssigkeit verliert, wodurch die Fäden dichter zu liegen kommen und das Licht mehr abbeugen. Wird ein Glaskörperstück ausgeschnitten und auf eine Glasplatte gelegt, sieht man bald, dass die Flüssigkeit über die Platte rings um das Glaskörperstück ausgeflossen ist. Dasselbe geschieht begreiflicherweise, wenn ein solches Stück in die Küvette gelegt wird. Auch die mechanische Gewalt, die vorhanden ist, wenn die beiden Objektive gegen einander geführt werden, veranlasst, dass die Flüssigkeit ausgepresst wird. Hierzu kommt der Flüssigkeitsverlust durch Verdunstung. Die Beobachtung, dass die Fadenstruktur um so deutlicher wird, je länger das Glaskörperstück in der Küvette liegen bleibt, ob das Licht Zutritt gehabt oder nicht, steht in gutem Einklang mit dem Flüssigkeitsverlust während dieser Zeit.

Dass der Flüssigkeitsverlust hierbei von entscheidender Bedeutung ist, und nicht die Einwirkung des Lichtes auf das Glaskörpereiweiss, lässt sich durch einen einfachen Versuch beweisen. Wird nämlich das Erhärtungsgefäss auf das Beleuchtungsobjektiv befestigt, nachdem das Glaskörperstück in die Küvette gebracht worden ist, und das Erhärtungsgefäss mit Glaskörperflüssigkeit oder physiologischer Kochsalzlösung gefüllt wurde, so ist der Flüssigkeitsverlust bis auf die Menge vermindert, die verloren geht, wenn die Objektive bei der Einstellung gegen einander geführt werden. Bei diesen Untersuchungen findet man, dass keine Veränderung der Lichtstärke der Fäden eintritt, ob die Bogenlampe während der Versuchszeit brennt oder nicht.

Aus Redslobs Darstellung erhellt nicht ganz deutlich, wie er seine Untersuchung angeordnet hatte. Er scheint Dunkelfeld und Glaskammer zu diesem Zwecke benutzt zu haben. Diese Verfahrungsweise mit dem zu untersuchenden Glaskörperstück gibt auch hier Anlass zu Flüssigkeitsverlust aus denselben Ursachen, die oben angegeben wurden, weshalb das von ihm beschriebene Verhältnis seine Erklärung in Übereinstimmung mit dem oben Gesagten erhält.

Redslob hat auch angegeben, dass er das Präparat bis auf den folgenden Tag stehen liess, und erst dann erneute Untersuchung machte, wobei er noch eine kräftige Zunahme der Deutlichkeit der Struktur fand. Hier ist zu bemerken, dass das Präparat Veränderungen erleidet, wenn es bei Zimmertemperatur so lange Zeit aufbewahrt wird, auf welche Frage ich später zurückkomme (p. 38).

Bei seinen chemischen Untersuchungen über den Glaskörper ist C. Th. Mörner (1894, p. 244 ff.) von der damaligen histologischen Auffassung über die Glaskörperstruktur ausgegangen, und untersucht die Glaskörperflüssigkeit und die Häute des Glaskörpers. Er legt einen Glaskörper auf ein Filtrierpapier und lässt die Glaskörperflüssigkeit ablaufen, wonach ein kaum sichtbarer Anflug auf dem Papier zurückbleibt. Seit Zinns Zeit (Virchow, 1900, p. 751) war das Verhältnis bekannt, dass wenn ein so behandelter Glaskörper in die abgelaufene Glaskörperflüssigkeit zurückgelegt wurde, er Flüssigkeit aufnahm, und fast seinen anfänglichen Rauminhalt wiedergewann. Es ist mir von Interesse erschienen, im Ultramikroskope die dabei eintretenden Veränderungen zu verfolgen, und ich habe deshalb eine Serie Untersuchungen gemacht.

Ein von Pigment sorgfältig befreiter Glaskörper ist auf ein Filtrierpapier gelegt worden, das in einem Glastrichter niedergefaltet wurde. Dieser ist in einen Glasbecher zum Ansammeln der ablaufenden Glaskörperflüssigkeit gestellt. Nachdem ein Teil der Flüssigkeit abgelaufen ist, habe ich Proben von den verschiedenen Teilen des so behandelten Glaskörpers genommen. Diese zeigen, dass hauptsächlich die Teile, die im Zentrum in der Nähe der Oberfläche liegen, ihre anfängliche Struktur betreffend der Dichte und Lichtstärke beibehalten, wenn die Proben aber von Gebieten, die dem Filtrierpapier näher liegen, genommen werden, können deutliche Veränderungen beobachtet werden, indem das Fadennetz lichtstärker und dichter geworden. Proben von den Teilen des Glaskörpers, die unmittelbar an dem Filtrierpapier gelegen waren, zeigen im Ultramikroskope nur leuchtende Körner oder einen Lichtschleier, und keine Andeutung einer Struktur kann hier beobachtet werden. Wiederholte Versuche haben gleiche Resultate ergeben. Es scheint demnach, als ob der Glaskörper bei diesen Versuchen seinen Flüssigkeitsgehalt am meisten in den an dem Filtrierpapier liegenden Teilen verlöre, und um so weniger je mehr man sich dem Mittelpunkt nähert.

Wird ein auf diese Weise behandelter Glaskörper in Glaskörperflüssigkeit niedergelegt, schwillt er an, und im Ultramikroskope zeigt es sich, dass er seine anfängliche Struktur mit dem gewöhnlichen Fadennetz ohne gesteigerte Lichtstärke der Fäden wiedergewonnen hat. Vielleicht tritt eine Zu-

nahme der Brownschen Molekularbewegung hinzu.

Um diese Zurückbildung verfolgen zu können, habe ich mit einer Schere ein Stück von einem in obenerwähnter Weise unter Filtrierung stehenden Glaskörper in der Nähe des Filtrierpapiers abgeschnitten und in das Ultramikroskop gelegt. Danach ist das Erhärtungsgefäss angebracht und mit neufiltrierter Glaskörperflüssigkeit gefüllt worden. Es erweist sich dann, dass die Lichtstärke des Präparats abzunehmen anfängt. Die Fäden werden blässer und man meint eine Zunahme ihres gegenseitigen Abstandes zu bemerken. Eine mässige Zunahme der leuchtenden beweglichen Körner kommt hinzu, sonst ist die anfängliche Struktur im Laufe von anderthalb Stunden wieder da.

Lässt man das Präparat weiter stehen, und die Glaskörperflüssigkeit die ganze Zeit hindurch dasselbe bedecken, treten keine anderen Veränderungen ein, als die, welche in Zusammenhang mit den Alterungsvorgängen gebracht werden können, worauf ich später zurückkomme. Irgend welche Einwirkung auf die Fadenstruktur, ob die Bogenlampe leuchtet oder nicht, habe ich bei diesen Untersuchungen nicht bemerken können.

Die geschilderte Veränderung der Struktur, die durch den Flüssigkeitsverlust während der Erhärtung auftritt, ist ihrer Natur nach derjenigen gleich, die zu beobachten ist, wenn sich die Untersuchung im Ultramikroskope in die Länge zieht, so dass Flüssigkeit abläuft und verdunstet. Das ist ein weiterer Beleg dafür, dass Redslobs Annahme, die Zunahme der Deutlichkeit und Lichtstärke sei eine Folge der Einwirkung des Lichtes auf das Glaskörpereiweiss, wodurch ein Koagulierungsprozess eintrete, irrtümlich ist. Vielmehr ist die erwähnte Erscheinung mit dem Flüssigkeitsverlust in Zusammenhang zu bringen.

Durch H. Virchows Zusammenpressungsversuche und Mörners Filtrierungsversuche hat man sich bemüht, das angenommene mikroskopische Fadengerüst von der Glaskörperflüssigkeit zu trennen. Man könnte sich auch denken, durch Zentrifugierung das mikroskopische Fadensystem von der Flüssigkeit trennen zu können, was Redslob (1927, p. 123) versucht hat. Nach dem Zerschneiden eines Glaskörpers in Stücke hat er mehrere Stunden hindurch zentrifugiert, ohne dass eine Veränderung stattgefunden hat. Die Zentrifugenrohre enthielten eine gleich durchsichtige und homogene Masse nach der Zentrifugierung wie vorher, und die Konsistenz war die ganze Zeit dieselbe. Denselben Versuch habe ich einige Male wiederholt. Ich habe einen von Ciliarpigment wohl befreiten frischen Glaskörper genommen, und ihn mit einer Schere in kleinere Stücke geschnitten, so dass diese ohne Gewalt in das Zentrifugenrohr gesteckt werden konnten. Es ist notwendig die Manipulationen mit dem Glaskörper hierbei sehr vorsichtig auszuführen, um im möglichsten Masse Flüssigkeitsverlust zu vermeiden. Das Rohr wird danach in eine elektrische Zentrifuge mit einer Geschwindigkeit von 2 500 Umläufen per Minute gebracht. Wenn möglich soll Temperaturerhöhung während der Zentrifugierung vermieden werden. Wird die Zentrifugierung z. B. nach ein paar Stunden unterbrochen, findet man, dass gar keine makroskopischen Veränderungen des Glaskörpers eingetreten sind. Er ist klar und durchsichtig und von derselben Konsistenz wie gewöhnlich. Proben von verschiedenen Teilen des Glaskörpers werden im Ultramikroskope untersucht. Abgesehen von einer gewissen Zunahme der Brownschen Molekularbewegung ist keine Änderung der ultramikroskopischen Struktur eingetroffen. Die Dichte der Fäden ist normal und ebenso die Lichtstärke. Gesteigerte Dichte des in der Spitze des Zentrifugenrohres liegenden Glaskörperstückes kann nicht wahrgenommen werden.

Bei der gewöhnlichen Zentrifugierung des Glaskörpers entstehen keine Veränderungen in seinem makroskopischen Aussehen, und auch nicht in seiner ultramikroskopischen

Struktur. Die Zunahme der Brownschen Molekularbewegung dürfte in Zusammenhang mit eintretenden Alterungsvorgängen gebracht werden.

Um zu erforschen, in welchem Masse eine Gewalt die ultramikroskopische Struktur beeinflussen kann, habe ich einen von Pigment gut befreiten Glaskörper oder ein mit einer Schere ausgeschnittenes Glaskörperstück in einen Glaskolben gelegt und diesen 10 bis 15 Minuten kräftig geschüttelt. Dabei erleidet der Glaskörper makroskopisch wahrnehmbare Veränderungen. Er geht in eine mehr oder weniger zusammenhängende, schleimige, flockige, zähe, etwas grauliche Substanz über, die eine Menge von grösseren oder kleineren in einer luftschäumenden, dünnflüssigen Flüssigkeit schwimmenden Luftbläschen enthält. Werden Proben für ultramikroskopische Untersuchung genommen, kann man bisweilen nichts anderes als eine grosse Menge von grösseren und kleineren leuchtenden Körnchen sehen, die verschiedene Beweglichkeit zeigen, und die eine möglicherweise befindliche Struktur gänzlich verhüllen. Bisweilen kann man Gebiete antreffen, wo die Fadenstruktur lichtstärker als normal zum Vorschein kommt, während an anderen Stellen so gut wie ganz normale Struktur sichtbar wird.

Lässt man den in dieser Weise behandelten Glaskörper in der Flüssigkeit liegen, oder wird die fadenziehende Schleimflocke in abfiltrierte Glaskörperflüssigkeit übergeführt, werden die Luftbläschen kleiner und er schwillt auf. Dabei wird nicht die ganze infolge des Schüttelns hervorgekommene Flüssigkeitsmenge gebunden. Im Ultramikroskope tritt die anfängliche Struktur immer mehr hervor, aber die Zunahme der leuchtenden, die Brownsche Molekularbewegung zeigenden Körner ist auffallend. Vielleicht dürfte dies nur zu geringem Teil zu den Alterungsvorgängen gerechnet werden.

Die alten Anatomen benutzten die Gefriermethode bei den Untersuchungen des Glaskörpers, beobachteten die Erscheinungen bei seinem Auftauen, und zogen daraus Schlussfolgerungen auf seinen Bau. Diese Untersuchungsmethode wurde schon frühzeitig ausrangiert, und Bowman (1849, p. 105) schreibt darüber: »The ice appears to shoot in the substance of the vitreous in a crystalline form, quite irrespective of any structure existing there, and as it melts, layers and angular fragments may be got off it in a variety of directions.» Bowmans Beobachtungen stimmen mit denen ganz überein, die ich bei den ultramikroskopischen Untersuchungen an aufgetautem Glaskörper gemacht habe.

Wenn ein gefrorener Glaskörper auftaut, scheidet sich zuerst Flüssigkeit ab, die im Ultramikroskope in Übereinstimmung mit dem Verhältnisse bei Gelatine und Agar-Agar (Zsigmondy, 1912, p. 66) keine festen Bestandteile oder nur Spuren davon zu enthalten scheint. Lässt man den ganzen Glaskörper auftauen, zeigt es sich, dass er durch das Gefrieren makroskopische Veränderungen erlitten hat. Die knorpelartige Konsistenz ist fast ganz verschwunden, und der Glaskörper ist schleimiger geworden. Wird er mit einer Pinzette gefasst, kann er von der Unterlage gehoben werden, wobei er Flüssigkeit reichlicher abgibt, als was beim Heben eines frischen Glaskörpers der Fall ist.

Diesen Veränderungen des Glaskörpers entsprechen Änderungen in der ultramikroskopischen Struktur. Hier ist es schwierig irgend eine Andeutung einer Struktur zu entdecken. Das ganze Gesichtsfeld ist durch ein Gewimmel von grossen Haufen leuchtender Körner erhellt, die das Sehen der ursprünglichen Struktur unmöglich machen.

Die am Glaskörper im Ultramikroskope ausgeführten Untersuchungen haben demnach das Vorkommen der von Baurmann u. a. beschriebenen Gallertenstruktur bestätigt.

Die Dichte des bei vorliegendem Azimutwinkel sichtbaren Fadennetzes hat durch

Zählen der Anzahl der durch eine Oberfläche von bekannter Grösse gehenden Fäden bestimmt werden können. Die Methode der Dichtebestimmung durch Zählen der durch ein bekanntes *Volumen* gehenden Fäden ist verworfen worden.

Die Länge der Fäden habe ich sehr oft zu 30 μ messen können, und in einzelnen Fällen ist eine Fadenlänge von 50 μ geschätzt worden. Man hat Anlass anzunehmen, dass die Fäden eine bedeutende Länge haben können.

Im Ultramikroskope haben beim unbehandelten Glaskörper keine Fibrillen von mikroskopischen Dimensionen beobachtet werden können, und die Ansicht Jokls, dass ausser der ultramikroskopischen Struktur auch der mikroskopischen Struktur entsprechende Fäden sichtbar wären, beruht auf einer fehlerhaften Deutung der gemachten Beobachtungen.

Redslobs Ansicht über die ultramikroskopischen Fäden als ein durch das Licht hervorgerufenes Kunstprodukt hat sich unrichtig erwiesen.

Beim Abfiltrieren der Glaskörperflüssigkeit wird der Abstand zwischen den Fäden kleiner, und diese werden stärker lichtabbeugend. Wenn ein auf diese Weise behandeltes Glaskörperstück in diese Glaskörperflüssigkeit gelegt wird, nimmt es fast sein ursprüngliches Volumen in der Weise an, dass die Flüssigkeitsschicht zwischen den Fäden vergrössert wird, so dass schliesslich das anfängliche Bild wieder hervortritt.

Wie Redslobs Untersuchungen haben die meinigen gezeigt, dass Zentrifugierung keine Veränderungen des Glaskörpers bewirkt.

Gefrorener Glaskörper, der aufgetaut ist, zeigt im Ultramikroskope keine Andeutung einer Struktur. Das Gesichtsfeld ist von einer Menge leuchtender Punkte erfüllt, die die übrigen Beobachtungen verhindern.

V. Die Variationen der Struktur.

Rein makroskopisch hat man beobachtet, dass verschiedene Teile des Glaskörpers verschiedenartige Dichte haben. Stilling (1869, p. 307) unterscheidet an dem Glaskörper eine Rindensubstanz und einen Kern. Szent-Györgyi (1917, p. 340) ist der Meinung, dass die Benennung Rinde beibehalten werden kann, ist aber dafür, dass der Name Kern, der mit dem Begriff eines härteren Bestandteiles verbunden ist, durch Glaskörpermark oder zentrale Substanz ersetzt wird, was mit dem Verhältnis beim Menschen besser übereinstimmen würde. Sieht man einige histologische Bilder durch, findet man, dass der Glaskörper in verschiedenen Teilen verschiedenartige histologische Struktur besitzt. Auf seine schönen Bilder gestützt, beschreibt Retzius (1894, p. 83) unter anderem die vordere Grenzschicht und das von der Gegend der Ora serrata ausgehende, nach Retzius benannte Retziussche Bündel und geht man zu der Arbeit von Szent-Györgyi 1917 über, und prüft seine Bilder, erhellt mit aller Deutlichkeit die Verschiedenheit der Struktur der verschiedenen Teile. Dasselbe Verhältnis weist auch Jokl 1927 auf, und seine schönen Bilder wirken überzeugend.

Es liegt dann sehr nahe zu denken, dass auch das ultramikroskopische Bild des Glaskörpers von verschiedenen Teilen Veränderungen in der Strukturdichte aufweisen müsste, so dass man in dieser Hinsicht gute Übereinstimmung finden würde. Unter denen, die bisher Untersuchungen an dem Glaskörper im Ultramikroskop gemacht haben, hat nur Heesch (1926, p. 539) dieser Frage Aufmerksamkeit gewidmet, und er kommt 1929 (p. 693 ff.) auf dieselbe Frage zurück. Er hebt hervor, dass Baurmann und Thiessen eine ultramikro-

-kopische Struktur als für den ganzen Glaskörper geltend beschrieben haben, und dass gar keine Verschiedenheiten bezüglich der Struktur zwischen den verschiedenen Teilen vorhanden wären. Hiergegen führt Heesch an, dass der Glaskörper grösstenteils aus einer lockeren Netzstruktur besteht, der er die Bezeichnung Zentralstruktur gibt, dass er aber in peripheren Teilen einen anderen Charakter mit wesentlich dichterer Anordnung der ultramikroskopischen Fäden hat. In der Gegend der Ora serrata und der Pars ciliaris findet er ein ausserordentlich dichtes Gewirr von kurzen gekrümmten Fäden, die so dicht liegen, dass es nicht möglich ist, sie in dem Zählokular zu zählen. Das Ganze gibt den Eindruck »eines festen kurzfaserigen Filzes». Der Übergang zur Zentralstruktur geschieht seiner Meinung nach schrittweise. Unmittelbar innerhalb dieser Schicht ist die Struktur noch kurzfaserig, und die einzelnen Fäden sind gekrümmt, aber doch etwas länger und etwas lockerer als in der peripheren Grenzschicht. Danach folgt eine Schicht mit langen, dicht-liegenden Fäden, die allmählich in die Zentralstruktur mit deren weitmaschigem Geflecht übergehen. Aber auch in der peripheren Grenzschicht treten Unterschiede auf. Geht man von der Ora serrata nach dem Äquator hin, wird das kurzfaserige sehr dichte Geflecht bald etwas lockerer, und innerhalb des ganzen hinteren Teiles des Glaskörpers ist in der Grenzschicht diese Struktur vorhanden. Der Übergang in die Zentralstruktur findet hier schneller als bei der Ora serrata statt. Gegen die Fossa patellaris hin tritt eine dichte langfaserige Struktur auf, die jedoch etwas lockerer als das dichte mit langen Fasern versehene Netz ist, das in der tiefen Schicht an der Ora serrata vorkommt.

Heesch hebt hervor, dass es anfangs nicht leicht ist, diese einzelnen Schichten zu gewinnen, dass man jedoch bald eine hinreichende Sicherheit darin bekommt (1926, p. 540).

Für die Untersuchung der hierhergehörigen Fragen, habe ich grosse Mengen Proben genommen. Ich bemerkte schon frühzeitig das Verhältnis, dass ich, wenn ich Proben von dem Pigmentsaum des durch Äquatorialschnitt ausgenommenen Glaskörpers nach dem Abschneiden dieses Saumes mit einer Schere nahm, im Ultramikroskope sehr schöne Bilder von einer regelmässigen dichten Struktur mit parallel geordneten Fasern erhielt. Wenn die Proben von zentralen Teilen genommen wurden, wurde eine netzförmige und etwas lockere Struktur erhalten. Die Deformierung im Zusammenhang mit dem Herausnehmen und die Schwierigkeit sich zu orientieren veranlassten mich, eine Methode auszuarbeiten, die mir ermöglichte, Proben von einem gewünschten Teil der Peripherie des Glaskörpers zu erhalten.

Die Beschreibung dieser Methode habe ich schon geliefert (p. 20). Die zentralen Teile des Glaskörpers sind zugänglich, nachdem die Sclerotica und die Häute des hinteren Teils des Auges mit einer Schere weggeschnitten worden sind, und der dabei freigelegte Teil des Glaskörpers mit Hilfe einer feinen Schere oder eines Messers entfernt worden ist. Der Glaskörper bleibt dann in dem Augapfel an der Ora serrata fixiert liegen, wodurch man die ganze Zeit über orientiert ist. Durch Wegschneiden eines grösseren oder kleineren Teils der Sclerotica, kann man mehr oder weniger tief in den Glaskörper gelangen.

