

Die Hyle des Lebens.

I. Beobachtungen und Experimente an *Astrorhiza limicola*.

Von

Eugen Schultz.

(Zoologisches Institut der Universität Charkow.)

Mit Tafel III—VI.

Eingegangen am 6. Juni 1914.

Ich gebrauche nicht den Ausdruck Substrat des Lebens und spreche auch nicht von »lebender Substanz«, wie es JENSEN¹⁾ tat, denn das entschiede gleichsam schon im voraus die Frage, ob das Leben ein Ausfluß der Substanz ist, oder ob es dieselbe gleichsam ergreift und benutzt. Diese Frage aber haben wir keinen Grund hier zu berühren. Ich ziehe die aristotelische Terminologie hier durchaus vor. ARISTÓTELES unterscheidet bekanntlich zwischen Substanz und Form, zwischen Hyle und Eidos. Dabei aber — und darin liegt das für uns Biologen Wichtige — ist für ihn der Begriff »Hyle« kein feststehender, so daß die Hyle auch Form haben kann, daß die Grenze zwischen Hyle und Eidos gleichsam schwankt, denn was in dem einen Falle zweifellos zur Hyle zu rechnen ist, kann bei anderer Betrachtungsweise als Form einer allgemeineren Hyle gelten. Dieses ist uns wichtig, gerade bei dem vorliegenden Problem im Auge zu behalten. Wenn Holz oder Stein als Material eines Tisches dient, so ist Holz oder Stein — Hyle, und die Tischform — Eidos. Aber das Holz sowohl als auch der Stein haben ihrerseits eine mikroskopische Struktur und diese Struktur ist wiederum Eidos für eine allgemeinere Substanz. Also in jedem gegebenen Falle ist die Grenze, was man als Substanz ansieht, anzugeben. Im gegebenen Falle sehen wir als Substanz das lebende Protoplasma mit Ausschluß des Kerns

¹⁾ JENSEN, P., Über den Aggregatzustand des Muskels und der lebenden Substanzen überhaupt. PFLÜGERS Arch. Bd. 80. 1900.

an. Wir untersuchen es an einer Foraminifere — *Astrorhiza*. Nicht alle lebende Substanz ist dem Plasma von *Astrorhiza* gleich, aber dennoch lassen sich einige Formeigenschaften vielleicht aller Lebewesen aus den allgemeinen Charaktereigenschaften des Plasmas, das auch bei *Astrorhiza* zutage tritt, erklären. Wie eine Marmorstatue, weil sie aus Marmor ist, bestimmte Formeigenschaften haben wird im Vergleich zu einer Bronzefigur, so schließt das Material, welches wir am Plasma haben, einige Formeigenschaften ein und die andern aus. Deswegen ist es uns wichtig, dieses Material zu kennen.

Die Foraminifere *Astrorhiza* kommt an der Zoologischen Station von Kristineberg nicht selten vor. Die Exemplare erreichen eine — für ein einzelliges Tier — ungeheure Größe von 0,5—1 cm im Durchmesser. Der Liebenswürdigkeit des Herrn Dr. OESTERGREN verdanke ich das Material, das ich hier an einer gut eingerichteten Station verarbeiten konnte, während VERWORN und JENSEN zum Zwecke ähnlicher Untersuchungen ans Rote Meer reisen mußten, um an *Orbitolites* ähnliche Fragen in ungünstigen Verhältnissen zu lösen. Freilich war ich, als ich an die Arbeit am lebenden Material trat, wenig auf die Verarbeitung ähnlicher Fragen vorgebildet. Die Bibliothek der Station, die reich an systematischen Werken ist, enthielt nur wenig, was mir zur Lösung meiner Aufgabe dienlich sein könnte. So wurde denn manches Experiment unnütz gemacht, da es nichts weiter war als eine Wiederholung schon früher vollführter Versuche, manches unterlassen, was leicht gemacht wäre.

Astrorhiza kommt in Tiefen von 20—40 Faden im Schlamme vor. Ihr Gehäuse besteht aus Schlamm und Sand. In Aquarien gebracht, entfaltet sie bald ein reiches Pseudopodiennetz, an dem man gut Körnchenströmung beobachten kann. Dieses alles konnten aber auch VERWORN¹⁾ und JENSEN²⁾ an *Orbitolites* sehen, die unserer *Astrorhiza* nicht an Größe nachsteht. Ich wäre auch nicht an meine Arbeit herantreten, wenn es mir nicht gelungen wäre, etwas zu erlangen, was die früheren Untersucher nicht konnten — nämlich das Tier aus der Schale herauszulocken.

Erhöhung der Temperatur in den Aquarien nämlich scheint die Ursache zu sein, weswegen das Tier sein Gehäuse verläßt. Wenigstens bemerkte ich diese Erscheinung gerade an sehr heißen Tagen,

¹⁾ VERWORN, Die Bewegung der lebenden Substanz. Jena 1891.