Es muss indessen hervorgehoben werden, dass einige Fehlerquellen bei der Präparation für die Untersuchung im Ultramikroskope vorhanden sind. Der Glaskörper wird einer gewissen Gewalt ausgesetzt, wenn das Glaskörperstück mit der Schere ausgeschnitten wird. Wenn dies mit einer Pinzette in die Küvette hinübergeschoben wird, wird es tropfenförmig, nachdem es andere Form gehabt hat. Bei der Einstellung des Mikroskopes wird dann das Glaskörperstück einem Druck ausgesetzt und muss sich der Form anpassen, welche die Küvette und das Objektiv bestimmen. Da es sich hier um faserige Struktur handelt, ist es selbstverständlich, dass diese verschiedenen Ursachen

auf die Struktur einwirken können, und man dürfte bestimmt hierin die Ursache dafür finden können, dass sich ab und zu eine von der gewöhnlichen ganz abweichende Struktur darbietet, wenn Proben von einem bestimmten Teil des Glaskörpers genommen werden.

Es wäre wünschenswert gewesen, der folgenden Darstellung photographische Aufnahmen über das Aussehen der Struktur der verschiedenen Teile des Glaskörpers beilegen zu können, aber trotz einer bedeutenden Anzahl Versuche ist es mir nicht möglich gewesen, die ultramikroskopische Struktur photographisch wiederzugeben, ein Verhältnis, das in einem besonderen Kapitel behandelt worden ist (Kap. VII). Um diesem Mangel abzuhelfen, habe ich der Darstellung eine Anzahl Zeichnungen beigefügt, die von dem Präparator des hiesigen histologischen Instituts A. Halvardsson ausgeführt worden sind.

Wie Heesch habe auch ich bei meinen Untersuchungen gefunden, dass der zentrale und grösste Teil des Glaskörpers im Ultramikroskope eine relativ undichte, netzförmige Anordnung der Fasern aufweist, die zum grossen Teil von 30 μ Länge erscheinen, die aber auch kürzer sein können. Die kurzen Fäden können bisweilen durch Bewegung der Mikrometerschraube eine Strecke verfolgt werden, oft gelingt dies aber nicht. Sie liegen nur ein kurzes Stück parallel geordnet. Am häufigsten sieht man, dass sie sich unter spitzem Winkel schneiden. Die Fig. 4—5 suchen diese Struktur zu veranschaulichen. Die Dichte des Fadensystems variiert, und es ist mir nicht möglich gewesen, einen bestimmten Teil des Glaskörpers mit beständig wiederkehrender ausgeprägt lichter Struktur finden zu können. Was die besonders lichte Struktur betrifft, scheint es mir nötig zu berücksichtigen, dass diese infolge der äusseren Gewalt, die oben erwähnt wurde, leichter Flüssigkeit verliert als die dichtere Struktur. In dem recht einförmig angeordneten Fasernnetz findet man deshalb, dass die Dichte nicht wenig variieren kann, auch wenn die Proben von angrenzenden Teilen des Zentrums genommen werden.

Manchmal findet man eine Struktur, die an das Gewirr von Fasern erinnert, das Heesch mit den Bildern 1 und 2 (1926, p. 536) zu zeigen versucht hat. Werden die Proben von derselben Stelle erneuert, findet man die oben beschriebene Zentralstruktur wieder. Durch wiederholte Versuche, bei denen ich in der Regel die obenerwähnte Zentralstruktur fand, habe ich mich davon überzeugt, dass die Gewirrstruktur nur in vereinzelten Fällen beobachtet werden kann. Kontrollproben haben immer gezeigt, dass die angrenzenden Teile des Glaskörpers diese Gewirrstruktur nicht besitzen. Fragt man sich dann nach dem Grund, dass ein solcher Unterschied bezüglich der Struktur auftritt, macht es Schwierigkeiten eine bestimmte Antwort zu geben. Ich bin dazu geneigt, es in Zusammenhang mit der mechanischen Gewalt zu stellen, der das untersuchte Glaskörperstück ausgesetzt worden ist. In anderen Fällen treten beim Ausschneiden des Glaskörperstücks Schwierigkeiten auf, wenn die Pinzette durchschneidet, und das Material lädiert wird. Bisweilen ist es schwierig, das Stück in der Küvette in die richtige Lage zu bringen, und es muss verrückt werden. Dass eine Substanz mit diesem Bau in ihrer inneren Struktur dabei deformiert werden kann, lässt sich gewiss denken.

Wird eine Probe von der Grenzschicht in der Fossa patellaris genommen, sieht man im Ultramikroskope eine Struktur, die zwar an die beschriebene Zentralstruktur erinnert, die aber in gewisser Hinsicht bestimmte Unterschiede aufweist. Die Fasern sind lang, hauptsächlich parallel angeordnet und sehr dicht liegend. Das Bild 7 zeigt eine solche Struktur. Diese Struktur geht allmählich in die Zentralstruktur über, so dass einige Millimeter von der Oberfläche die parallel geordneten Fäden grösseren Abstand von einander bekommen haben, und die Menge der sich schneidenden Fäden zugenommen hat. Nach noch einigen Millimetern wird die gewöhnliche Zentralstruktur

angetroffen. Diese Beobachtungen fallen mit den von Heesch gemachten zusammen.

In der Gegend der Ora serrata und der Pars ciliaris hat Heesch, wie oben erwähnt wurde, mehrere Strukturtypen beschreiben können. Schon beim Beginne meiner Untersuchungen bemerkte ich, dass es hier am leichtesten war, gute Bilder zu erhalten, worunter ich eine deutliche parallelgeordnete Struktur verstand. Um Klarheit zu gewinnen, ob dieser Strukturtypus der vorherrschende ist, habe ich zahlreiche Untersuchungen ausgeführt. Das Gebiet ist leicht erreichbar. Nach dem Herausnehmen des Glaskörpers durch den Äquatorialschnitt auf die gewöhnliche Weise markiert der Pigmentsaum diesen Teil sehr deutlich. Das ist auch der Fall nach der Wegnahme der Cornea, der Iris und der Kristallinse. Man kann auch eine Luke in die Sclerotica und in die Häute machen, wie ich es oben angegeben habe, oder auch kann man nach dem Verfahren von Heesch die Sclerotica mit Häuten und angrenzendem Glaskörperstück zusammenhängend ausschneiden. Ich habe es am vorteilhaftesten gefunden, die beiden erstgenannten Methoden für diese Region zu benutzen. Bei Proben von der Oberflächengegend ist es, wie Heesch bemerkt, erforderlich die Beimischung von gröberen Teilen zu vermeiden, was in der Nähe des Pigmentsaumes äusserst schwierig ist.

Die Fadensysteme, die hier vorkommen, bestehen hauptsächlich aus langen, parallel geordneten Fäden mit grosser aber wechselnder Dichte (Fig. 8). Solche Struktur, die Heesch mit Abb. 1 (1926, p. 536) zeigt, habe ich nur ausnahmsweise beobachtet, und ich habe Anlass diesen Typus in Übereinstimmung mit dem zu beurteilen, was oben über sein Vorkommen in der Zentralstruktur gesagt wurde. Diese parallelgeordnete Struktur geht wie ein Kranz längs der Ora serrata und streckt sich kaum ½ cm weit nach dem Zentrum hin, ehe die Übergangsstruktur zu der Zentralstruktur auf dieselbe Weise auftritt, wie es bei der Fossa patellaris der Fall ist. Die Dichte variiert ein wenig, und ich habe die Auffassung bekommen, dass sie einige Millimeter von der Ora serrata am grössten ist, was mit Heeschs Ansicht übereinstimmt. Seiner Meinung über ein »Gewirr von kurzen gekrümmten Fäden» kann ich mich dagegen nicht anschliessen.

Rückwärts gegen den Äquator (Fig. 9) nimmt diese Parallelschicht immer mehr ab, indem die Übergangsstruktur (Fig. 6) hier eine recht grosse Tiefe erreicht, die sich jedoch allmählich vermindert. Sie wird lichter und die Fäden schneiden sich um so öfter, je weiter rückwärts man gelangt. Aus der Parallelstruktur ist Übergangsstruktur geworden und gleichzeitig ist die Zentralstruktur näher der Oberfläche gekommen. Eine Probe von der Gegend der Papille zeigt ein lockeres Fadennetz, das jedoch bedeutend in Dichte variiert.

Das Material für diese Untersuchungen sind Rinderaugen und dazu ist eine grosse Anzahl erforderlich gewesen. Die Untersuchungsresultate gelten vielleicht auch im allgemeinen, dürften aber vorläufig nur für Augen von Rindern in dem üblichen Schlachtalter gelten. Auch eine Anzahl Kalbsaugen habe ich mit Rücksicht auf diese Frage untersucht, und ungefähr dieselben Verhältnisse gefunden. Die Zentralstruktur ist hier dichter. Augen vom Schwein weisen nichts Wesentliches auf, was von den Verhältnissen beim Rinde abweicht, sondern auch für diese Augen gilt das, was betreffend Rinderaugen beschrieben worden ist. Hinsichtlich der Pferdeaugen ist es sehr schwierig hierher gehörende Fragen zu beurteilen. Diese grossen Augen mit gewaltigem Glaskörper kommen, wie oben erwähnt wurde, von alten Tieren, und das ultramikroskopische Bild unterscheidet sich von dem gewöhnlichen in der oben beschriebenen Weise. Eine vergrösserte Dichte der Struktur habe ich nach vorn und gegen das Corpus ciliare beobachten können, die Untersuchung wird aber durch die erwähnten Partikelchen erschwert. Um entscheiden zu können, ob die Verhältnisse bei Pferdeaugen mit denjenigen der Rinder zusammenfallen,

dürfte es unentbehrlich sein, Augen von jüngeren Pferden, als das gewöhnliche Schlachtmaterial liefert, zur Verfügung zu haben.

Aus obiger Darstellung erhellt, dass die Untersuchungen hinsichtlich der Verschiedenheiten der ultramikroskopischen Struktur der verschiedenen Teile des Glaskörpers erwiesen haben, dass eine lichtere, netzförmig angeordnete Zentralstruktur vorhanden ist, die den grössten Teil des Glaskörpers einnimmt, und eine hauptsächlich periphere Parallelstruktur, die besonders gegen das Corpus ciliare hin und nach vorn eine gewisse Mächtigkeit besitzt. Zwischen diesen tritt eine Übergangsstruktur auf. Heeschs Ansicht über die periphere Struktur von dem Corpus ciliare aus rückwärts kann ich nicht teilen, aber wohl seine Auffassung von der Zentralstruktur und den Teilen aus der Gegend der Ora serrata.

VI. Alterungsvorgänge.

Bei der histologischen Untersuchung des Glaskörpers haben zahlreiche Verfasser die grosse Bedeutung des Umstandes hervorgehoben, dass als Beobachtungsmaterial solche Augen gewählt werden, die baldmöglichst nach dem Töten des Tieres herausgenommen und der Behandlung unterzogen worden sind. So untersucht Szent-Györgyi (1917, p. 330) sein Material in möglichst frischem Zustand, und Jokl (1927, p. 6) unterstreicht: »nur ganz lebensfrisches Material soll daher zur Verwendung kommen», denn »der Glaskörper fällt offenbar sehr rasch autolytischen Veränderungen anheim, die teils zu einer Verklebung, teils zu einer Auflösung der Glaskörperfibrillen führen», und er beklagt sich über die Schwierigkeit »unverletzte, gesunde Augen von kürzlich verstorbenen Menschen» zu erhalten (p. 155). Fracassi (1923, p. 231) ist derselben Ansicht und schreibt: »In der Tat verändert sich der Glaskörper, der ein noch empfindlicheres Organ als die Netzhaut ist, mit einer ausserordentlichen Schnelligkeit post mortem». Szent-Györgyi (1917, p. 332) meint, dass der Glaskörper durch das Sinken der Temperatur beim Herausnehmen des Auges aus dem Körper, oder bei der Abkühlung der Leiche verursachte Niederschlagsveränderungen erleidet. Bei den rein anatomischen Präparationsmethoden dagegen, die J. Stilling (1911, p. 23) bei seinen Glaskörperuntersuchungen benutzte, gelangte er zu einer anderen Auffassung, und er führt an, »der tierische Glaskörper — — — — hält sich tagelang, ja wochenlang in Wasser ohne nennenswerte Zersetzungserscheinung, und vom menschlichen Glaskörper gilt dasselbe».

Es ist daher begreiflicherweise von grossem Interesse von den Alterungsvorgängen, die der Glaskörper erleidet, und die ultramikroskopisch verfolgt werden können, Kenntnis zu gewinnen. Schon 1922 hatten Baurmann und Thiessen Untersuchungen darüber gemacht, und ihre Beobachtungen werden immer noch für massgebend gehalten. Im Prinzip ist der Alterungsvorgang »ein kontinuierlicher Abbau der Fadenstruktur unter gleichzeitigem Auftreten eines Amikronenkegels und einer zunehmenden Zahl von Einzelteilchen verschiedener Grösse» (p. 126). Die Fäden fangen zu flimmern an, werden perlschnurartig, alles damit zusammenhängend, dass der Glaskörper seine harte Konsistenz verliert und schleimig fliessend wird.

Im Jahre 1923 kommt Baurmann (p. 363) mit weiteren Beiträgen zur Kenntnis der Alterungsvorgänge des Glaskörpers. Er erinnert an die Ähnlichkeiten mit dem Alterungsvorgange der Seifengallerten, die Zsigmondy und Bachmann (1912) beschrieben haben. Die Beschreibung des destruktiven Prozesses fällt im grossen Ganzen mit der ein Jahr früher gelieferten Mit-

teilung zusammmen, aber er macht hierbei auch einige Zeitangaben. Von grossem Interesse ist auch der Einfluss der Elektrolyte auf den Zeitverlauf der Alterungsvorgänge, was auch 1922 erwähnt wurde. Er gibt an, dass Normallösungen von Sulfat-, Phosphat-, und Zitrationen beschleunigend, während Chlorid-, Nitrat-, Jodid-, und Rhodanionen hemmend wirken, und erkennt an dieser Reihenfolge die Hofmeistersche Anionenreihe. In Rhodanlösung konnte er den Glaskörper Monate hindurch mit nur geringfügigen dadurch bedingten Veränderungen konservieren.

Auch Heesch (1926, p. 538) hat den Alterungsvorgang erwähnt, und seine Darstellung fällt mit dem, was schon beschrieben worden ist, zusammen. Er berichtet auch über die Erklärungsmöglichkeiten dieser Erscheinungen. Zsigmondys Ansicht war die, dass die Fäden ihre Gleichgewichtslage verloren und zu rotieren und sich zusammenzuziehen begannen. Baurmann und Thiessen dachten sich die folgende Erklärung, »dass in diesem kritischen Zustande die Wechselwirkung zwischen der im frischen Gel die gestreckte Fadenstruktur bedingenden Kraft der Oberflächenspannung, die den Faden zur Kugelform umzugestalten sucht, zu einer wellenförmigen Verdichtung und Verdünnung führt». Thiessen gibt weiter eine Möglichkeit zur Erklärung an, die von Heesch referiert ist. Die Oberfläche der anfänglichen Fäden verflüssigt sich beim »Altern» und zieht sich unter Einfluss der Oberflächenspannung zu vereinzelten Kugeln zusammen in Übereinstimmung mit dem, was bei der Erhitzung eines mit Wachs überzogenen Fadens geschieht.

Rein makroskopisch ist es leicht zu beobachten, dass der Glaskörper nach dem Herausnehmen ziemlich rasch Veränderungen erleidet. Wird er in eine Petrischale gelegt, und lässt man ihn bei Zimmertemperatur einige Zeit stehen, sieht man, dass er Flüssigkeit abgibt, die über den Boden des Gefässes ausfliesst, und in seiner Substanz fängt ein mehr oder weniger feinfaseriges Netz hervorzutreten an, eine Beobachtung die Merkel (1890, p. 266) und andere nachgewiesen haben. Wenn der Glaskörper noch eine Zeit liegen bleibt, und die Verdunstung durch die Bedeckung der Glasschale zum Teil verhindert wird, kommen graue Schleier mit stellenweise deutlicheren, körnigen Fäden zum Vorschein. Nach Verlauf eines Tages sieht man von dem ganz klaren Glaskörper nur diese grauweisse, faserige Schleimmasse und trübe Flüssigkeit. Der Glaskörper hat zum grössten Teil seine eigenartige, knorpelige Konsistenz verloren. Man kann mit einer Pinzette die Schleimmasse aufheben, und palpiert man mit dem Finger oder der Pinzette, findet man nur hier und da eine Andeutung der Knorpelkonsistenz, und dann gewöhnlich an dem gut sichtbaren Pigmentsaum. Die Konsistenz wird immer mehr schleimig, und nach ein paar Tagen bleibt von dem ganzen Glaskörper nur ein Schleimhaufen nebst der grauweissen Flüssigkeit zurück. Wenn die Glasschale nicht bedeckt war, ist gewöhnlich alle Flüssigkeit schon in 24 Stunden verdunstet, und auf dem Boden sieht man nur einen grauweissen Belag.

Wenn der Glaskörper dagegen in dem ungeöffneten Auge liegen darf, das mit Augenlidern und Muskeln aus der Orbita genommen worden ist, und er dieselbe Zeit hindurch bei Zimmertemperatur liegen bleibt, finden bedeutend geringere Veränderungen statt. Die Cornea wird trüb und der Augapfel weich, und im Gegensatz zu dem Verhältnis, das sich bei frühzeitiger unternommener Präparation zeigt, folgt beim Herausnehmen des Glaskörpers die Retina auf seiner Oberfläche mit. Nach dem Herausnehmen sieht man makroskopisch Veränderungen, die mit den oben beschriebenen verglichen, ganz unbedeutend sind. Wenn man das Auge von Muskeln und Häuten befreit und danach liegen lässt, treten die makroskopischen Veränderungen früher ein.

Werden die Versuche erneuert und Glaskörper bzw. ungeöffnete Augen im Thermostat aufbewahrt, gehen die Veränderungen

bedeutend schneller vor sich. Lässt man das Untersuchungsmaterial im Eisschrank stehen, geschehen die Veränderungen, wie man erwarten kann, bedeutend langsamer.

Wenn der Glaskörper zur Beobachtung des Eintritts der Alterungsvorgänge im Ultramikroskope untersucht wird, muss eine lange Zeit hindurch unbedingt frisches Untersuchungsmaterial zur Verfügung stehen, um unverändertes Ausgangsmaterial zu haben. Dadurch dass ich, wie oben erwähnt wurde, die Augen vom Schlachthaus unmittelbar nach dem Schlachten selbst geholt habe, habe ich die Untersuchung etwa eine halbe Stunde nach dem Schlachten anfangen können. Der Glaskörper zeigt dann im Ultramikroskope die beschriebene Struktur. Keine verdichteten oder krummen groben Fäden erscheinen, und die Brownsche Molekularbewegung kommt sehr spärlich zum Vorschein. Wird das Auge bei Zimmertemperatur aufbewahrt und der Glaskörper nach 3—4 Stunden herausgenommen, ist eine Zunahme der Molekularbewegung, aber immer noch keine Veränderung der Fadenstruktur zu bemerken. Nach noch einigen Stunden, d. h. 6—8 Stunden nach dem Schlachten, ist die Brownsche Molekularbewegung gesteigert, und nun kommen auch beginnende Veränderungen des Fadennetzes hinzu. Dies erscheint immer noch ganz klar und deutlich, hier und da tritt aber ein augenscheinlich gröberer Faden auf, dessen Ränder nicht ganz eben sind, und um diesen eine sehr lebhafte Bewegung. Keine Veränderung der Lichtstärke der verschiedenen Teile des Fadens ist zu beobachten, aber nach und nach sieht man, dass er zu glimmern anfängt, und dass er eine deutliche Eigenbewegung bekommen hat, die besonders deutlich hervortritt, wenn er krumm ist und um seine Achse rotiert.

Ich habe mich bemüht, im Ultramikroskope zu sehen, wie ein solcher Faden entsteht, dies ist mir aber bisher nicht gelungen. Derartige Fäden sind im unveränderten Glaskörper nicht vorhanden und es ist offenbar, dass ihre Entstehung in Zusammenhang mit den Alterungsverhältnissen gestellt werden müssen, und dass sie gleich der Zunahme der Brownschen Molekularbewegung ein Glied des Zerfallprozesses der Glaskörpersubstanz bilden, das ultramikroskopisch verfolgt werden kann.

Wenn man den Glaskörper von einem Auge, das noch längere Zeit als oben angegeben bei Zimmertemperatur aufbewahrt wurde, untersucht, findet man einerseits weitere Steigerung der Molekularbewegung und eine Zunahme der Anzahl gröberer Fäden, so dass das Sehen des gewöhnlichen Fadennetzes fast verhindert wird, andrerseits eine zunehmende Beweglichkeit der vielen groben Fäden, die sich in Drehungen um die Längsachse, in Krümmungen und schliesslich in Verschiebungen ganzer Fadengruppen äussert. Schon nach 24 Stunden ist es sehr schwierig im Ultramikroskope mehr als zufällige Spuren der alten Struktur zu sehen. Das ganze Gesichtsfeld wird von einem Gewimmel leuchtender, längerer oder kürzerer krummer Fäden erhellt, die lichtstärker als die anfangs sichtbaren Punkte sind. Die Ränder dieser Fäden sind uneben, und ihre Oberfläche flimmert. Die Konsistenz des Glaskörpers ist dann aus einer knorpelartigen in eine schleimigere übergegangen.

Die Zunahme der Brownschen Molekularbewegung, das Auftreten der beschriebenen gröberen Fäden und das gleichzeitige Verhüllen des ursprünglichen Fadennetzes ist eine regelmässig wiederkehrende Beobachtung. Wenn man einige Zeit mit Glaskörperuntersuchungen gearbeitet hat, kann man aus dem ungefähren Zustand des Glaskörpers die Zeit des Schlachtens beurteilen. In dieser Weise ist es möglich gewesen, Kontrolle über die Lieferanten der Augen auszuüben. Bei der Verabredung mit diesen wurde ihrerseits versprochen, dass mir die Augen für meine Untersuchung unmittelbar nach dem Schlachten geschickt werden sollten. Meistens ist dies geschehen, aber mehrmals hat das ultramikroskopische Bild gezeigt, dass die Augen nicht ganz frisch gewesen waren, und bei Erkundigung bei den Schlächtern wurde dies zugegeben. Ein 3—

4 Stunden alter Glaskörper lässt sich ziemlich gut von einem ganz frischen unterscheiden, und später nehmen die Veränderungen zu, so dass das Beurteilen keine Schwierigkeiten bereitet. Jedoch ist es erforderlich, dass die Augen vor der Untersuchung nicht grossen Temperaturschwankungen ausgesetzt werden.

Wird der Glaskörper unmittelbar nach dem Herausnehmen z. B. in einer bedeckten Petrischale aufbewahrt, treten die erwähnten Veränderungen rascher ein. Schon nach etwa einer Stunde tritt eine Zunahme der Molekularbewegungen ein, und die gröberen Fäden kommen nach 4—5 Stunden zum Vorschein. Nach 8—10 Stunden ist es fast unmöglich Spuren der anfänglichen Struktur zu sehen, weil das Gesichtsfeld von einem Gewimmel leuchtender Körner und Fäden erfüllt ist, alles in lebhafter Bewegung.

Es scheint demnach, dass der Umstand, dass der Glaskörper nach dem Herausnehmen aus dem Auge Flüssigkeit verliert, den Destruktionsprozess der ultramikroskopischen Struktur befördert. Auffallend ist der Unterschied zwischen Proben von z. B. 6 Stunden altem Glaskörper, der erst bei der Untersuchung aus dem Auge herausgenommen wurde, und Proben vom Glaskörper, der dieselbe Zeit in einer Glasschale gelegen hat, besonders wenn diese Schale nicht bedeckt gewesen war. Und dass durch das Erschweren des Flüssigkeitsverlustes der Zerfallprozess verzögert wird, lässt sich durch einen einfachen Versuch beweisen. Wird ein frisches Glaskörperstück mit einer Schere geschnitten, und in die Küvette gebracht, kann man den durch Ablaufen und Verdunsten verursachten Flüssigkeitsverlust ziemlich gut verhindern, wenn man das Erhärtungsgefäss anbringt, und dies mit abfiltrierter Glaskörperflüssigkeit füllt. Man hat dann Gelegenheit den Prozess ununterbrochen zu verfolgen. Die Zeit des Auftretens der obenerwähnten Verhältnisse entspricht sehr gut den Ziffern, die für denjenigen Glaskörper angegeben wurden, der bis zur Untersuchung im Augapfel gelegen hat.

Bei diesen Untersuchungen findet man, dass sich der Glaskörper nicht überall in demselben Umfang verändert hat. Besonders tritt dies zu Tage, wenn man ihn in einer Schale ohne Deckel liegen lässt. Bei der Probennahme kann man bemerken, dass gewisse Proben nur unbedeutende Veränderungen zeigen, während andere ganz ausgeprägte aufweisen. Während bei einigen Proben im Ultramikroskope nur grosse Haufen leuchtender Körner und Fäden zu beobachten sind, ist es bei anderen Teilen noch möglich die Struktur, freilich nur schwach, zu unterscheiden. Es hat sich dabei erwiesen, dass die in der Nähe des Pigmentsaumes, demnach entsprechend der Gegend der Ora serrata liegenden Teile ihre Struktur am längsten beibehalten, während die hinteren Teile des Glaskörpers dem Zerfallprozess am schnellsten anheimfallen. Die topographische Lokalisation eines im Zerfall befindlichen Glaskörpers direkt anzugeben ist bisweilen schwierig, aber der Pigmentsaum bietet immer einen sehr guten Orientierungspunkt, und die vielen Untersuchungen, die ich unternommen habe, um Klarheit betreffs dieser Frage zu gewinnen, haben mich zu der Auffassung geführt, dass die Teile, die, wie schon früher erwiesen wurde, eine dichtere Struktur besitzen, einen verlangsamten Zerfall im Verhältnis zu den lockereren Teilen aufweisen.

Wie oben erwähnt wurde, gehen die makroskopisch sichtbaren Zerfallprozesse schneller vor sich, wenn der Glaskörper im Thermostat z. B. bei 37° C aufbewahrt wird. Werden ungeöffnete Augen zu ultramikroskopischer Untersuchung der Alterungsvorgänge hineingelegt, findet man, dass diese im grossen Ganzen mit dem, was oben beschrieben wurde, übereinstimmen, abgesehen davon, dass die Destruktion hier schneller fortschreitet. Anfangs ist der Unterschied jedoch nicht so augenscheinlich. Die zwei ersten Stunden merkt man nur sehr kleine Veränderungen, fast in Übereinstimmung mit dem, was bei Zimmertemperatur unter denselben Verhältnissen geschieht. Die Steigerung der Brownschen

Molekularbewegung nimmt jedoch beständig zu, und nach zwei Stunden ist diese Zunahme so gross, dass das ultramikroskopische Bild demjenigen entspricht, das man bei Proben von 3—4 Stunden alten, bei Zimmertemperatur verwahrten Augen erhält. Danach geschieht der Zerfall rascher. Schon nach 4—5 Stunden kommen gröbere gekrümmte Fäden zum Vorschein, und nach noch etwa zwei Stunden, kann man infolge des Gewimmels stark leuchtender Körner keine ursprünglichen Fäden sehen. Diese Körner, die anfangs nur ein ziemlich schwaches Licht aussenden, nehmen die ganze Zeit über an Lichtintensität zu. Sie sind indessen nicht alle gleich lichtstark. In dem bewegten Bild sieht man lichtstärkere und lichtschwächere Körner, von denen die letzteren grössere Beweglichkeit zeigen. Man dürfte befugt sein anzunehmen, dass die tatsächliche Grösse der Körner verschieden ist. Die Belichtung von der Bogenlampe aus ist dieselbe und dies ist auch betreffs der Brechungsexponenten der Fall. Die veränderliche Grösse ist hier die Partikelgrösse, und da, nach dem was oben (p. 15) hervorgehoben wurde, das abgebeugte Licht dem Quadrat der Teilchengrösse proportional ist, ist man berechtigt anzunehmen, dass diejenigen Punkte, die stärkeres Licht zeigen, grösser als die lichtschwächeren sind. Bei dem raschen Zerfall bei höherer Temperatur müssen demnach Partikelchen von verschiedenartiger Grössenordnung entstehen.

Macht man Versuche mit einem Glaskörper, der aus dem Augapfel ausgenommen worden ist, tritt der Zerfallprozess mit grösserer Geschwindigkeit ein. Nach 4—5 Stunden ist infolge der stark leuchtenden Partikelchen keine Struktur im Ultramikroskope zu sehen, und die groben Fäden kommen frühzeitiger zum Vorschein.

Ganz anders wird das Verhältnis, wenn man die Augen bei niedriger Temperatur aufbewahrt. Ich habe eine grosse Anzahl Augen untersucht, die ich in Glastöpfen auf Eisblöcken im Eisschrank liegen hatte. Keine ganz konstante Temperatur hat dabei geherrscht, aber sie hat sich auf etwa +3° bis +5° C gehalten. Die Augen behalten ihre Spannung wenigstens während der ersten Tage, werden aber später weicher. Nach und nach wird die Cornea trüb und autolytische Vorgänge geben sich deutlich zu erkennen. Nach 14 Tagen ist das ganze Auge weich, und man verspürt einen starken Fäulnisgeruch. Nimmt man Proben von auf diese Weise verwahrten Augen, bemerkt man während der ersten 2—3 Tage keine Veränderungen. Das Fadensystem mit den asbestglänzenden Fäden ist ganz deutlich sichtbar, und in den Interstitien ist möglicherweise eine Zunahme der Brownschen Molekularbewegung zu merken. Nach noch einem Tage findet man im grossen Ganzen dasselbe Verhältnis, aber ausser der Zunahme der Molekularbewegung und dem Auftreten einzelner gröberen Fäden, sieht man, dass die Interstitien eine hellere grauliche Farbe angenommen haben. Proben von Augen, die noch einen weiteren Tag gelegen haben, zeigen, dass in den Interstitien eine unendliche Menge Partikelchen entstanden sind, die mit den grösseren leuchtenden, beweglichen, schon früher vorhandenen Körnern verglichen, ausserordentlich lichtschwach erscheinen. Das ursprüngliche Fadennetzwerk hat seinen Asbestglanz verloren, und die einzelnen Fäden sind blasser; hier und da kommen gröbere gekrümmte Fäden vor, bisweilen mit sehr unebenen Rändern. So erscheint das Bild, wenn ein Auge während etwa einer Woche in einem Eisschrank gelegen hat. Werden die Cornea, die Iris und die Linse entfernt, und wird etwa vorhandenes freies Irispigment ausgespült, erscheint der Glaskörper immer noch ziemlich klar und durchsichtig, und die Einzelheiten des Augenhintergrundes sind sehr deutlich zu sehen. Nimmt man den Glaskörper durch den Äquatorialschnitt heraus, folgen Stücke der Retina auf der Glaskörperoberfläche mit. Der Glaskörper ist weicher geworden, aber die Andeutung der Knorpelkonsistenz bleibt besonders in den vorderen Teilen bestehen. Es mag hinzugefügt werden, dass es belanglos ist, welche Lage das Auge gehabt hat.

Fortgesetzte Untersuchungen zeigen, dass die erwähnten Zerfallprozesse langsam zunehmen. Die groben Fäden fangen zu flimmern an, und man kann sie bisweilen wie eine in eine Reihe gelegte Kugelmenge sehen. Nach 14 Tagen findet man noch das ursprüngliche Fadennetz, obgleich mit sehr schwachem Licht. Dies ganze Fadennetz liegt wie zitternd, hier und da durch das Licht der gröberen Fäden und der grösseren leuchtenden Körner verdunkelt. In den Interstitien bemerkt man die unendliche Anzahl kaum erkennbarer Ultramikronen. Nach und nach ist es nicht länger möglich, irgend welche Spur der gewöhnlichen Struktur zu sehen. Man bemerkt nur die beweglichen leuchtenden Körner und grobe lichtstarke Fäden, die auch eine lebhafte Eigenbewegung erhalten haben, und von den Ultramikronen ist nichts mehr zu sehen.

Werden die Versuche unter denselben Verhältnissen wiederholt, und benutzt man dabei einen Glaskörper, der aus dem Auge herausgenommen worden ist, findet man, dass der Zerfall etwas schneller geht, besonders wenn der Glaskörper nicht bedeckt ist. Bei der Untersuchung eines Glaskörpers, der in einer bedeckten Petrischale gelegen hat, bemerkt man schon nach 24 Stunden eine Zunahme der Brownschen Molekularbewegung, wenn der Glaskörper jedoch unbedeckt aufbewahrt wird, in einer noch etwas kürzeren Zeit. Nach einer Woche, bzw. 4—5 Tagen, kann man die gewöhnliche Struktur nicht länger unterscheiden. Die oben beschriebenen Verhältnisse treten allmählich ein; die Zunahme der Brownschen Molekularbewegung, das Auftreten grober, gekrümmter Fäden, schwache Spuren der Ultramikronen und gesteigerte Beweglichkeit, bis schliesslich alles von dem Gewimmel leuchtender Partikelchen und Fäden verhüllt wird, und keine Spuren der normalen Struktur sich weiter erkennen lassen.

Bei diesen Untersuchungen ist es erforderlich darauf zu achten, dass das zu untersuchende Auge, bzw. der Glaskörper, bei Zimmertemperatur nicht länger als einen kurzen Augenblick liegen darf, während die Probenahme vor sich geht, wenn man dasselbe Material für die fortgesetzten Beobachtungen zu benützen beabsichtigt. Wird die Temperatur des Glaskörpers von 3—5° C auf Zimmertemperatur gebracht, geht nämlich der Zerfall sehr rasch vor sich, wenn der Glaskörper bei dieser Temperatur verwahrt wird. Temperaturschwankungen haben einen sehr nachteiligen Einfluss, auch wenn die Temperatur nicht auf Zimmertemperatur steigt. Der Glaskörper lässt sich scheinbar am besten bei konstanter niedriger Temperatur z. B. bei 3—5° C aufbewahren.

Wird ein Glaskörper, der bei Zimmertemperatur oder im Thermostat gelegen hat, in einen Eisschrank gebracht, kann man beobachten, dass der Zerfallprozess sich zu verlangsamen beginnt. Nachdem er die Temperatur des Eisschranks angenommen hat, folgt der fortgesetzte Zerfall etwa der oben gelieferten Darstellung. Doch bemerkt man gewisse Unterschiede. So ist die auftretende Brownsche Molekularbewegung lebhafter, und die Anzahl gröberer Fäden grösser. Die Ultramikronenmengen in den Interstitien lassen sich sehr schwer unterscheiden, wenn die Versetzung in den Eisschrank unternommen wurde, nachdem der Glaskörper eine längere Zeit bei der höheren Temperatur gehalten worden war.

Die Alterungsvorgänge sind demnach durch die Zunahme der die Brownsche Molekularbewegung zeigenden Körner und das Auftreten gröberer Fäden, deren Ränder nicht sehr gut abgegrenzt sind, und die eine ziemlich grosse Beweglichkeit zeigen, gekennzeichnet, welche Beobachtungen mit denjenigen Baurmanns und Heeschs zusammenfallen. Äusserst bemerkenswert ist die gute Übereinstimmung mit den entsprechenden Verhältnissen bei Natriumoleatgallerten. Zsigmondy und Bachmann schreiben (1912, p. 151): »Die Alterung einer fadenziehenden Natriumoleatgallerte führt zur Ausbildung besonders dicker (auch im gewöhnlichen Mikro-

skop wahrnehmbarer) Fäden. Hier scheinen also dickere Fäden auf Kosten der dünneren, die intermediär in Lösung gehen, zu wachsen.»

Die Alterungsvorgänge treten mit verschiedener Geschwindigkeit auf. Erhöhte Temperatur beschleunigt dieselben, während niedrige Temperatur verzögernd wirkt. Bei erhöhter Temperatur treten leuchtende bewegliche Körner verschiedener Grössenordnungen auf, während dagegen bei niedriger Temperatur die Körner gewöhnlich ausserordentlich klein sind, so dass sie beim Verwahren bei konstant niedriger Temperatur von etwa + 3 bis + 5° C kaum getrennt beobachtet werden können, sondern einen grauweissen Schleier in den Interstitien bilden. Der Flüssigkeitsverlust beschleunigt das Eintreten der Alterungsvorgänge, so dass bei im übrigen gleichen Verhältnissen der Glaskörper sich eine längere Zeit unverändert beibehält, wenn er im Augapfel eingeschlossen ist, und kürzere Zeit, wenn er aus dem Augapfel herausgenommen wurde.

Wird ein Glaskörper, der bei niedriger Temperatur aufbewahrt wurde, auf Zimmertemperatur gebracht, so werden die Alterungsvorgänge beschleunigt.

Alles deutet darauf hin, dass die Alterungsvorgänge im grossen Ganzen denselben Gesetzen folgen, wie gewöhnliche chemische Prozesse, von denen man weiss, dass Erhöhung der Temperatur eine Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeit bewirkt und eine Temperatursenkung dieselbe herabsetzt (vgl. Hollemann 1910, p. 145).

VII. Photographische Versuche.

Um ein objektives Bild des ausserordentlich feinen und gracilen Fadennetzes zu erhalten, liegt es sehr nahe, eine photographische Aufnahme davon zu versuchen, wie es Zsigmondy-Bachmann (1912) mit Gelatine und Natriumoleat-, Stearat- und Palmitatgel gemacht haben. Photographische Bilder des Glaskörpers im Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop sind jedoch bisher nicht aufgenommen worden, sondern sowohl Baurmann (1923, p. 362) als auch Heesch (1926, p. 536 ff.) haben ihre Darstellungen durch Zeichnungen veranschaulicht. 1926 hat Baurmann (p. 305 ff.) eine Anzahl photographischer Aufnahmen von Glaskörperuntersuchungen im Spalt-Ultra-Mikroskop von 235-facher Vergrösserung beigefügt. Diese Bilder dürften die beobachtete Struktur nicht zur Genüge wiedergeben können, und er schreibt selbst (p. 307): »Es ist mir bisher leider nicht gelungen, die Fadenstruktur in der Photographie so klar und sauber wiederzugeben, wie sie tatsächlich im Ultramikroskop sichtbar ist. Bei der sehr verschiedenen Lichtstärke der verschiedenen Teile eines und desselben Bildes sind einzelne Gebiete meist schon überexponiert, wenn andere Stellen erst kaum sich abzuzeichnen beginnen.»

Irgendwelche Angaben über Versuche zur photographischen Aufnahme des Glaskörpers im Immersions-Spalt-Ultra-Mikroskop sind weder bei Baurmann noch bei Heesch vorhanden, weshalb sich ein Gebiet darbot, wo man mit grösseren Schwierigkeiten als bei photographischer Aufnahme im Spalt-Ultra-Mikroskop rechnen konnte, und dem viel Arbeit gewidmet worden ist.

Die mir zur Verfügung stehenden Photographieapparate sind Mikro-Kamera nach Cerny 9×12 cm (C. Reichert), Mikro-Aufsatz-Kamera für Kinofilm »Mifilmca» (Leitz) und Mikro-Aufsatz-Kamera für Platten 4½×6 cm (Leitz).

Beim Photographieren mit Cernys Mikrokamera wurde in der ersten Zeit das zur Kamera gehörende Zeigerdoppelokular mit seitlichem Einblickrohr benutzt, und die Einstellung wurde mittels dessen ausgeführt. Um gesteigerte Belichtung durch Elimination des durch dies Okular bedingten Lichtverlustes zu gewinnen, wurde die Kamera mittels einer Messinghülse direkt auf das Mikroskop montiert und für die

weiteren Versuche wurden Leitz' Periplan Okular 15 und 8 angewendet. Die Grösse der Blendenöffnung wurde während der Versuche variiert. Die genaue Einstellung geschah mit einer Lupe bei guter Dunkeladaptierung. Die Höhe des im Präparate beleuchteten Gebiets wurde durch Veränderung der Spaltweite variiert, deren tatsächliche Höhe von 50 μ bis 150 μ mit gewöhnlicher Einstellung bei 70 μ verändert wurde, entsprechend einer Höhe im Präparate von 2,85 μ. Das Ultramikroskop war bei diesen Versuchen auf einem nicht erschütterungsfreien Platz aufgestellt, aber eine ganze Serie von Versuchen wurde zu einer Tageszeit gemacht, wo unerwartete Störungen auf ein Minimum beschränkt waren.

Das benutzte Negativmaterial bestand aus:

Agfa Andresa Ultra Ortho	900 H. & D.
Imperial Eclipse .	650 H. & D.
Perutz' Fliegerplatten	700 H. & D.
Ilford soft panchromatic backed . .	700 H. & D. (Tageslicht) 3000 H. & D. (Glühlicht)

Die Belichtungszeit wurde von 5 Sek. bis auf eine Minute und länger variiert. Die Resultate waren äusserst inkonstant und unberechenbar und aufs höchste niederschlagend. Bei der Anwendung von Perutz' Fliegerplatten und Ilford soft wurde Schwärzung nach einer Belichtungsdauer von 25—30 Sekunden mit einer Spaltbreite von 70 μ und dem Okular 8 erhalten. Bei verlängerter Belichtungszeit wurden unscharfe und trübe Bilder erhalten. Die Lichtintensität während der relativ langen Belichtungszeit schwankte, trotz genauer Aufmerksamkeit auf die Bogenlampe. Das übrige Plattenmaterial erheischte ebenso lange Belichtungszeit, gab aber noch unsicherere Resultate.

Irgendwelche Veränderung durch den Umtausch des Zeigerokulars und das Montieren der Kamera unmittelbar auf das Mikroskop war nicht zu bemerken.

Bei der Arbeit mit Cernys Kamera zeigte es sich schwierig, diese fest auf das Ultramikroskop zu montieren, und bei dem Wechsel der Kassetten trafen leicht Verschiebungen der Einstellung ein. Dazu kam, dass die relativ grosse Brennweite des Kameraobjektives und das dadurch bedingte kleine Öffnungsverhältnis zu langen Belichtungszeiten zwangen. Dies gab mir dazu Anlass, eine kleinere Kamera mit kürzerer Brennweite und grossem Öffnungsverhältnis zu prüfen, und dabei kam Leitz' »Mifilmca» zur Anwendung.

Für die photographische Aufnahme mit »Mifilmca» wurde teils das zur Kamera gehörende Leitz' Periplan Okular 8 und teils Leitz' Periplan Okular 15 angewendet. Die Einstellung wurde bei Dunkeladaption durch das seitliche Einblickrohr unternommen. Die Spalthöhe betrug meistens 70 μ aber daneben wurden mehrere Serien mit einer Spaltöffnung von 50, 100 und 150 μ gemacht. Um zu untersuchen, in welchem Masse veränderte Tiefeinstellung das Resultat beeinflussen konnte, wurden mehrere Untersuchungen unternommen, bei welchen teils die Belichtungsdauer, teils die Einstellung der Höhenlage variiert wurde, so dass das belichtete Gebiet des Präparates μ für μ durchgearbeitet wurde.

Das Ultramikroskop war während des grössten Teils dieser Zeit auf einem ganz erschütterungsfreien Platz aufgestellt.

Das Negativmaterial bestand aus:

Perutz' Leica Special Film . .	700 H. & D.
Ultrarapid Kino Film	700 H. & D.
Eastman Film	700 H. & D.
Positivfilm	100 H. & D.

Auf Leica Special und Ultrarapidfilm mit Okular 8 und der Spaltbreite 70 μ wurde Schwärzung bei einer Belichtungszeit von 8—10 Sekunden erhalten. Die Aufnahmen waren immer undeutlich, ohne Schärfe, nur mit einer Andeutung linearer Zeichnung, am besten bei scharfer Einstellung des Präparates hervortretend (vgl. oben). Verminderter Spalt verlängerte die Belichtungszeit beträchtlich, und mit einem Spalt von 100—150 μ wurde nur Schwärzung ohne Andeutung der Zeichnung mit kürzerer Belichtungszeit erhalten.

Eastman Film gab unter denselben

Bedingungen erst nach einer Belichtung von 10—12 Sekunden Schwärzung, ohne irgend welche Andeutung einer Zeichnung. Der Positivfilm erforderte so lange Belichtungszeit, dass die Versuche aufgegeben wurden, weil nur verwischte Aufnahmen erhalten wurden.

Mit der Mikro-Aufsatz-Kamera für Plattenformat $4\frac{1}{2} \times 6$ cm wurden eine Menge Versuche mit denselben Anordnungen wie bei der Anwendung von »Mifilmca» gemacht.

Das Negativmaterial bestand aus:

Agfa Chromo Isolar . . . . . 225 H. & D.
Agfa Andresa Ultra Ortho . . 900 H. & D.
Perutz' Fliegerplatten . . . . 700 H. & D.
Ilford soft panchromatic backed 700 H. & D.

Agfa Chromo Isolar gab keine Schwärzung in angemessener Zeit, die übrigen gaben verwischte Bilder in 8—12 Sekunden, aber sehr ungleichmässig und unberechenbar.

Wie oben (p. 15) hervorgehoben wurde, ist die Intensität des abgebeugten Lichtes von verschiedenen Wellenlängen der vierten Potenz der Wellenlänge umgekehrt proportional, demnach mit einem raschen Herabsinken der Intensität gegen das langwellige Licht. Um das Licht von kurzer Wellenlänge abzuschirmen, wurde ein Ilford Q-Filter auf die zum Ultramikroskope gehörende optische Bank montiert. Dieser Q-Filter absorbiert alles Licht von kürzerer Wellenlänge als das dem Menschenauge sichtbare. Die Belichtungsdauer wurde hierdurch um 50 % verlängert, aber keine gesteigerte Schärfe gewonnen.

Die Momente, die bei diesen Untersuchungen so grosse Schwierigkeiten verursacht haben, sind folgende: Die geringe Lichtstärke des Präparates, die Eigenbewegung im Präparate und die Inkonstanz der Lichtquelle.

Die Lichtintensität der Fäden des Präparates kann nicht durch Vergrösserung der Spaltbreite gesteigert werden, weil dadurch nur die Anzahl der belichteten Fäden vergrössert wird, und hierdurch die optisch inaktiven Spalträume zwischen den Fäden kleiner werden. Dagegen dürfte der Lichteffekt von der Bogenlampe durch Anwendung einer grösseren Stromstärke gesteigert werden, aber dies auszuführen ist mir nicht möglich gewesen.

W. F. Darke, J. W. McBain u. C. S. Salmon (1921, p. 397) benutzten z. B. bei ähnlichen Versuchen eine Bogenlampe mit einer Stromstärke von 30—50 Amp., während bei meinen Versuchen nur die zum Instrument gehörige Bogenlampe für 10 Amp. zur Anwendung kommen konnte.

Die Beweglichkeit in dem Präparate ist stärker als zulässig gewesen, wodurch nur verwischte Aufnahmen mit bestenfalls Andeutung linearer Zeichnung erhalten worden sind. Die Belichtungszeit hat nicht weit genug beschränkt werden können, um den Effekt dieser Beweglichkeit auf das Negativmaterial auszuschliessen.

Die Veränderlichkeit der Lichtquelle ist schliesslich die Ursache gewesen, dass es bei im übrigen ähnlichen Verhältnissen nicht gelungen ist, dasselbe Bild oder dieselbe Schwärzung zu erhalten.

Grosses Gewicht wurde auf die Entwicklung gelegt, die unter Mitwirkung von Fachmännern ausgeführt wurde. Verschiedene Entwicklungsmethoden haben im grossen Ganzen gleichwertige Resultate gegeben, ohne dass die Einzelheiten deshalb deutlicher hervorgetreten wären.

Versuche photographische Bilder von dem ultramikroskopischen Fadennetze des unbehandelten Glaskörpers zu erhalten, haben also nicht zu einem positiven Resultate geführt, trotz der bedeutenden Arbeit, die darauf niedergelegt wurde.

Die erhaltenen Bilder sind denen Baurmanns vergleichbar und unterliegen derselben Kritik, weshalb ich es nicht für nötig erachtet habe, mehr als einige Stück (Fig. 22 u. 23) mitzunehmen.

Mit gesteigerter Empfindlichkeit des Negativmaterials oder grösserer Lichtstärke der Bogenlampe des Ultramikroskops, am besten mit beiden gleichzeitig, wäre vielleicht ein Resultat zu gewinnen.

VIII. Erhärtungsversuche.

Die im Mikroskope sichtbare fibrilläre Struktur des Glaskörpers ist von den meisten Verfassern als mit der Wirklichkeit übereinstimmend betrachtet worden. »Wir sind heute schon so weit, dass die Realität der Fibrillen kaum mehr verteidigt zu werden braucht», schreibt Szent-Györgyi (1917, p. 332), und er dürfte damit einen repräsentativen Ausdruck für die herkömmliche Ansicht gegeben haben. Dagegen ist er reservierter, wenn es gilt zu entscheiden, ob das Aussehen dieser Fäden im Mikroskope ihre Beschaffenheit im wirklichen Leben widerspiegelt, und lässt die Frage offen, ob sie während des Lebens dünner, dicker oder von demselben Durchmesser sind.

Schon früher hatte Bowman (1849, p. 104) den Zweifel zum Ausdruck gebracht, den er betreffs des tatsächlichen Vorkommens derjenigen Glaskörperstruktur hegte, die nach der damaligen Auffassung ihrem Bau entsprechen sollte. Er schreibt, »that the very beautiful and very elegant layers produced in the vitreous substance by immersion in the salt of lead do not depend on any corresponding series of anatomical membranes, but are due to a physical cause, which will probably be explained more easily by the physico-chemical inquirer than by the anatomist».

Die damals anerkannten Membranen sind schon längst verworfen worden, und in Zusammenhang mit der Verfeinerung der Technik ist der Glaskörper als aus mikroskopischen Fibrillen und Glaskörperflüssigkeit bestehend betrachtet worden, die Fibrillen in genau beschriebenem Fadensystem angeordnet. Dieselbe Annahme, die Bowman bezüglich der Membranen macht, tritt bei der Beurteilung dieses mikroskopischen Fadensystems hervor. Einen überzeugenden Beweis für ihre Existenz bildet nicht der Umstand, dass diese Struktur des Glaskörpers regelmässig in den Präparaten stets wiederkommt, wenn der Glaskörper der Einwirkung der Erhärtungsflüssigkeiten ausgesetzt wird, weil diese Behandlung mit minuziöser Genauigkeit stets auf dieselbe Weise unternommen worden ist. F. Keibel (1886, p. 366) schreibt auch: »aber dürfen wir uns wundern, wenn bei gleicher Behandlung auch immer wieder die gleichen Kunstprodukte zu Stande kommen!»

Schon lange vor dem Zustandekommen der ultramikroskopischen Untersuchungen bildete der Umstand einen schwachen Punkt der Beweisführung, dass man gar keine Spur einer Struktur des unerhärteten Glaskörpers im Mikroskope hat beobachten können, während dagegen das zierliche Fadennetz nach Erhärtung sich sehr gut erkennen liess. Sobald man gefunden hatte, dass der Glaskörper Gallertenstruktur besass und gänzlich jeder Spur einer mikroskopischen Struktur entbehrte, ist diese Frage in eine andere Lage gekommen. Keine infolge der Lichtbrechungsverhältnisse verdeckte fibrilläre Struktur mikroskopischer Dimensionen ist vorhanden, weshalb Szent-Györgyis oben zitierter Ausspruch korrigiert werden muss, und »die Realität der Fibrillen» eine weit kräftigere Verteidigung erheischt, als was bisher hat geleistet werden können. »Die Realität der Fibrillen» muss als äusserst unsicher betrachtet werden, und gegen die Annahme von dem Vorkommen der Fibrillen im Leben, die ihre Stütze in den Untersuchungen an den histologischen Präparaten, und nicht in der mikroskopischen Beobachtung an unbehandeltem Glaskörper hat, sprechen die Befunde der ultramikroskopischen Untersuchungen. Nur die durch die histologischen Methoden erhaltenen mikroskopischen Präparate geben der Fibrillenstruktur eine Stütze. Dabei muss jedoch bemerkt werden, dass die Einwirkung der Erhärtungsflüssigkeit Veränderungen verursacht, auf welches Verhältnis schon F.

Schwarz (1887, p. 154) in Zusammenhang mit anderen Untersuchungen die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Er schreibt, »dass man nicht berechtigt ist, aus den an fixierten Zellen auftretenden Bildern auf eine bestimmte Struktur zu schliessen», und A. Fischer (1899, p. 70) hebt hervor, dass »je feiner die mikroskopische Analyse sich bis in die zartesten Einzelheiten ergeht, um so grösser ist die Gefahr, Kunst und Natur zu verwechseln».

Ein weiterer Umstand dürfte in diesem Zusammenhang hervorzuheben sein. In der reichhaltigen Literatur auf diesem Gebiete versucht man vergebens jemand zu finden, dem es gelungen wäre einen Faden in dem unbehandelten Glaskörper zu isolieren.

G. Fracassi (1923, p. 295), der der Überzeugung ist, dass der Glaskörper kein fibrilläres Gerüst besitzt, sondern überall aus einer halbflüssigen, mehr oder weniger homogenen Substanz gebildet wird, hat interessante Versuche ausgeführt, um durch experimentelle Untersuchungen über die Frage der Existenz der Fäden ins Klare zu kommen. Er ist mit einem dünnen v. Graefeschen Messerchen entsprechend der Äquatorialebene hineingegangen an eben erst enukleierten Augen eines neugeborenen Kaninchens. Der Schnitt durch die Augenmembranen ist beschränkt geblieben auf den Bezirk der Incision des Messers, mit dem der Glaskörper in voller Dicke in schräger Richtung durchschnitten wurde. Dadurch dass das Fixiermittel durch den Schnitt eindrang, wurden naheliegende Teile schneller fixiert als der übrige Glaskörper, weshalb die Resultate nicht beurteilt werden konnten. Er machte darauf denselben Schnitt an lebenden neugeborenen Kaninchen, die nach drei Stunden getötet wurden, worauf die Augen gleich enukleiert und fixiert wurden. Sein Gedanke war, dass die beiden Hälften des Glaskörpers sich rasch wieder zusammenfügen könnten, die Fibrillen jedoch sich schwerlich so vereinigen würden, dass vom Schnitt keine Spur mehr sichtbar wäre. Gleichzeitig sollte ein fibrinreiches Gerinnungsmittel verhindern, dass das Fixativ zu rasch in die Augenhöhle eindringe, indem es die Wundränder verbinden und scleral verkleben sollte. Teilweise erreichte er sein Ziel, aber die Sclera buchtete im Bereich der Schnittfläche gegen die Augenhöhle vor, wodurch eine Schrumpfung entstand. Unter dem Mikroskop erschien der Glaskörper als homogen, und jede Spur des Schnittes im Glaskörper war verschwunden.

Mit derselben Absicht, die Fracassi verfolgte, sind an der hiesigen histologischen Institution einige Versuche ausgeführt worden. Um das Eindringen der Fixierflüssigkeit durch die Einstichsöffnung zu verhindern, wurde eine Discissionsnadel durch den Nervus opticus hineingeführt, so dass die Nadel überall durch den Nerv ging. Die Nadel wurde dann im Glaskörper umherbewegt, besonders gegen das Corpus ciliare. Nachdem die Nadel herausgenommen worden war, wurde der Nerv mit einem festen Faden umknotet, was auch mit dem Nerven des Kontrollauges geschah. Die Augen wurden darauf in Fixierflüssigkeit gelegt, wobei so verfahren wurde, dass die Spitze des Sehnerven sich, wenigstens zu Anfang, über der Flüssigkeitsoberfläche befand. Als Fixiermethode wurde die von Jokl (1927, p. 6 ff) beschriebene verwendet. Zwei Versuche wurden ausgeführt, wobei beide Augen enukleiert wurden (Königl. Akad. Krankenhaus, Geburtsabt., Journal N:o 1209/1930 und N:o 122/1931), und in dem einen mit einer Nadel herumgerührt wurde, während das andere das Kontrollauge darstellte.

Leider trat teilweise Schrumpfung der Präparate ein. Bezüglich der histologischen Fadenstruktur ist jedoch auf den Schnitten gar kein Unterschied zwischen den behandelten Augen und den Kontrollaugen zu sehen. Auf den Schnitten der behandelten Augen sieht man im Fadennetz des Glaskörpers etwas Retinalpigment, sicherlich eine Folge davon, dass die Nadelspitze mit der Retina in Berührung gekommen ist.

Meine Versuche haben also, ebenso wie die oben beschriebenen von Fracassi, darauf hingewiesen, dass ein Abschneiden der vermuteten mikroskropischen Glaskörperfäden

nicht nachzuweisen ist; auch in den Strukturverhältnissen kann keine Veränderung nachgewiesen werden, trotz Herumrührens im Glaskörper, besonders im Retziusschen Bündel.

Da die ultramikroskopischen Untersuchungen dem Glaskörper jede Spur einer mikroskopisch fibrillären Struktur absprechen, tritt ganz natürlich die Frage auf, wie diese fibrilläre Struktur aus der Gallertenstruktur entstehen kann. Dass diese Frage in einer Weise erklärt werden muss, die mit der oben angeführten Annahme Bowmans zusammenfällt, dürfte sich erwarten lassen. Ohne jedoch auf diejenigen physikalisch-chemischen Prozesse einzugehen, die im Glaskörper bei der Erhärtung stattfinden, hat man Anlass anzunehmen, dass bedeutungsvolle Erkenntnisse dadurch zu gewinnen wären, dass man eine Möglichkeit bereitet, die im Ultramikroskope vorsichgehenden Veränderungen der Gallertenstruktur des Glaskörpers zu verfolgen, und auf die Unterschiede achtzugeben, die bei auf diese Weise ausgeführter Erhärtung eintreten.

Einige Untersuchungen der hierhergehörigen Fragen sind schon von Heesch (1928, p. 129 ff) ausgeführt worden. Er hat ganze Augen in Erhärtungsflüssigkeiten gelegt, und erst nach eingetretener Erhärtung den Glaskörper herausgenommen und Stücke davon im Ultramikroskope untersucht. Auf diese Weise haben einige Endstadien beobachtet werden können. Er hat dabei feststellen können, dass 4 %-ige Formalinlösung die ultramikroskopische Struktur nur unbedeutend verändert, deren dünne Fäden noch vorhanden sind, obschon dichter und stärker lichtabbeugend. Bedeutend dichtere Struktur wird bei Erhärtung in Müllerscher und Zenkerscher Lösung erhalten. Er meint, dass die mikroskopische Struktur durch Zusammenlagerung der ultramikroskopischen Fäden des Glaskörpers zu stande kommt.

Heeschs Versuche sind äusserst interessant, da er durch diese den Zusammenhang zu finden gesucht hat, der zwischen der Gallertenstruktur des Glaskörpers und seiner im Mikroskope nach der Erhärtung sichtbaren Fibrillenstruktur bestehen muss. Es scheint indessen erforderlich, im Ultramikroskopé den Verlauf verfolgen zu können, und da ist seine Methode nicht anwendbar. Zu diesem Zwecke habe ich das auf Seite 17 abgebildete Erhärtungsgefäss verfertigen lassen, das es ermöglicht, ein im Ultramikroskope eingestelltes Glaskörperstück mit Erhärtungsmitteln ohne Verrückung des Präparates zu behandeln. Wegen der Kittung der Linsen des Beobachtungs- und Beleuchtungsobjektivs müssen gewisse Erhärtungsmittel, wie Alkohol und Aceton, vermieden werden, ebenso auch beispielsweise Quecksilberverbindungen, um die metallenen Teile der Objektive nicht zu beschädigen.

Wenn es galt, die bei der Erhärtung eintretenden Veränderungen zu verfolgen, ist es mir wünschenswert erschienen, in erster Reihe eine Methode zu benutzen, die nicht darauf hinzielt, den ganzen im Augapfel befindlichen Glaskörper, sondern nur einen kleinen Teil zu fixieren. Das von J. Kubik (1913, p. 74) angegebene, nach S. Mayers Methode (1913, p. 64) ausgeführte Verfahren zur Erhärtung und Färbung des Glaskörpers hat bei mehrfachen Versuchen im Mikroskope ein sehr schönes Fadennetz gegeben, in dem grosse Mengen etwa gleichgrosser Körner, die zu den Fäden gehören, in ziemlich regelmässigen Abständen liegen. Das bei dieser Methode Bemerkenswerte ist, dass dies Netzwerk im Mikroskope nicht zum Vorschein kommt, ehe das Präparat mit der Lösung von pikrinsaurem Ammonium behandelt worden ist; die Färbung mit Neutralrot gibt demnach keine im Mikroskope sichtbare Glaskörperstruktur.

Werden die Versuche im Ultramikroskop unter Benutzung des Erhärtungsgefässes wiederholt, so kann man folgendes beobachten: Das herausgeschnittene Glaskörperstück hat zu Anfang des Versuchs im Ultramikroskop die gewöhnliche Normalstruktur. Die Hinzufügung der verdünnten Neutralrotlösung übt keinerlei Einfluss auf dieselbe aus. Nachdem man die Farbe mittels der Pipette entfernt und die physiologische Koch-

salzlösung, die mehrmals erneuert wird, zugefügt hat, ist noch immer keine Veränderung der Gelstruktur eingetreten. Lässt man nun einige Tropfen einer gesättigten pikrinsauren Ammoniumlösung mit dem zwischen den Objektiven liegenden Präparate in Berührung kommen, so treten sehr schnell Veränderungen des Bildes ein. Schon nach einer Minute erscheint eine grosse Menge lichtstarker, leuchtender Körner, das ursprüngliche Fadennetz wird lichtstärker, und die Fäden erhalten Bewegung: einerseits in Form einer Bewegung jedes einzelnen Fadens für sich, andrerseits so, dass das ganze Fadensystem in schwingende Bewegung versetzt wird. Dabei wechselt die Lichtstärke in den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes. Nach einigen Minuten erscheinen gröbere, lichtstärkere Fäden, die schwach gebogen und körnig sind. Die ursprünglichen Fäden scheinen immer mehr zu verschwinden. Die gröberen Fäden nehmen nicht länger eine gewisse Lage im Verhältnis zum Licht ein; sie zeigen immer noch eine starke Beweglichkeit und werden perlenschnurähnlich mit Körnern, die stärker leuchten, als die dazwischen liegenden Stücke. Allmählich hört die Beweglichkeit der Fäden auf, und die lichtstarken Körner in den Zwischenräumen verschwinden. Ist eine zu grosse Menge des Erhärtungsmittels beigegeben worden, so sieht man in den peripheren Teilen grosse Mengen leuchtender, beweglicher Körner, die allmählich das ganze Gesichtsfeld ausfüllen, so dass von irgend welcher Struktur nichts zu sehen ist.

Wird das Präparat aus dem Ultramikroskop mit einigen Tropfen Glycerin auf ein Objektglas gebracht und mit einem Deckglas bedeckt, kann man im Mikroskope die von K u b i k beschriebene Struktur sehen.

Die Fixierung geht recht schnell, so dass sich in weniger als 10 Minuten der ganze Prozess abgespielt hat. Variationen betreffs der Zeit sind von der Grösse des verwendeten Glaskörperstücks abhängig.

Bei dieser Untersuchung ist es also möglich, die Veränderungen zu sehen, die beim Zusatz der Erhärtungsmittel eintreten. Die ursprüngliche ultramikroskopische Struktur, die durch den Zuzatz von Neutralrot nicht beeinflusst wird — was sich in der Beobachtung zeigt, dass im Mikroskop keine Veränderung zu sehen ist — erleidet gewaltsame Veränderungen, sobald die pikrinsaure Ammoniumlösung zugesetzt wird, und das Endresultat ist eine fadenartige, perlenschnurähnliche Struktur, die mikroskopisch leicht wahrnehmbar ist, und dasselbe Aussehen hat, wie die fibrilläre Struktur, die man bei der üblichen histologischen Behandlung des im ungeöffneten Augapfel liegenden Glaskörpers erhält.

Eine direkte Nachprüfung der Erhärtung des Glaskörpers nach den üblichen Methoden, wobei ganze Augäpfel den Gegenstand der Behandlung bilden, hat im Ultramikroskop natürlich nicht ausgeführt werden können, sondern die Untersuchungen sind nur an kleinen Glaskörperstücken vorgenommen worden, die in die Küvette gebracht und darin mit verschiedenen Erhärtungsflüssigkeiten behandelt wurden.

Ein bei diesen Versuchen in grossem Umfang angewendetes Erhärtungsmittel bildeten Formaldehydlösungen von verschiedenem Prozentgehalt.

Versuch A. 4 %-ige Formaldehydlösung.

Schon früher ist angeführt worden (p. 27), dass 4 %-ige Formaldehydlösung keinen wesentlichen Einfluss auf die ultramikroskopische Struktur ausübt. Auch H e e s e h, der, wie bereits erwähnt, ganze Augäpfel in diese Lösung gelegt und darauf den Glaskörper herausgenommen und kleinere Stücke desselben im Ultramikroskop untersucht hat, kommt zu diesem Resultat. Dieses steht in guter Übereinstimmung mit der Darstellung, die F i s c h e r (1899, p. 24) über die Formollösungen als »Fixirungs- und Conservirungsmittel» gibt. Bei Benutzung des Erhärtungsgefässes ist es ausserordentlich leicht, im Ultramikroskop die Veränderungen zu bemerken, die eintreten, wenn ein Glaskörperstück der Einwirkung einer solchen Lösung ausgesetzt wird. Ein Glaskörperstück wird mit der Schere ausgeschnitten und in die Küvette gelegt, worauf das Mikroskop so eingestellt wird, dass die Gallertenstruktur deutlich hervortritt. Darauf wird die Lösung mittels der Pipette vorsichtig zugesetzt, so dass keine Verschiebung des Präparates eintritt. Gute 10—15 Minuten lang merkt

man keinerlei Veränderung. Nach und nach tritt eine Zunahme der leuchtenden Körner ein, die die Brownsche Molekularbewegung zeigen, und gleichzeitig, oder beinahe gleichzeitig, beginnt die Lichtstärke der Fäden zuzunehmen. Sie erscheinen bald lichtstärker als im unbehandelten Präparate, und auch die erwähnten Körner werden lichtstärker. Vielleicht bilden auch die Fäden ein lichteres Netz als zu Anfang. Danach hält sich das Präparat eine lange Zeit in einigermassen unverändertem Zustand. Einige gröbere Fäden erscheinen doch allmählich breiter und lichtstärker als die ursprünglichen.

Versuch B. 10 %-ige Formaldehydlösung.

Wird eine 10 %-ige Formaldehydlösung zum selben Versuche verwendet, bemerkt man einige Abweichungen, und der Prozess nimmt einen etwas schnelleren Verlauf. Nach etwa 10 Minuten sieht man ein Lichterwerden des Kegels und gewöhnlich einen leicht diffusen Schleier in seinen peripheren Teilen, während die Anzahl der leuchtenden Körner etwas zunimmt. Gleichzeitig, oder bald darauf, werden die Fäden deutlicher und lichtstärker. Sie erhalten auch eine gewisse Beweglichkeit, was man leicht beobachten kann, wenn man scharf auf einen Faden einstellt und ihn eine Weile betrachtet. Man merkt dann, dass der Faden allmählich in ziemlich kurzer Zeit ganz oder teilweise aus dem Gesichtsfeld verschwindet, während andere Fäden sichtbar werden. Nach weiteren 10—20 Minuten tritt die eine oder andere Gruppe sehr nahe bei einander liegender Fäden hervor. Zwischen diesen Gruppen liegt gewöhnlich ein Gebiet, das keine Fäden enthält. In diesen Fadengruppen beginnt man den einen oder anderen gröberen Lichtstreifen zu bemerken, der durch veränderte Einstellung nicht in zwei oder mehrere dünnere Streifen aufgelöst werden kann, was sonst gewöhnlich der Fall ist. Nach etwa einer Stunde haben die gröberen Streifen zugenommen, und sie beginnen sich in eine Richtung zu ordnen, die nicht immer mit der für die Fäden gewöhnlichen Richtung zusammenfällt, sondern ab und zu auch in der Richtung des Lichtes liegt. Gleichzeitig sieht man auch grosse Mengen dünner Fäden und eine ganze Anzahl beweglicher Körner in den Zwischenräumen zwischen den Fäden. Noch nach 5—6 Stunden ist es nicht ruhig im Präparate, das nun deutlich ein etwas gröberes Fadennetz als das ursprüngliche aufweist, in dem die einzelnen Fäden in allen möglichen Richtungen liegen, während zugleich feinere Fäden zu erkennen sind, deren Richtung mit der ursprünglichen mehr übereinstimmt. Immer noch gibt es eine Anzahl leuchtender Körner, die Beweglichkeit zeigen.

Versuch C. 20 %-ige Formaldehydlösung.

Eine 20 %-ige Formaldehydlösung gibt einen etwas schnelleren Verlauf. In weniger als 10 Minuten zeigt sich ein graulicher Schleier in den peripheren Teilen. Die leuchtenden, beweglichen Körner werden lichtstärker und nehmen etwas an Zahl zu, während das Fadennetz selbst deutlicher wird, und der ganze Lichtkegel vergrösserte Lichtintensität erhält. Die Beweglichkeit im Fadensystem nimmt zu, und man kann eine Tendenz zu Gruppenbildung vermerken, während gleichzeitig die Anzahl der beweglichen Körner wächst. Manchmal sieht man diese Körner sich nur zwischen den Fäden und Fadengruppen bewegen, aber oft auch kann man sie über einen Faden oder eine Fadengruppe hinüberschwingen sehen.

Allmählich erscheint eine Anzahl breiterer Lichtstreifen, und wenn man auch einen Teil derselben in Fadenbündel auflösen kann, so bleiben doch einige zurück, die ihr Aussehen behalten, trotz aller Veränderung der Einstellung des Mikroskopes. Diese gröberen Fäden scheinen ausgefranste, unebene Kanten zu haben, und sie zeigen Beweglichkeit in der Art, dass einerseits gewisse Teile der Fäden flimmern und ihre Lage verändern, andrerseits die Fäden an den Bewegungen des ganzen Fadensystems teilnehmen. Die Richtung dieser Fäden wird in immer höherem Grade von derjenigen des feineren Netzes unabhängig, das noch immer zu sehen ist, obgleich schwächer und vielleicht teilweise von dem Lichte der gröberen Fäden verdeckt. Nach etwa einer Stunde haben die gröberen Fäden an Zahl zugenommen und sind im Präparate sehr deutlich zu sehen. Die Verschleierung der peripheren Teile dauert an, hellt sich aber nach und nach auf. Die gröberen Fäden bilden immer mehr ein Netz, das in allen Richtungen verläuft, und in diesem erblickt man eine spärliche Anzahl dünner, weniger lichtstarker Fäden, die ihre ursprüngliche Richtung beibehalten haben. Die Anzahl der leuchtenden Körner nimmt allmählich ab, aber noch 4—5 Stunden nach dem Beginn des Versuchs sind sie zu sehen. Die groben Fäden dagegen liegen dann still. Sie haben oft ein körniges Aussehen. In den peripheren Teilen des Gesichtsfeldes, wo ab und zu ausser einer Menge leuchtender kleiner Körner noch vereinzelte grössere, äussert lichtstarke Körner hervortreten, wird es allmählich ruhiger, und hier sieht man eine Menge Lichtstreifen, die zusammen die Gestalt von Eisblumen bilden.

Versuch D. 40 %-ige Formaldehydlösung.

Wenn 40 %-ige Formaldehydlösung genommen wird, gehen die Veränderungen noch schneller vor sich, wenn auch dieses Mittel nicht so hastige Veränderungen bewirkt wie pikrinsaure Ammoniumlösungen. Ungefähr 5 Minuten nach Zusatz der Lösung kann man eine Steigerung der

Lichtstärke im ganzen Präparate wahrnehmen. Das ganze Gesichtsfeld nimmt eine grauliche Verschleierung an (Fig. 18), und die Fäden und Körner werden lichtstärker. Die Anzahl der Körner nimmt zu, und sie sind von lebhafter Beweglichkeit. Auch das Fadensystem beginnt sich zu bewegen, und ganze Gruppen verschwinden aus dem Gesichtsfeld, während andere erscheinen. Manchmal nimmt die Zahl der Körner in solchem Masse zu, dass die Fäden nicht mehr zu unterscheiden sind. Gewöhnlich kann man sie jedoch erkennen, und man erblickt dann Fadengruppen, die einander nahe liegen und die manchmal einen kräftigen Lichtstreifen bilden, der nur durch veränderte Einstellung des Mikroskops in schmälere Streifen zerlegt werden kann. Hier und da erscheinen solche Streifen, die nicht zerlegbar sind. Sie sind gebogen und nicht gleichmässig begrenzt. Verschiedene Teile derselben haben ungleiche Lichtstärke. Man kann sehen, wie sie sich krümmen und auch wie sie sich zusammen mit den sie umgebenden Fäden im Gesichtsfeld verschieben, um allmählich ganz zu verschwinden, während andere hervortreten. Bei diesen Bewegungen merkt man sehr wohl, dass punktförmige Teile ein flimmerndes Licht verbreiten. Die Menge dieser Fäden wächst beständig, und sie sind von ungleicher Grösse. Aus der Peripherie dringt allmählich ein mehr diffuses Licht, und dort vermindert sich die Beweglichkeit. Die leuchtenden Körner beginnen an Zahl abzunehmen. Die groben Fäden werden deutlicher. An der Peripherie kann man das Erscheinen einer eisblumenartigen Zeichnung beobachten, die ein kräftiges Licht ausstrahlt. Allmählich hört die Bewegung im Lichtkegel auf, die Fäden liegen still, und die beweglichen Körner verschwinden ganz. Die Fäden, deren Lage in keinem Verhältnis zum einfallenden Lichte steht, weisen oft eine deutlich körnige Beschaffenheit auf. Die Bilder Nr. 24—26 Stellen ein paar Photographien dieser Endstadien dar. Während der Beobachtungszeit, die 1—2 Stunden beansprucht, kann es notwendig sein, den Spalt von 70 μ auf 40—50 μ zu vermindern.

Wird das Präparat auf ein Objektglas gebracht, so kann man im Mikroskop ein Gewirr von Fäden sehen.

Durch langsames Steigern der Stärke der Formaldehydlösung kann man am selben Präparate die Veränderungen verfolgen, die der Glaskörper bei steigendem Prozentgehalt erleidet. Hierbei muss der Flüssigkeitswechsel im Erhärtungsgefäss mit grösster Vorsicht ausgeführt werden, damit das darin befindliche Präparat nicht verschoben wird. Aus dem ursprünglichen Fadennetz, das bei einer 4 %-igen Lösung lichtstärker und etwas dichter mit Verschleierung in den Interstitien und in den peripheren Teilen des Gesichtsfeldes erscheint, entsteht bei circa 10 %-iger Lösung ein merklich gröberes Fadennetz, dessen Fäden zur Einfallsrichtung des Lichts nicht mehr perpendikulär gelegen sind, und das wegen seiner Lichtstärke es zum Teil verhindert, die möglicherweise daneben liegenden feineren Fäden zu sehen. Während der Bildung dieses gröberen Fadennetzes ist die Zahl der erscheinenden flimmernden Körner geringer, wenn der Zusatz der stärkeren Lösung langsam vorsichgeht, als wenn er sprungweise geschieht. Die Bewegungen im Fadennetz durch langsames Erhöhen des Prozentgehalts zu vermeiden, ist nicht gelungen. Mit steigendem Prozentgehalt werden immer mehr gröbere Fäden im Lichtkegel sichtbar, aber die Verschleierung dauert fort. Bei circa 20 % kann man eine Andeutung von Körnigkeit im Fadensystem bemerken, und die Richtung der Fäden ist von dem Licht völlig unabhängig. Allmählich nehmen die leuchtenden Körner an Zahl ab, und es tritt eine gewisse Gleichgewichtslage ein, die jedoch gestört wird, wenn die Stärke der Lösung auf 40 % erhöht wird, selbst wenn diese Steigerung langsam geschieht. Allmählich hört die Beweglichkeit auf, und das körnige Fadennetz, das in allen Richtungen verläuft, tritt deutlich hervor, während die Verschleierung abnimmt.

Versuch E. 3 %-ige Kaliumbichromatlösung.

Ein Stück Glaskörper wird in die Küvette gebracht. Nach Einstellung ist deutliche Struktur zu sehen. Das Erhärtungsgefäss wird angebracht und vorsichtig mit 3 %-iger Kaliumbichromatlösung gefüllt. Das sichtbare Fadennetz fängt allmählich an nebelig und fast verhüllt zu werden. Nach und nach beginnt das Fadennetz deutlicher hervorzutreten, und eine mässige Anzahl stark leuchtender Körner bewegt sich im Gesichtsfeld. Etwa zehn Minuten nach dem Beginne des Versuchs fängt das ganze Gesichtsfeld langsam an lichtstärker, und die einzelnen Fäden stärker lichtabbeugend zu werden. Sie besitzen dasselbe Aussehen wie beim Anfange des Versuchs, eine gesteigerte Beweglichkeit kann jedoch beobachtet werden. Die Lichtstärke nimmt immer mehr zu, aber immer noch bemerkt man eine gewisse Verschleierung des ganzen Gesichtsfeldes. Durch geänderte Einstellung wird keine gesteigerte Deutlichkeit bewirkt. Noch eine halbe Stunde nach dem Anfang des Versuchs kann man die einzelnen Fäden ganz deutlich erkennen, die von der anfänglichen Grössenordnung sind. Versucht man die einzelnen Fäden zu prüfen, findet man, dass sie nicht ruhig liegen. Hier und da sieht man einen langen Faden, der in verschiedenen Teilen verschiedene Lichtstärke zeigt, und bisweilen kann man sehen, wie der lichtstärkere Teil von einer Seite des Gesichtsfeldes nach der anderen wandert. Man hat auch Gelegenheit, naheliegende, einen spitzen Winkel bildende Fäden zu sehen, die sich auf einander zu bewegen und teilweise zusammenschmelzen. Infolge der Beweglichkeit des ganzen Präparates ist es mir nicht möglich gewesen zu beobachten, ob zwei Fäden in ihrer ganzen Länge zusammenschmelzen. Nach weiteren 15—20 Minu-

ten sieht man noch die einzelnen Fäden, aber eine deutliche Neigung zu Gruppenbildung kann verspürt werden. Zwischen diesen Gruppen ist ein breiteres, dunkles Gebiet mit einer ganzen Anzahl stark leuchtender, beweglicher Körner. Mitunder tritt irgend ein lichtstarker Punkt auf, der das Sehen der naheliegenden Teile verhindert. Auch nach mehr als zwei bis drei Stunden ist die Beweglichkeit der Fäden zu bemerken, und zwischen ihnen bewegt sich eine mässige Menge leuchtender Körner. Die Fäden besitzen noch die Neigung zu Bildung von Gruppen, die bei unscharfer Einstellung das Bild grober Lichtstreifen mit dazwischen liegenden dunkleren Zwischenräumen geben. Bei scharfer Einstellung kann das feine Fadennetz, zum grössten Teil wenigstens, beobachtet werden, auch wenn es hier und da unmöglich gewesen ist, einen groben Streifen aufzulösen, der kräftigeres Licht abgibt, und der eine Richtung hat, die nicht immer der der Fäden entspricht. Die Veränderungen in dem Präparate werden danach nicht so ausgeprägt. Sorgt man dafür, dass die Verdunstung von dem Erhärtungsgefäss im möglichsten Masse verhindert wird, so hat man mehrere Tage hindurch Gelegenheit das Präparat zu beobachten. Dabei werden die ganze Zeit hindurch leuchtende Körner beobachtet, die die Brownsche Molekularbewegung zeigen. Die Fadenmenge im Gesichtsfeld hat im Vergleich zu der ursprünglichen abgenommen, statt dessen aber sind die Fäden lichtstärker und von verschiedener Dicke geworden (Fig. 19) und ihre Lage ist im Verhältnis zum Licht variierend. Die verschiedenen Fäden zeigen lichtstärkere, breitere, abgerundete und dazwischen schmälere Stücke. Von diesen lichtstärkeren Teilen der Fäden strahlt ein fast glitzerndes Licht aus.

Versuch F. 1 %-ige Essigsäure.

Frischer Glaskörper wird in die Küvette gebracht. Das Mikroskop wird eingestellt, und die gewöhnliche Normalstruktur tritt deutlich hervor. Das Erhärtungsgefäss wird mit 1 %-iger Essigsäure gefüllt, ohne dass Verschiebung des Präparates erfolgt. Nach einigen Minuten merkt man von der Peripherie aus eine ausgeprägte Verschleierung die ziemlich rasch auch den schmälsten Teil des Lichtkegels ausfüllt, so dass es anfangs schwierig ist, etwas von der Struktur zu unterscheiden. Allmählich fängt das Gesichtsfeld an heller zu werden, wobei eine Andeutung des ursprünglichen Fadensystems flüchtig erscheint. Es ist jedoch unmöglich, einen einzelnen Faden weiter als eine kurze Strecke zu verfolgen. Im hellsten Teil des Lichtkegels wird gesteigerte Beweglichkeit beobachtet. Die Fragmente der Fäden beginnen zu funkeln und erscheinen breiter. Eine Andeutung der quer über das Gesichtsfeld gehenden Streifen mit ein wenig dunkleren Zwischenräumen kann beobachtet werden. Es scheint, als ob der feine Schleier aus unendlich kleinen, beweglichen Körnern bestände, die die Verwischtheit verursachen. Noch nach 20 bis 30 Minuten zeigt das Bild diese Schleierhaftigkeit nebst quer laufenden kürzeren oder längeren Fäden von verschiedener Breite. Die Lichtstärke der Fadenfragmente variiert beständig, so dass man den Eindruck eines glimmenden Lichtes bekommt. Auffallend spärlich treten leuchtende Körner mit Brownscher Molekularbewegung auf. Nach und nach nimmt die Schleierhaftigkeit ab, wobei ein Fadennetz zum Vorschein kommt, wo die einzelnen Fäden von verschiedenem Querschnitt sind und sich nach allen Seiten hin ausdehnen. Die Fäden weisen deutlich markierte Unebenheiten auf, so dass man den Eindruck einer Perlenschnur erhält. Der Schleier des Präparates verschwindet allmählich gänzlich, und nach Verlauf von etwa einer Stunde nimmt nur das deutliche Fadennetz das ganze Gesichtsfeld ein.

Aus den Beobachtungen im Ultramikroskop bezüglich der bei der Erhärtung des Glaskörpers eintretenden Veränderungen kann man trotz der Mannigfaltigkeit der dabei auftretenden Bilder sich eine schematische Darstellung des Verlaufs machen. Zuerst wird eine Schleierhaftigkeit im ganzen Gesichtsfeld, besonders in seinen peripheren Teilen, beobachtet, und gleichzeitig oder kurz danach werden die beweglichen Körner und auch das Fadennetz stärker lichtabbeugend. Das ganze Gesichtsfeld wird heller. Während fortgesetzter Zunahme der leuchtenden Körner fängt das Fadennetz an, gesteigerte Beweglichkeit zu bekommen. Ganze Fadengruppen verschwinden langsam aus dem Gesichtsfeld, während gleichzeitig andere hervorkommen. Die einzelnen Fäden liegen nicht unbeweglich, sondern verändern ihre Lage. Nach und nach merkt man eine Tendenz zur Bildung von Gruppen, wobei eine grössere oder kleinere Anzahl Fäden in einer Gruppe liegen, die mehr oder weniger deutlich von den angrenzenden durch ein dunkleres Interstitium getrennt sind, das der Fäden entbehrt oder nur spärlich Fäden enthält. In diesen Gruppen kommen breite, lichtstärkere Bündel hervor, die anfangs in feinere aufgelöst werden können, die aber allmählich sich nicht auflösen lassen, und deren Lage von dem Licht immer mehr unabhängig wird. Man kann auch sehen, wie ei-

nige Fäden, die einen spitzen Winkel bilden, einander mit den Spitzen berühren und zusammenzuschmelzen scheinen. Infolge der Beweglichkeit kann dieser ganze Akt, wenn die Fäden völlig miteinander in Berührung kommen, nicht beobachtet werden, aber es erhellt aus den verschiedenen Phasen, die beobachtbar sind, dass die gröberen Lichtstreifen dadurch entstehen, dass die dünneren Streifen an einander zu liegen kommen, wodurch also die groben Fäden entstehen. Sie sind von verschiedenem Durchmesser und nehmen an Anzahl zu, während zu gleicher Zeit die Anzahl der feineren Fäden abnimmt, und die Zwischenräume deutlicher und breiter werden. Die gröberen Lichtstreifen sind nicht ganz eben, sondern ab und zu erblickt man in regelmässigen Abständen körnerhafte Anhäufungen, die stärkeres Licht als die übrigen Teile ausstrahlen. Während der Verminderung der Anzahl der beweglichen Körner und der stets abnehmenden Beweglichkeit der Fäden kommt ein deutliches Fadennetz von verschiedener Dikke zum Vorschein, wo die einzelnen Fäden regellos, unabhängig von dem Licht, angeordnet sind.

Die beschriebenen Erhärtungsversuche beziehen sich auf frisches Material, aber Untersuchungen sind auch an Glaskörpern ausgeführt worden, die längere oder kürzere Zeit bei verschiedenen Temperaturen aufbewahrt worden sind. Es hat sich dabei ergeben, dass ein Glaskörper, der so lange bei Zimmertemperatur gelegen hat, dass beträchtliche Alterungsvorgänge eingetreten sind, die es kaum möglich machen, Spuren der ursprünglichen Struktur zu entdecken und, nur leuchtende, bewegliche Körner und gröbere Fäden zeigt, als Endresultat bei der Erhärtung ein Fadennetz gibt, das mit den eben beschriebenen fast übereinstimmt. Die Erhärtung geschieht bedeutend schneller, aber einige Einzelheiten sind oft sehr schwierig zu beobachten infolge des Gewimmels leuchtender, beweglicher Körner, die das Sehen alles Übrigen fast verhindern. Wenn die Bewegung abgenommen hat, kommt das Fadennetz hervor, und die einzelnen Fäden liegen regellos im Lichtkegel und sind oft mit Körnern versehen. Ein im Eisschrank aufbewahrter Glaskörper gibt dasselbe Endresultat, bei der Erhärtung aber werden die Beobachtungen von einer sehr deutlichen Verwischtheit gestört.

Wird ein Glaskörperstück, das man zu Eis gefrieren und danach auftauen liess, erhärtet, so wird das Endergebnis nun auch dasselbe.

Die Erhärtungsversuche zeigen demnach, dass die ultramikroskopische Struktur des Glaskörpers nicht unverändert bleibt, wenn der Glaskörper der Einwirkung der Erhärtungsflüssigkeiten ausgesetzt wird. Ein typisches Beispiel dafür bilden die Veränderungen, die beobachtet werden können, wenn Erhärtung und Färbung nach der von K u b i k angegebenen Methode ausgeführt werden. Die übrigen Versuche heben auch den grossen Unterschied deutlich hervor, der zwischen den im Ultramikroskope sichtbaren Bildern eines unbehandelten Glaskörpers und denen eines in Erhärtungsflüssigkeiten behandelten besteht. Lichtstärkere Fäden kommen zum Vorschein, die verschiedene Durchmesser zeigen. Sie sind nicht nur dann sichtbar, wenn sie eine bestimmte Lage im Verhältnis zu dem einfallenden Licht einnehmen, sondern sie treten bald von der Einfallsrichtung des Lichtes völlig unabhängig hervor. Während dieser Zeit verschwindet das anfangs sichtbare Fadennetz, oder es nimmt ab. Nach den Bildern zu urteilen, scheinen die groben Fäden aus den dünneren durch Zusammenbacken zu entstehen. Es ist infolge der Beweglichkeit nicht möglich gewesen, den ganzen Vorgang, wenn dies geschieht, zu sehen, aber ab und zu kann man beobachten, dass nahegelegene feine Fäden in gewisser Ausdehnung mit einander in Berührung kommen. An verschiedenen Stellen in dem Präparate kann man die verschiedenen Phasen dieses Aktes beobachten. *Das Endresultat ist ein gröberes Fadennetz, das mit dem ursprünglichen Gel nicht identisch ist. Bei der Entstehung dieses gröberen Fadennetzes bildet das ultramikroskopische Fadennetz nur das Baumaterial.*

Wie früher erwähnt, sind die Untersuchungen mit dem Cornealmikroskop und der Spaltlampe bis auf den Glaskörper ausgedehnt worden, und nicht nur seine vorderen, sondern auch seine hinteren Teile sind dabei Gegenstand der Untersuchung geworden. Bei den Erhärtungsversuchen ist Zeiss' Cornealmikroskop zur Anwendung gekommen, wobei das Doppelobjektiv a3 und das Okularpaar 4 benutzt worden sind, die nach Angabe der Firma 61-fache Vergrösserung liefern. Nach dem Entfernen der Cornea, der Iris und der Linse ist ein Auge auf eine Unterlage, beispielsweise auf einen Ring, gebracht worden, so dass es möglich war, den Glaskörper im Cornealmikroskope zu beobachten. Der Glaskörper hat dabei aus dem geöffneten Augapfel vorgebuchtet, aber man braucht keinen Glaskörperverlust zu befürchten, wenn nötige Vorsicht beobachtet wird. Im Cornealmikroskop hat man dabei nur einen »Lichtweg» beobachten können. Irgend eine Andeutung der Fadenlamellen, die man bei der Untersuchung lebender Augen bei stark dilatierter Pupille finden kann, habe ich nicht beobachten können. Der in obenerwähnter Weise geöffnete Augapfel mit dem Glaskörper ist nachher in 10 %-ige oder 20 %-ige Formaldehydlösung hineingelegt worden und während eines oder zweier Tage darin liegen geblieben. Der Augapfel ist danach auf eine Unterlage montiert worden, so dass die Untersuchung im Cornealmikroskop wie früher hat geschehen können. Hierbei ist es leicht zu beobachten, dass Veränderungen eingetreten sind. Ohne Schwierigkeit kann man eine Menge oft perlenschnurartiger Fäden sehen, die den Glaskörper in verschiedenen Richtungen durchsetzen, und die an die üblichen Bilder der mikroskopischen Schnitte erinnern. Der Glaskörper wird bei der Anwendung von Formaldehydlösung nur unbedeutend getrübt, und die Beobachtungen sind sehr leicht auszuführen.

Um Vergleichsverhältnisse zu bekommen, hat Baurmann einige andere bekannte und genau studierte Gele gesucht. Er fand in den von Zsigmondy und Bachmann, 1912, beschriebenen Oleaten, Palmitaten und Stearaten einige mit den Verhältnissen des Glaskörpers analoge Verhältnisse. Sie besassen eine Fadenstruktur, die aus den Bildern (p. 152) schön hervorgeht. Aber während diese Struktur hervortritt, wenn bei gewissen Temperaturverhältnissen das Hydrosol in Hydrogel übergeht, bildet die Struktur des Glaskörpers ein Permanentverhältnis, so lange der Glaskörper im Augapfel unter physiologischen Verhältnissen bleibt. Nach dem Herausnehmen aus dem Auge kann die Struktur des Glaskörpers durch chemische Mittel und spontan durch die Alterungsvorgänge verändert werden. Später sind dieselben Gallerten Gegenstand der Untersuchungen von W. F. Darke, J. W. Mc Bain und C. S. Salmon 1921 geworden, die die früheren Untersuchungen bestätigten. Ich habe mir erlaubt, das ihrer Darstellung zugehörige Bild Nr 4 zu reproduzieren — Fig. 21 — weil dies sich in einer ausserordentlich auffallenden Weise mit denjenigen Bildern deckt, die hervortreten, wenn der Glaskörper der Erhärtung unterzogen wird. Man erblickt hier das Bild eines Fadensystems, wo die Fäden in verschiedenen Richtungen und in verschiedenen Niveaus liegen. Die einzelnen Fäden sind nicht eben, sondern mit Körnern versehen, die in regelmässigen Abständen liegen. Meine photographischen Aufnahmen (Fig. 24—26) von erhärtetem Glaskörper zeigen eine ziemlich ausgesprochene Ähnlichkeit mit der reproduzierten Natriumstearatgallerte, und diese zeigt eine ganz bestimmte Ähnlichkeit, um nicht Kongruenz zu sagen, mit einigen histologischen Bildern, z. B. Bild. 6, Taf. XXVIII bei Retzius (1894), das hier im Negativ wiedergegeben ist (Fig. 20).

Indessen sind es nicht nur die Seifengallerten, bei denen diese Neigung zu Fadennetzbildung auftritt. Sie ist auch bei anderen Gallerten vorhanden. Ein besonders gutes Beispiel findet man in den Verhältnissen des Fibrins, das in noch höherem Grade zu der Glaskörpergallerte eine Parallele bilden kann, weshalb es mir angemessen erschien, hier eine kurze Beschreibung davon zu liefern.

Nach umfassenden Untersuchungen hat E. Hekma (1916) das Fibrinogen als ein Alkalihydrosol des Fibrins und die Gerinnung als eine Koagulation dieses Sols betrachtet. Er hat im Ultramikroskop die Gerinnung der Fibrinlösungen verfolgt, und hat dabei beobachten können, dass in dem anfangs optisch leeren Dunkelfeld feine, langgestreckte, nadelförmige Elemente hervorkommen, die Neigung besitzen, sich teils in Längsrichtung in Einzelreihen und teils zu Gebilden von gröberem Querdurchmesser anzuordnen. Er schreibt (1916, p. 388): »Obwohl die feinen Nädelchen die ausgesprochene Neigung besitzen, sich in Längsrichtung zu Einzelreihen anzuordnen, so bauen die Nädelchen sich daneben doch auch zu Gebilden von grösserem Querdurchmesser auf, indem eine grössere Anzahl von Nädelchen sich teilweise der Länge nach an- und teilweise gegeneinander legt und verschmilzt». Ein Maschenwerk entsteht, das in der Flüssigkeit Beweglichkeit besitzt. »Dabei werden die Maschen immer enger und mehr in der Länge gestreckt, bis schliesslich hier und da die Nädelchen ganz aneinanderschliessen, mit der Folge, dass an solchen Stellen Nadelbündel entstehen, die zu Fäserchen verschmelzen bzw. verkleben können, was naturgemäss eine Verringerung der Maschenzahl mit sich bringt» (p. 389). Diese Fibrinfäserchen können sich auf allerlei Weise anordnen »und zu der Bildung von spinnengeweheartigen Maschen und Netzen, von gröberen und feineren Fäden (die an sich wieder Maschen und Netze bilden können), von Fasern, Strängen, Bändern, Häuten bzw. Membranen, Röhren, Blasen, Schollen, Flocken, Gallerten bzw. Kuchen usw. Veranlassung geben, je nach den Umständen, unter denen die Fibrinausscheidung bzw. Gelbildung bzw. »Gerinnung» stattfindet. Alle diese morphologisch scheinbar verschiedenen »Gerinnungsformen» des Fibrins besitzen im Grunde dieselbe Struktur und Entwicklungsgeschichte. Sie sind, wie erwähnt, sämtlich aufgebaut aus einer Unmasse von länglichen Mikronen und Ultramikronen. Jedes Gelfibrin, in welcher Form es auch erscheinen mag, besitzt somit einen einheitlichen strukturellen Bau» (p. 425).

In diesem Zusammenhang ist es von Interesse zu erfahren, dass auch anorganische kolloide Lösungen im Ultramikroskope Bilder zeigen können, die mit denjenigen übereinstimmen, die Hekma bezüglich der Fibrinlösungen beschrieben hat. H. Diesselhorst und H. Freundlich (1916, p. 47 ff) haben gefunden, dass das Sol des Vanadinpentoxyds sich auf dieselbe Weise wie Fibrinlösung verhält. »Kurzum, man kann diese Beschreibung von Hekma nicht durchlesen, ohne dass man Punkt für Punkt an das Bild V_2O_5-sols unter dem Ultramikroskop und an seine Koagulation gemahnt wird.»

Das Verhältnis mit dem Fibrin zeigt eine auffallend gute Übereinstimmung mit dem Glaskörper, und bei dem Durchlesen der grossen Möglichkeiten zu wechselnden Gebilden, die Hekma hat aufweisen können, und die er mit den oben zitierten Zeilen beschreibt, erhält man fast eine kurze Rekapitulation der Auffassungen über den Bau des Glaskörpers in den vergangenen Zeiten. Alle diese verschiedenen Gerinnungsformen beziehen sich auf einen einheitlichen strukturellen Bau, trotz dieser Probenkarte an abwechslungsreichen Formen. Wenn das Vanadinpentoxyd und die Seifengallerten dasselbe Verhältnis aufweisen, geht daraus mit voller Deutlichkeit hervor, dass es nicht etwas für den Glaskörper Spezifisches ist, Neigung zu Fadennetzbildung zu besitzen.

Wie aus dem Geschichtlichen (p. 9) hervorgeht, sind die auf den Fäden liegenden Körner Gegenstand eines grossen Interesses gewesen. Man hat sie als Niederschläge, optische Querschnitte und als Knotenpunkte, oder auch als Verdickungen der Fäden betrachtet. Sichere Klarheit darüber ist trotz der vielen Arbeit, die man ihrer Erforschung gewidmet hat, nicht gewonnen. Diese körnigen Fäden findet man gewöhnlich, wenn die Erhärtung im Ultramikroskop erfolgt, was ganz deutlich aus meinen Photographien (Fig. 24—26) und Zeichnung (Fig. 19) er-

sichtlich ist. Es scheint mir offenbar, dass sie Niederschlagsprodukte sind, und sie entstehen infolge der Einwirkung der Erhärtungsflüssigkeiten. Äusserst bemerkenswert ist das Verhältnis, dass dieselben kornförmigen Anhäufungen auch in Natriumstearatgallerten entstehen. Darke, McBain und Salmon schreiben (1921, p. 402): »— — the fibres are frequently »beaded» in appearance». Das Bild Nr 21 gibt eine ausserordentliche Illustration zu ihrer Beschreibung, und seine grosse Ähnlichkeit mit dem nach Retzius wiedergegebenen Bild ist früher hervorgehoben worden. Die zitierten Verfasser haben sich als Erklärung die Möglichkeit gedacht, dass die Fäden von anderen feinen Fasern gekreuzt werden, oder auch, dass die Fäden eine Spiralform haben, betonen aber, dass dies vielleicht keine korrekte Erklärung sei, und sind auch der Meinung, dass die Körner von Partikelchen verursacht seien, die an den Fäden fixiert sind.

Die Erklärungen dieses Verhältnisses wechseln, weshalb es berechtigt scheint an eine gleichartige Erscheinung zu erinnern. Nach C. V. Boys weisen die Spinnengewebefäden etwas Gleichartiges auf. »The threads that go round and round are beaded» (1889, p. 250). Eine ältere Ansicht war die, dass die Spinne, nachdem sie das Netz gesponnen hat, auf dem Netz umherwandert, »and places these beads there afterwards». Boys fand dies unsinnig, weil die Körneranzahl eines in einer Stunde gesponnenen Netzes auf etwa 360 000 geschätzt wurde, d. h. die Spinne sollte in jeder Sekunde 100 Körner placiert haben, und er sucht die Entstehung der Körner in der folgenden Weise zu erklären: Wenn der Faden gesponnen wird, lässt die Spinne gleichzeitig eine Flüssigkeit ausströmen, die den Faden in Form eines Zylinders umgibt. Da ein solcher Flüssigkeitszylinder nach Untersuchungen von Plateau (vgl. O. Chwolson, Bd. I, p. 575) nicht bestehen kann, wenn seine Länge π mal grösser als der Querdurchmesser ist, zerfällt er in eine Reihe von Kugeln, die physikalischen Gesetzen gehorchen, was die Regelmässigkeit erklärt.

Vielleicht dürfte die Entstehung der Körner der erhärteten Glaskörperfäden in derselben Weise, wie die der Körner der Spinnengewebefäden, erklärt werden.

Wie früher erwähnt, haben auch Baurmann und Thiessen (Kap. VI, p. 37) die Entstehung der bei Alterungsvorgängen beobachteten Körner durch Einwirkung der Oberflächenspannung zu erklären versucht, welche Erklärung mit der obigen im Einklang steht.

Aus den gemachten Untersuchungen erhellt, dass die Erhärtungsflüssigkeiten die im Ultramikroskope sichtbare Gallertenstruktur nicht unberührt lassen, sondern ein Zusammenbacken dieser Struktur zu gröberen Aggregaten bewirken. Erhärtung und Färbung nach der von Kubik angegebenen Methode geben deutlich ein Endresultat in der Form körniger Fäden, die von anderen Grössenmassen und von einer ganz andersartigen Form als die Gallertenstruktur des unbehandelten Glaskörpers sind. Dasselbe Verhältnis besteht auch, wenn der Glaskörper mit einigen anderen Erhärtungsflüssigkeiten behandelt wird.

Dieses gröbere, zuweilen körnige Fadennetz scheint von den Erhärtungsflüssigkeiten durch Zusammenbacken der ultramikroskopischen Fäden bewirkt zu sein, von welchem Akt man in dem Ultramikroskope verschiedene Entwicklungsphasen beobachten kann.

Auch in dem Cornealmikroskope tritt der deutlich erkennbare Unterschied zwischen unbehandeltem und gehärtetem Glaskörper hervor.

Die bei der Erhärtung des Glaskörpers auftretenden Koagulationsprodukte zeigen eine auffallende Ähnlichkeit, nicht nur mit denen der Seifengallerten, sondern auch mit denen des Fibrins und des Vanadinpentoxyds.

Die Körner an den Fäden könnten vielleicht als in Zusammenhang mit einer rein physikalischen Erscheinung stehend erklärt werden, ähnlich wie die Körner an den Spinnengewebefäden.

IX. Der menschliche Glaskörper.

Das Material der ausgeführten Untersuchungen bildeten, wie schon erwähnt wurde, im allgemeinen Augen von Rind, Pferd und Schwein. Im Hinblick auf die völlige Gleichheit, die zwischen Glaskörpern von diesen Augen und Menschenaugen makroskopisch besteht, und auf die gute Übereinstimmung, die sich auch in den histologischen Präparaten zeigt, ist man von vornherein zu der Annahme geneigt, dass der menschliche Glaskörper auf dieselbe Weise aufgebaut ist wie diese und im Ultramikroskop Gelstruktur aufweisen muss. Heesch (1929, p. 696) glaubt auch, dass man berechtigt ist, »die an Tieraugen gewonnenen Resultate auf den Glaskörper des Menschenauges zu übertragen». Er macht hierbei darauf aufmerksam, dass Baurmann Untersuchungen an Menschenaugen gemacht und dabei die feine ultramikroskopische Fadenstruktur gefunden hat. Ein eingehenderes Studium scheint jedoch nicht ausgeführt worden zu sein. Baurmann (1923, p. 363) spricht vom »ultramikroskopischen Bild des Rinder- und Menschen-Glaskörpers» und 1926 (p. 311) untersucht er ein paar Kinderaugen. Er benutzte dabei Spaltultramikroskop und Glaskammer und fand »die gleiche Mannigfaltigkeit der Glaskörperbilder» wieder, die er mit derselben Untersuchungsmethode an den Glaskörpern der Rinderaugen gefunden hatte.

Eine völlig durchgeführte Untersuchung der Glaskörperstruktur des Menschenauges im Immersions-Spalt-Ultramikroskop hat also nicht stattgefunden, und da eine solche Untersuchung zweifellos von Bedeutung ist, so ist es mir wichtig erschienen, sie auszuführen. Ich habe es mir angelegen sein lassen nur völlig normale Augen von Patienten, die an interkurrenten Krankheiten gestorben waren, als Material zu verwerten. Zu diesem Zwecke sind im ganzen 25 Augen von Menschen verschiedenen Alters untersucht worden. Im Ultramikroskop hat bei diesen Untersuchungen stets die in Kapitel IV beschriebene Struktur beobachtet werden können. Ein Unterschied hat nicht vorgelegen. Das ausserordentlich feine Fadennetz mit seinen schwach asbestglänzenden Fäden stimmt mit den Bildern überein, die bei der Untersuchung von Rinderaugen erhalten werden. Möglicherweise könnte man die Bemerkung hinzufügen, dass die Fäden vielleicht noch dünner erscheinen. Aufklärung hierüber geben die Bilder 10 u. 11, die nach Präparaten eines vollkommen gesunden Auges gezeichnet sind, das unmittelbar nach dem Tode herausgeschnitten wurde (Königl. Akad. Krankenhaus, Abt. für Lungenkr., Journal Nr. 98/1930), sowie auch die Bilder 12—15, die nach Material gezeichnet sind, das durch Enukleation erhalten wurde (Königl. Akad. Krankenhaus, Chir. Abt. Journal Nr. 308/1931).

Irgend eine Andeutung einer Fadenstruktur von mikroskopischen Ausmassen hat im menschlichen Glaskörper ebenso wenig beobachtet werden können, wie bei den früher beschriebenen Rinderaugenuntersuchungen. Ab und zu sieht man eine oder die andre kräftig leuchtende Sonne, die die umgebenden Gebiete völlig verdeckt, so dass es nicht möglich ist die Fadenstruktur zu sehen. Inwiefern es sich in diesen Fällen um Zellenelemente oder um ev. Verunreinigungen handelt, mag dahingestellt bleiben. Aus den histologischen Bildern geht das Vorkommen von Zellenelementen im Glaskörper hervor, und es dürfte sehr wahrscheinlich sein, dass es sich hier, wenigstens in den meisten Fällen, um Zellen handelt.

Auch die Variationen hinsichtlich der Strukturdichte stimmen mit den an Tieraugen beobachteten überein. In zentralen Teilen des Glaskörpers befindet sich eine etwas lockrere Struktur, wo die Fäden einander in mehr oder weniger spitzem Winkel schneiden (Fig. 10 u. 11). Nach der Peripherie zu wird die Struktur ein wenig dichter (Fig. 12), an

die Übergangsstruktur erinnernd. In den vorderen Teilen des Glaskörpers zur Fossa patellaris (Fig. 13) und zum Corpus ciliare (Fig. 14) hin, tritt eine mehr parallelgeordnete Struktur hervor, und so auch am Äquator (Fig. 15). Es ist ersichtlich, dass die Dichteverhältnisse im menschlichen Glaskörper eine sehr gute Übereinstimmung mit denjenigen des Rinderaugenglaskörpers aufweisen, und man hat auch keine Veranlassung, etwas anderes zu erwarten.

Auch inbezug auf die Alterungsveränderungen decken sich die bei den Untersuchungen am menschlichen Glaskörper gemachten Beobachtungen mit den in Kapitel VI beschriebenen. Einige Stunden nach dem Tode bemerkt man eine Zunahme der leuchtenden Körner, und allmählich sieht man die gröberen, ungleichmässigen Fäden hervortreten. Die Zeit, die für das Zustandekommen dieser Veränderungen nötig ist, hängt von der Temperatur ab, bei der die Leiche, und nach der Enukleation das Auge selbst, aufbewahrt wird. Dank besonderen Umständen habe ich die Möglichkeit gehabt, Augen unmittelbar nach der Enukleation zu untersuchen. Dabei habe ich beobachten können, dass die leuchtenden Körner, die die Brownsche Molekularbewegung zeigen, ziemlich spärlich vorkommen, und dass ihre Zunahme in derselben Weise vorsichgeht wie bei den Rinderaugen. Zumeist habe ich Augen einige Stunden nach dem Tode untersuchen können, und dabei sind die Befunde verschieden gewesen, mit mehr oder weniger stark ausgesprochenen Veränderungen. Es hat sich dabei erwiesen, dass die Veränderungen geringer waren, wenn die Aussentemperatur niedrig, als wenn sie höher gewesen war. Augen, die im Eisschrank verwahrt wurden, haben im Ultramikroskop dieselben Bilder ergeben, die für Rinderaugen beschrieben wurden, mit einigem Blasserwerden des Fadennetzes und dem Erscheinen eines grauweissen Schleiers in den Interstitien.

Ausgeführte Erhärtungsversuche ergaben ebenfalls ganz dieselben Resultate, wie die an Glaskörpern von Rinderaugen vorgenommenen. Das Endresultat ist ein gröberes Fadennetz, in dem die Fäden völlig unabhängig vom Licht unregelmässig angeordnet sind, und bei dem die Fäden oft ungleichmässig sind und deutliche Körnigkeit aufweisen. Werden Erhärtung und Färbung nach Kubiks Vorschriften unter Verwendung des Glaskörpers des menschlichen Auges vorgenommen, so erhält man genau dieselben Resultate, wie bei den in Kap. VIII beschriebenen Versuchen.

Wird der Glaskörper von Glaukomaugen untersucht, so findet man einige Abweichungen von dem, was am gesunden Auge zu finden ist. Der Glaskörper hat bei ersteren eine veränderte Konsistenz. Die knorpelige Konsistenz hat sich verändert, und der Glaskörper ist mehr schleimig geworden, so dass man mit der Pinzette einen Fetzen emporheben kann, der sich wie Leim oder Gummi zieht.

Im Ultramikroskop sieht man das normale Fadennetz, nur spärlicher und undichter. Hier und da sieht man einen gröberen Faden, oft recht kurz und schwach gebogen. Über das Gesichtsfeld verstreut sieht man eine ziemlich grosse Menge leuchtender Körner von verschiedenen Grössen, die beinahe still liegen. Proben von vorderen Teilen und von Gebieten des Corpus ciliare zeigen im allgemeinen feine Fäden länger, als dies in Proben von den zentralen Teilen der Fall ist. Fig. 16 u. 17, die nach Material aus der hiesigen Augenklinik (Journal Nr. 380/1930) gezeichnet sind, geben eine Vorstellung vom ultramikroskopischen Bilde. Auf gewissen Stellen kann man beobachten, dass die Körner das feine Fadennetz berühren, entweder so, dass einige Fäden an ein Korn zu stossen scheinen, oder auch so, dass ein Korn an einem Faden liegt. Auf manchen Stellen ist es unmöglich, einen Faden die Körner berühren zu sehen. Ob also die Körner völlig unabhängig vom Fadennetz daliegen, oder möglicherweise doch mit Fäden in Berührung sind, die entweder wegen der Lichtstärke der Körner nicht sichtbar sind, oder einen Azimutwinkel haben, der es unmöglich macht sie zu sehen, hat nicht entschieden werden können.

Es scheint, dass das Fadensystem nebst den Körnern eine labilere Gleichgewichtslage hat als im gesunden Glaskörper. Ganze Gruppen von Körnern und Fäden bewegen sich langsam im Präparate, und gleichzeitig ändert sich der Abstand zwischen ihnen.

Wird der Glaskörper mit beispielsweise 20 %-iger Formaldehydlösung fixiert, ist das Endresultat ein ausgeprägt körniges Fadennetz von mikroskopischem Grössenmass, während in den peripheren Teilen des Gesichtsfeldes körnige, eisblumenartige Gebilde erscheinen.

Den Glaskörper von Fötusaugen zu untersuchen hatte ich im ganzen in 11 Fällen Gelegenheit, 3 Fälle vom 5., 4 Fälle vom 6. und 4 Fälle vom 7. Monat, wobei für die ultramikroskopische Untersuchung beide Augen enukleiert wurden. Der Glaskörper wurde durch den Äquatorialschnitt aus dem kleinen Augapfel genommen, wobei die Linse und ein dünner Pigmentskranz, der Ora serrata entsprechend, an dem leicht herauszunehmenden Glaskörper hängen bleiben. Letzterer ist kristallklar und von schwach körniger Konsistenz.

Im Ultramikroskop sieht man deutlich das gewöhnliche ultramikroskopische Bild von zu einem Netz geordneten Fäden, die entweder schwach, oder aber stark ausgesprochene Parallelrichtung haben. Zu bestimmen, wo der eine, und wo der andere Typus vorherrscht, hat Schwierigkeit bereitet. Die relativ geringe Glaskörpermenge gibt nicht die Möglichkeit mehr als einige wenige Proben zu untersuchen, und festzustellen, ob der untersuchte Teil zentralen Gebieten oder der Oberfläche zugehört, ist oft schwierig. Es scheint jedoch, dass das Fadennetz im grossen und ganzen eine ausgeprägtere Parallelrichtung aufweist, als bei dem Glaskörper Erwachsener gewöhnlich der Fall ist. Die Zwischenräume zwischen den Fäden sind auffallend grau im Vergleich zu denjenigen, die man bei Erwachsenen antrifft. Körner, die die Brownsche Molekularbewegung aufweisen, kann man jedoch nicht erkennen, wenn die Untersuchung früh genug gemacht wird. Hier und da kann man im Gesichtsfeld leuchtende Sonnen sehen, die alles verdecken, weshalb die Lage des Präparats geändert werden muss, damit die Untersuchung vor sich gehen kann.

Was die Alterungsveränderungen anbetrifft, so scheinen auch in den Glaskörpern dieser Augen dieselben Verhältnisse zu herrschen. Allmählich kommen leuchtende Körner, die die Brownsche Molekularbewegung zeigen, zum Vorschein, und sie nehmen an Zahl zu. Das ursprüngliche Fadennetz verblasst, und gröbere, körnige Fäden werden sichtbar, deren Lage von dem Licht unabhängig zu sein scheint. Diese Fäden, wie auch die ursprünglichen, zeigen eine zunehmende Beweglichkeit, während gleichzeitig die ursprünglichen Fäden immer weniger sichtbar werden und schliesslich ganz verschwinden.

Auch die Erhärtungsversuche geben dasselbe Resultat, das man bei Verwendung von Rinderaugenmaterial erhält. Das Endresultat ist ein grobes Fadennetz, dessen Fäden verschiedene Richtungen haben und in verschiedenen Ebenen liegen, ganz unabhängig von der Einfallsrichtung des Lichts. Die Fäden zeigen eine mehr oder weniger perlenschnurähnliche Gestalt.

Baurmann (1923, p. 358) beschreibt einige interessante Versuche, bei welchen Glaskörper in ein dünnes Glasrohr aufgesogen wurde, das mit Papierkugeln geschlossen und darauf in eine fällende Flüssigkeit gelegt wurde. Dabei bemerkte er, dass aus dem Glaskörper ein fädiges Gebilde entstand, das sowohl an den kleinen Papierkugeln als auch an der Röhrenwand mit kegelförmiger Verbreiterung ansetzt. Er weist darauf hin, dass diese Versuche die Neigung und Fähigkeit der bei der Fällung entstehenden Fäden zeigen, sich an ganz verschiedenen, begrenzenden Stoffen festzuhalten, und dass die dabei entstehende Form durchaus den von Tornatola, Rabl, Fischel und Lenhossék beschriebenen Ansätzen der Glaskörperfasern an Retina, resp. Linse, entspricht. Es ist daher nicht angängig, aus dem Vorhandensein dieser Basalkegel einen ge-

netischen Zusammenhang der entsprechenden Teile für sicher zu erklären.

Die ultramikroskopischen Untersuchungen haben gezeigt, dass »das klare Endziel» (vgl. p. 10) für die embryologischen Untersuchungen von ganz anderer Art ist, als was Virchow als bewiesen erachtete. Baurmanns beschriebene Beobachtung betreffs der Eigenschaft des Glaskörpers, bei Zusatz von fällenden Flüssigkeiten kegelförmige Verbreiterungen an begrenzenden Stoffen zu bilden, erweckt Zweifel an der Bedeutung der Basalkegelchen in der Embryologie des Glaskörpers, und meine Untersuchungen an Fötusaugen zeigen, dass der Glaskörper, wenigstens vom 5. Monate an, Gelstruktur hat. Diese Umstände sollten vielleicht bei embryologischen Untersuchungen in Betracht gezogen werden.

Die Untersuchungen haben demnach gezeigt, dass der Glaskörper des menschlichen Auges im Ultramikroskop dieselbe Gelstruktur aufweist, die bei der Untersuchung von Rinderaugen beobachtet werden kann. Auch hinsichtlich der Strukturdichte herrscht dasselbe Verhältnis, ebenso wie auch betreffs der Alterungsveränderungen. Die Erhärtungsversuche geben genau den gleichen Verlauf und dasselbe Endresultat, wie die an dem Glaskörper von Rinderaugen ausgeführten Versuche.

Der Glaskörper von Glaukomaugen unterscheidet sich im Ultramikroskop vom gesunden Glaskörper durch undichteres Fadensystem und das Auftreten grösserer und kleinerer leuchtender Körner, die keine bemerkbare Beweglichkeit zeigen.

Fötusaugen vom 5. bis 7. Monat haben bei der Untersuchung im Ultramikroskop Gelstruktur gezeigt, die betreffs der Alterungsveränderungen und ihres Verhaltens zu Erhärtungsflüssigkeiten dieselben Eigenschaften aufwiesen wie die Glaskörper älterer Personen.

X. Ergebnisse.

1. Die ultramikroskopischen Untersuchungen haben die Befindlichkeit der von Baurmann u. a. beschriebenen Gallertenstruktur des Glaskörpers bestätigt.

2. Die Auffassung, dass ausser dieser Gallertenstruktur im Ultramikroskop auch mikroskopische Struktur beobachtet werden könne, hat sich nicht bestätigt.

3. Die Ansicht, dass die Gallertenstruktur ein durch Einwirkung des Lichtes hervorgerufenes Kunstprodukt sei, ist unrichtig.

4. Die Gallertenstruktur des Glaskörpers zeigt ungleiche Dichte, mit einer undichteren, netzförmig angeordneten Zentralstruktur, die den grössten Teil des Glaskörpers einnimmt, und einer peripheren, dichteren Parallelstruktur, namentlich nach vorn und nach dem Corpus ciliare zu, sowie eine dazwischenliegende Übergangsstruktur.

5. Alterungsvorgänge treten mit wechselnder Schnelligkeit und auf etwas verschiedene Weise bei verschiedenen Temperaturen auf. Flüssigkeitsverlust beschleunigt die Alterungsvorgänge.

6. Die Erhärtungsflüssigkeiten sind nicht ohne Einfluss auf die Gallertenstruktur. Die histologische Struktur entsteht, von diesen Flüssigkeiten verursacht, durch Zusammenbackung des Fadennetzes zu gröberen Aggregaten.

7. Die Koagulationsprodukte bei der Fixierung des Glaskörpers zeigen auffallende Ähnlichkeit sowohl mit Seifengallerten als auch mit Fibrin- und Vanadinpentoxydgel.

8. Der Glaskörper des Menschen zeigt im Ultramikroskop in der Hauptsache dasselbe Verhältnis wie der Glaskörper der Rinderaugen.

9. Menschliche Fötenaugen von 5. bis 7. Mon. weisen ebenfalls Gelstruktur auf mit denselben Eigenschaften betreffs der Alterungsvorgänge und betreffs ihres Verhaltens den Fixierungsflüssigkeiten gegenüber wie der Glaskörper älterer Augen.

Verzeichnis der zitierten Literatur.[1])

Arnold, F. (1832): Anatomische und physiologische Untersuchungen über das Auge des Menschen. Heidelberg u. Leipzig.

Bach, L. u. Seefelder, R. (1911—1914): Atlas z. Entw.-Gesch. d. menschlichen Auges. Leipzig u. Berlin. (Zit. nach Jokl.)

Baurmann, M. (1923): Untersuchungen über die Struktur des Glaskörpers bei Säugetieren. Arch. f. Ophth. Bd. 111.

— — (1926): Über die Beziehungen der ultramikroskopischen Glaskörperstruktur zu den Spaltlampenbefunden. Arch. f. Ophth. Bd. 117.

— — u. Thiessen, A. (1922): Die Struktur im Glaskörper des Auges. Nachrichten von der Königl. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen.

Blix, C. A. (1868): Studier över glaskroppen. Medicinskt archiv. Tredje bandet. Tilläggshäfte.

Bowman, W. (1849): Observations on the structure of the vitreous humor. Lectures on the parts concerned in the operations on the eye. London.

Boys, C. V. (1889): Quartz-fibres. Nature (engl.) 40.

Brücke, E. (1843): Ueber den inneren Bau des Glaskörpers. Arch. f. Anat., Phys. u. wiss. Med.

— — (1845): Nachträgliche Bemerkungen über den inneren Bau des Glaskörpers. Arch. f. Anat., Phys. u. wiss. Med.

— — (1847): Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin.

Chwolson, O. (1902): Lehrbuch der Physik. I. Bd. Braunschweig.

Ciaccio, G. V. (1868): Beobachtungen über den innern Bau des Glaskörpers im Auge des Menschen und der Wirbelthiere im Allgemeinen. Unters. z. Naturlehre d. Menschen u. der Thiere, herausg. v. Moleschott. Bd. 10, 1870.

Cirincione, G. (1903): Ueber die Genese des Glaskörpers bei Wirbeltieren. Verh. d. anat. Ges., 17. Vers. in Heidelberg.

Cohnheim, O. (1900): Chemie der Eiweisskörper. Braunschweig.

Comberg, W. (1924): Beobachtungen am Glaskörper. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Bd. 72.

Darke, W., McBain, J. u. Salmon, C. (1921): The Ultramicroscopic Structure of Soaps. Proceedings of the Royal Society of London. Vol. XCVIII. Ser. A.

Dejean, Ch. (1923): Origine du corps vitré et de la zonule. C. R. Acad. des Sciences. Tome 177.

Demours, P. (1741): Observation anatomique sur la structure cellulaire du corps vitré. Mém. de Paris. (Zit. n. Schwalbe).

Diesselhorst H. u. Freundlich, H. (1916): Das Fibrin als anisotroper, amorphfester Stoff. Internat. Zeitschr. f. Phys.-Chem. Biol. Bd. III. 1. Heft.

Doncan, A. (1854): Dissert. de corporis vitrei structura. Utrecht. (Zit. nach Weber).

Duke-Elder, W. S. (1929): The Etiology and Non-operative Treatment of Glaucoma. Concilium Ophthalmologicum Hollandia. III.

Finkbeiner, F. (1855): Vergleichende Untersuchung der Structur des Glaskörpers bei den Wirbelthieren. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 6.

Fischel A. (1900): Über die Regeneration der Linse. Anat. Hefte. Bd. 14.

Fischer, A. (1899): Fixirung, Färbung und Bau des Protoplasmas. Jena.

Fracassi, G. (1923): Entwicklung und Morphologie des Glaskörpers beim Menschen und bei einigen Säugetieren. Arch. f. Ophth. Bd. 111.

Frey, H. (1859): Lehrbuch der Histologie und Histochemie des Menschen. Leipzig.

Gerlach, J. v. (1853): Gewebelehre. 2. Aufl.

Gullstrand, A. (1911): Die reflexlose Ophthalmoskopie. Arch. f. Augenheilk. Bd. 68. Heft 2.

Haensell, P. (1886): Recherches sur le corps vitré. Bulletin de la clinique nationale ophthalmique de l'hospice de Quinze — Vingts. t. 4.

— — (1888): Recherches de la structure et l'histogénèse du corps vitré normal et pathologique. Thèse p. l. doctorat de Médecine. Paris.

Hammarsten, O. (1926): Lehrbuch der physiologischen Chemie. München.

Hannover, A. (1845): Entdeckung des Baues des Glaskörpers. Arch. f. Anat., Phys. u. wiss. Med.

Heesch, K. (1925—1926): Ultramikroskopische Untersuchungen über die Struktur im Glaskörper des Tierauges. Arch. f. Augenheilkunde. Bd. 97.

— — (1927—1928): Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der ultramikroskopischen und mikroskopischen Fadenstruktur des Glaskörpers. Arch. f. Augenheilkunde. Bd. 98.

[1]) Vollständiges Literaturverzeichnis in Jokls Arbeit 1927, p. 229 ff.

Heesch, K. (1927—1928): Zur Frage des Zusammenhangs der ultramikroskopischen Struktur des Glaskörpers mit den Spaltlampenbefunden. Arch. f. Augenheilkunde. Bd. 98.

— — (1929): Die Anatomie des Glaskörpers. Arch. f. Augenheilkunde. Bd. 100/101.

Hekma, E. (1916): Über das Fibrin und seine Beziehung zu einigen Problemen der Biologie und Kolloidchemie. Biochemische Zeitschrift. Bd. 73.

Henle, J. (1873): Handbuch der Eingeweidelehre. Braunschweig.

Hollemann, A., (1910): Lehrbuch der unorganischen Chemie. Leipzig.

Huschke, E. (1844): Lehre von den Eingeweiden und Sinnesorganen des menschlichen Körpers. Soemmerring: Vom Baue des menschlichen Körpers. N. Ausg. Bd. 5.

Iwanoff, A. (1865): Beiträge zur normalen und pathologischen Anatomie des Auges. B. Zur normalen und pathologischen Anatomie des Glaskörpers. Arch. f. Ophth. Bd. 11., Abt. 1.

— — (1872): Glaskörper. Handbuch der Lehre von den Geweben des Menschen u. der Tiere, herausg. von Stricker. Bd. 2.

Jokl, A. (1927): Vergleichende Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung des Glaskörpers und seiner Inhaltsgebilde bei Wirbeltieren und beim Menschen. Uppsala.

Keibel, F. (1886): Zur Entwickelung des Glaskörpers. Arch. f. Anat. u. Phys.

Kessler, L. (1871): Untersuchungen über die Entwicklung des Auges, angestellt am Hühnchen und Triton. Dissertation Dorpat.

— — (1877): Zur Entwicklung des Auges der Wirbeltiere. Leipzig.

Koby, T. (1920): Recherches cliniques sur le corps vitré au moyen du microscope binoculaire avec éclairage de Gullstrand. Rev. gén. d'ophth. Vol. 34.

Koeppe, L. (1920—1922): Die Mikroskopie des lebenden Auges. Berlin. Bd. I u. II.

— — (1921): Die ultra- und polarisationsmikroskopische Erforschung des lebenden Auges und ihre Ergebnisse. Bern u. Leipzig.

Kubik, J. (1913): Über die Darstellung des Glaskörpergerüstes und peripherer markloser Nervenfasern nach S. Mayers Methode. Arch. f. Mikr. Anat. Bd. 81.

Kuschel, J. (1907): Die Architektur des Auges und ihre hydrostatischen Beziehungen zum intraokulären Stromgefälle. Zeitschr. f. Augenheilkunde. Bd. 17.

Kölliker, A. (1852): Mikroskop. Anatomie. II. Leipzig.

— — (1861): Entwickelungsgeschichte des Menschen und der höheren Wirbelthiere. Leipzig.

— — (1867): Handbuch der Gewebelehre des Menschen. 5. Aufl. Leipzig.

Kölliker, A. (1879): Entwickelungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere. 2. Aufl. Leipzig.

— — (1883): Zur Entwickelung des Auges und Geruchsorganes menschlicher Embryonen. Verh. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. N. F., Bd. 17.

— — (1903): Über die Entwickelung und Bedeutung des Glaskörpers. Verh. d. anat. Ges., 17. Vers. in Heidelberg.

Lenhossék, M. v. (1903): Die Entwicklung des Glaskörpers. Leipzig. (Zit. nach A. v. Szily.)

— — (1911): Die Entwicklung und Bedeutung der Zonulafasern nach Untersuchungen am Hühnchen. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 77.

Leydig, F. (1857): Lehrbuch der Histologie des Menschen und der Tiere. Frankfurt a/M.

Lieberkühn, N. (1872): Ueber das Auge des Wirbeltierembryos. Schr. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. zu Marburg. Cassel.

Mawas, J. et Magitot, A. (1912): Étude sur le développement du corps vitré et de la Zonule chez l'homme. Fondation ophthalmologique Adolphe de Rothschild. Travaux. Année 1911. Paris. (Zit. nach Jokl.)

Mayer, S. (1913): Über eine neuartige Verwendung des Farbstoffes »Neutralrot». Arch. f. Mikr. Anat. Bd. 81.

Merkel, Fr. (1885—1890) Handbuch der topographischen Anatomie. Bd. 1. Braunschweig.

Mörner, C. Th. (1894): Untersuchungen der Proteïnsubstanzen in den lichtbrechenden Medien des Auges. Zeitschr. f. Phys. Chemie. Hoppe—Seyler. Bd. 18.

Nordenson, E. (1886): Till kännedomen om spontan näthinneaflossning. Stockholm.

— — (1887): Die Netzhautablösung. Wiesbaden.

Pappenheim, S. (1842): Die spezielle Gewebelehre des Auges mit Rücksicht auf Entwickelungsgeschichte und Augenpraxis. Breslau.

Pée, P. van (1902): Recherches sur l'origine du corps vitré. Arch. de Biologie. T. 19.

— — (1903): Diskussionseinlage. 17. Vers. d. Anat. Ges. in Heidelberg.

Petit, M. (1738): Description anatomique de l'oeil du Coq-d'Inde. Histoire de l'acad. roy. des Sciences. ann. 1738. Paris.

Rabl, C. (1903): Zur Frage nach der Entwicklung des Glaskörpers. Anat. Anz. Bd. 22.

Redslob, E. (1927): Contribution à l'étude de la structure du vitré. Annales d'oculistique. An. 89.

Retzius, G. (1894): Ueber den Bau des Glaskörpers und der Zonula Zinnii in dem Auge des Menschen und einiger Thiere. Biol. Untersuch. N. F. Bd. 6.

— (1921): Zur Kenntnis des Baus des Glaskörpers im Auge des Menschen. Biol. Untersuch. N. F. Bd. 19.

Ritter, C. (1865): Zur Histologie des Auges. Arch. f. Ophth. Bd. 11.
Salzmann, M. (1912): Anatomie und Histologie des menschlichen Augapfels. Leipzig u. Wien.
Salzmann, Th. (1900): Die Zonula ciliaris und ihr Verhältnis zur Umgebung. Leipzig u. Wien.
Schoeler, H. (1848): De oculi evolutione in embryonibus gallinaceis. Dissert. med. Dorpat. (Zit. nach A. v. Szily.)
Schwalbe, G. (1874): Mikroscopische Anatomie des Sehnerven, der Netzhaut und des Glaskörpers. Handbuch d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Sämisch. 1. Aufl., Bd. 1.
— — (1887): Lehrbuch der Anatomie der Sinnesorgane. Erlangen. (Zit. n. Retzius.)
Schwarz, Fr. (1887): Die morphologische und chemische Zusammensetzung des Protoplasmas. Cohn's Beitr. 5. Bd., 1. H.
Siedentopf, H. (1908): Die Sichtbarmachung von Kanten im mikroskopischen Bilde. Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie. Bd. XXV.
— — (1909): Über ultramikroskopische Abbildung. Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie. Bd. XXVI.
— — (1912): Über ultramikroskopische Abbildung linearer Objekte. Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie. Bd. XXIX.
— — u. Zsigmondy, R. (1903): Ueber Sichtbarmachung und Grössenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. Annalen der Physik. Vierte Folge. Bd. 10.
Smith, D. (1868): Structure of the adult human vitreous humour. The Lancet.
Stilling, J. (1869): Eine Studie über den Bau des Glaskörpers. Arch. f. Ophth. Bd. 15, 3.
— — (1911): Ueber den Mechanismus der Akkommodation. Zeitschr. f. Augenheilk. Bd. 25.
Straub, M. (1888): Beitrag zur Kenntnis des Glaskörpergewebes. Arch. f. Ophth. Bd. 34.
Svedberg, The (1928): Colloid Chemistry. New York.
Szent-Györgyi, A. (1914): Die histologische Darstellung des Glaskörpers. Zeitschr. f. wiss. Mikr. Bd. 31.
— — (1917): Untersuchungen über den Bau des Glaskörpers des Menschen. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 89.
Szily, A. v. (1908): Über das Entstehen eines fibrillären Stützgewebes im Embryo und dessen Verhältnis zur Glaskörperfrage. Anat. Hefte. Bd. 35.
Toldt, C. (1888): Lehrbuch der Gewebelehre. Dritte Aufl. Stuttgart.
Tornatola, S. (1897): Origine et nature du corps vitré. Résumé de la communication faite au XII. congrès international de méd. de Moscou. Rev. génér. d'Ophth. 14. année.
Veragut, J. (1923): Das Glaskörpergerüst bei Kindern nach Untersuchungen an 82 Augen mit dem Spaltlampenmikroskop. Arch. f. Ophth. Bd. 111.
Virchow, H. (1885): Die physikalische Natur des Glaskörpergewebes. Bericht d. ophthalm. Ges. zu Heildelberg.
— — (1900): Fächer, Zapfen, Leiste, Polster, Gefässe im Glaskörperraum von Wirbeltieren sowie damit in Verbindung stehende Fragen. Anat. Hefte. Bd. X.
Virchow, R. (1852): Notiz über den Glaskörper. Arch. f. path. Anat. u. Physiol. Bd. 4.
— — (1853): Über den menschlichen Glaskörper. Arch. f. path. Anat. u. Physiol. Bd. 5.
Vogt, A. (1921): Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges. Berlin.
— — (1930): Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges, Berlin.
Weber, C. O. (1860): Ueber den Bau des Glaskörpers und die pathologischen, namentlich entzündlichen Veränderungen desselben. Arch f. path. Anat. u. Phys. Bd. 19.
Wolfrum, M. (1907): Zur Entwicklung und normalen Struktur des Glaskörpers. Arch. f. Ophth. Bd. 65. Heft 2.
Zinn, J. (1755): Descriptio anatomica oculi humani iconibus illustrata. Gottingae. (Zit. n. C. Weber u. H. Virchow).
Zsigmondy, R. (1912): Kolloidchemie. Leipzig.
— — (1913): Ueber ein neues Ultramikroskop. Phys. Zeitschr. 14: 2.
— — (1925): Kolloidchemie. Fünfte Aufl. Leipzig.
— — u. Bachmann, W. (1912): Ueber Gallerten. Zeitschr. f. Chemie u. Industrie der Kolloide. Bd. XI. Heft 4.

Nach dem Eingang der letzten Korrektur habe ich gefunden, dass W. S. Duke-Elder eine Monographie mit dem Titel »*The Nature of the Vitreous Body*» (Brit. J. Ophthalm. Monogr. Suppl. 4. 1930) herausgegeben hat, die betreffs des Baues des Glaskörpers auf Baurmanns und Heeschs Arbeiten gestützt ist, deren Resultate er durch eigene Untersuchungen bestätigt. Leider kann ich die Arbeit nunmehr nicht diskutieren. Doch will ich hervorheben, dass er auf S. 12 die Dicke der Fäden zu 2 μ angibt, ein Wert, der, wenn er richtig wäre, diesen Fäden mikroskopische Dimensionen geben würde und nicht »must represent colloid aggregations (micellæ) of ultra-microscopic size». Mikrometrische Messungen der Dicke linearer Objekte, die in zwei Dimensionen ultramikroskopisch sind, gibt keine Auskunft über die tatsächliche Dicke der Objekte (vgl. p. 16).

Erklärung der Abbildungen auf Tafel I – IV.

Fig. 4—5. Zentralstruktur. Glaskörper von Rinderaugen.
Fig. 6. Übergangsstruktur. Glaskörper von Rinderaugen.
Fig. 7. Struktur aus der Gegend der Fossa patellaris. Glaskörper von Rinderaugen.
Fig. 8. Struktur aus der Gegend des Corpus ciliare. Glaskörper von Rinderaugen.
Fig. 9. Struktur aus der Gegend des Äquators. Glaskörper von Rinderaugen.
Fig. 10—11. Zentralstruktur. Glaskörper vom Menschen.
Fig. 12. Übergangsstruktur. Glaskörper vom Menschen.
Fig. 13. Struktur aus der Gegend der Fossa patellaris. Glaskörper vom Menschen.
Fig. 14. Struktur aus der Gegend des Corpus ciliare. Glaskörper vom Menschen.
Fig. 15. Struktur aus der Gegend des Äquators. Glaskörper vom Menschen.
Fig. 16—17. Glaskörperstruktur bei Glaucom.
Fig. 18. Bild bei Beginn der Formalinfixierung.
Fig. 19. Bild im Endstadium bei Kaliumbichromatfixierung.
Fig. 20. Glaskörperstruktur nach *Retzius* (1894, Fig. 6, Taf. XXVIII).
Fig. 21. Natriumstearatgel nach *Darke, Mc Bain, Salman* (1921 Bild Nr. 4).
Fig. 22—23. Photographische Bilder von unbehandeltem Glaskörper im Immersions-Spalt-Ultramikroskop.
Fig. 24—26. Photographische Bilder von formalinfixiertem Glaskörper (Endstadien) im Immersions-Spalt-Ultramikroskop.

Bem. Wegen der Art der Wiedergabe sind die Bilder nicht so deutlich wie die Originalzeichnungen und Photographien.

Taf. I

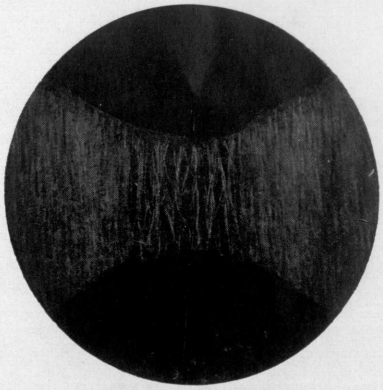


Fig. 4

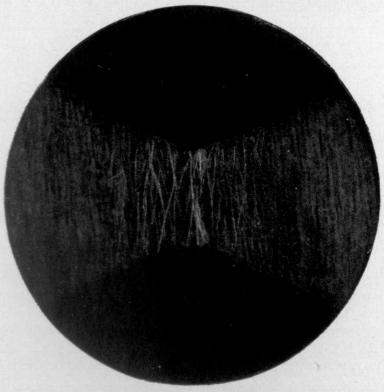


Fig. 5

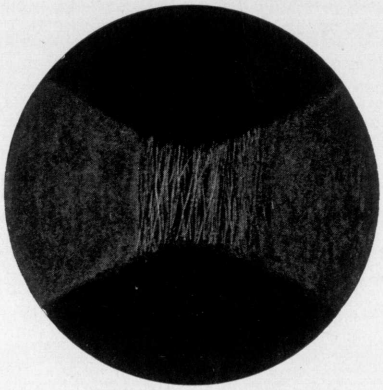


Fig. 6

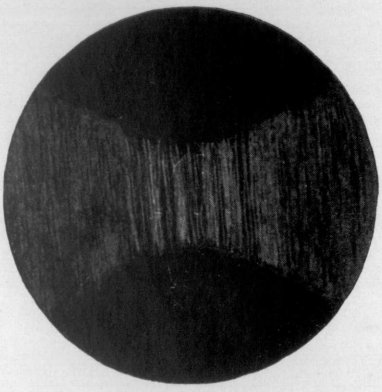


Fig. 7

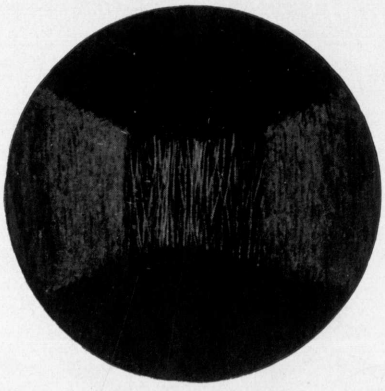


Fig. 8

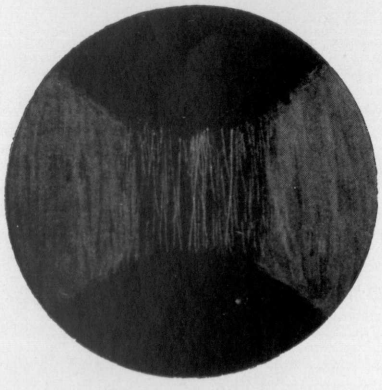


Fig. 9

Taf. II

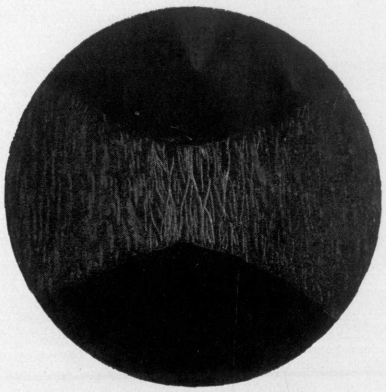


Fig. 10

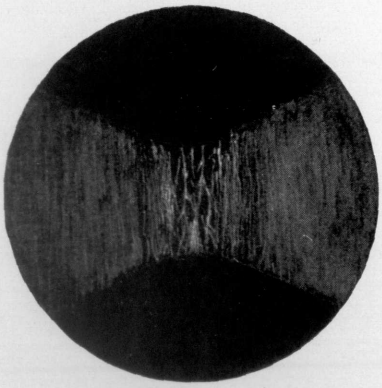


Fig. 11

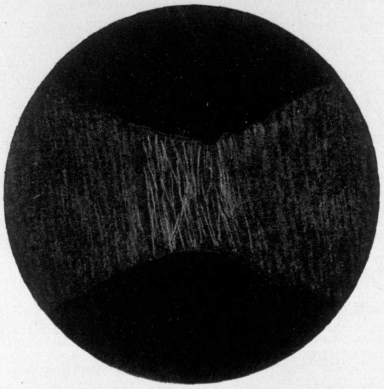


Fig. 12

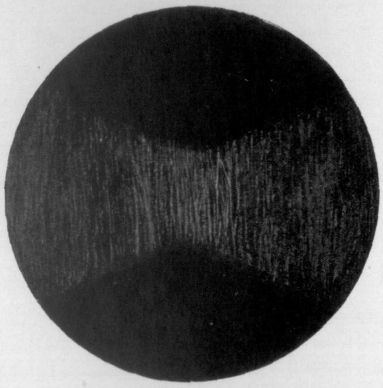


Fig. 13

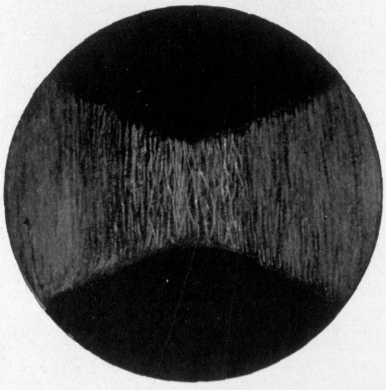


Fig. 14

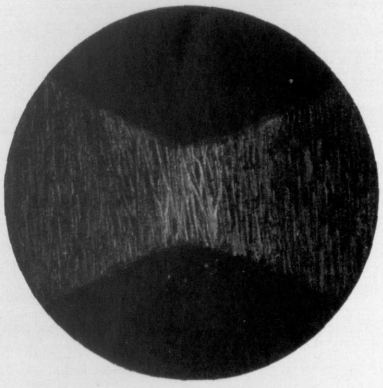


Fig. 15

Taf. III

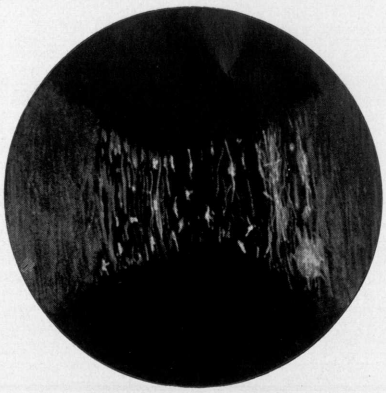


Fig. 16

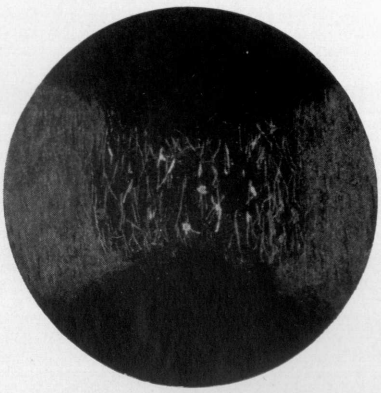


Fig. 17

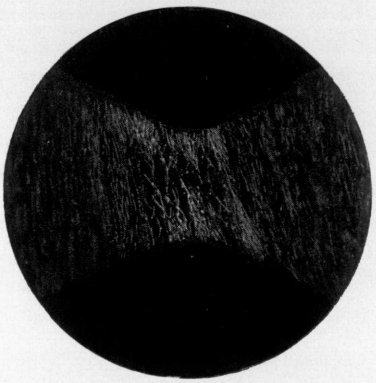


Fig. 18

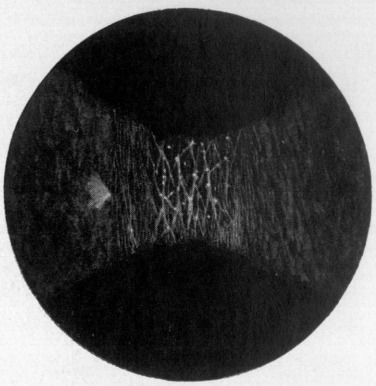


Fig. 19

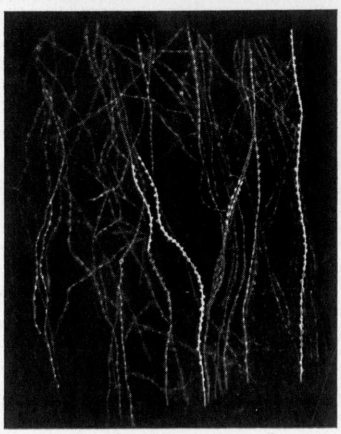


Fig. 20

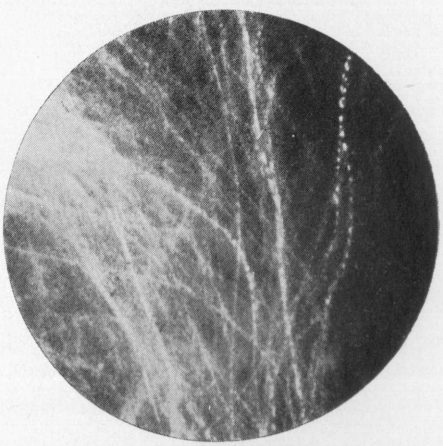


Fig. 21

Taf. IV

Fig. 22

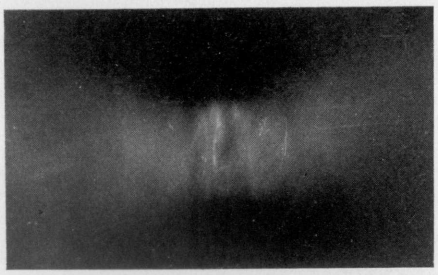


Fig. 23

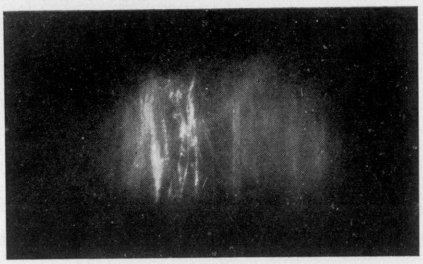


Fig. 24

Fig. 25

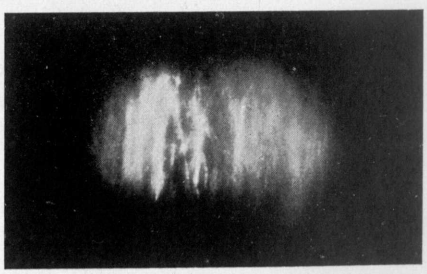


Fig. 26