²⁾ JENSEN, l. c.

während welcher es mir nicht gelang, das Wasser genügend kalt zu halten; doch mögen auch andere schädigende Einflüsse dasselbe Resultat hervorrufen. *Astrorhiza*, in reinem Wasser ohne Schlamm gehalten, verläßt also ihr Gehäuse und liegt dann als mindestens $\frac{1}{2}$ cm großer Plasmaklumpen da. Soviel ich weiß, war es noch nie einem Forscher vergönnt gewesen, so große Massen nackten tierischen Plasmas unter der Hand zu haben. Der Kern läßt sich mit bloßem Auge unterscheiden. Man kann eine solche Riesenzelle zwischen die Finger nehmen und durch direkte Berührung sich von der Klebrigkeit und Zähflüssigkeit ihres Plasmas überzeugen.

Diese Plasmaklumpen senden strahlenförmige Pseudopodien aus, und zwar allseitig und radial (Taf. III Fig. 8, 9, Taf. IV Fig. 10), was ich bei beschalteten Formen nie beobachtet habe, da letztere, wie wir sehen werden, nie mehr als drei Strahlenbündel aussenden (Taf. IV Fig. 13, 14).

Diese nackten Astrorhizen gehen sogleich nach Verlassen ihrer alten Schale daran, eine neue zu bauen, wobei sie den Schlamm über sich anhäufen und ihn dann vielleicht direkt an den Körper kleben, oder ihn zuerst ins Innere des Plasmas aufnehmen, vielleicht auch sowohl das eine wie das andere tun. Jedenfalls baute das Tier im Aquarium sich zuerst die Rückenschale. Die Ventralfläche blieb nach 3 Tagen noch nackt, um so mehr, als sie stellenweise am Glase festklebte. Das Tier wendete sich nicht um. Eine Fortbewegung des ganzen Tieres in irgendeiner Richtung fand während des Gehäusebaues nicht statt und, wie erwähnt, waren alle Pseudopodien radial in den verschiedensten Richtungen ausgestreckt, ohne daß eine ein bestimmtes Übergewicht erlangte.

Das Auskriechen aus der alten Schale ist gleichfalls sehr lehrreich. Das Tier sendet ein ungewöhnlich großes, dickes Pseudopodienbündel nur aus einer Öffnung hinaus (Taf. III Fig. 3, 4), befestigt das eine Ende des Bündels an irgendeinen Gegenstand und zieht dann durch Kontraktion ihrer Pseudopodien den ganzen Plasmaleib aus der Schale. Zuletzt folgen noch die letzten Pseudopodienbündel. Einige Reste des Plasmas bleiben in der Schale zurück.

Die Schale ist nicht formkonstant, d. h. die neue Schale unterscheidet sich oft beträchtlich von der früheren.

In einigen Fällen, wo das Tier schon im Begriff war, die Schale zu verlassen, d. h. wo ein Teil des Körpers schon außerhalb der Schale lag, aber das Wasser im Aquarium arm an Sauerstoff wurde, »besann« sich das Tier und kroch in seine alte Schale zurück.

Es liegt die Frage nahe, ob nicht die hier und da beschriebenen *Foraminifera nuda* solche Durchgangsstadien beschalteter Foraminiferen sind, so z. B. *Protogenes*, *Pantomyxa*, *Biomyxa*, *Arachnula*, *Rhizoplasma*, *Dictyomyxa*, *Myxodictium* u. a. LÜHE¹⁾ hält diese Formen für Vermehrungsstadien, doch zeigte die nackte *Astrorhiza* auf Schnitten einen ruhenden, mit dicker Kernmembran umgebenen Kern (Taf. VI Fig. 26, 27).

Für das Fehlen einer Formkonstanz sprechen außer den oben erwähnten Beobachtungen, wonach *Astrorhiza* jedesmal ihr Gehäuse nach neuen Umrissen baut, noch Regenerationsversuche. Zu diesem Zwecke schnitt ich dem beschalteten Tiere einige Radian ab (Taf. III Fig. 5). Diese Radian nun wurden nicht ersetzt, sondern die Öffnung einfach verschlossen. Wir haben also an *Astrorhiza* ein Tier mit unkonstanten oder sehr variierenden, wenn nicht zufälligen Körperkonturen vor uns, ähnlich wie wir das bei den meisten Schwämmen sehen.

Setzt man die aus der Schale herausgekrochene *Astrorhiza* in reines Wasser, dem kein Schlamm beigemischt ist, so rundet sich das Plasma oft nach einer Zeit der Bewegung ab, nimmt den Charakter eines mehr oder weniger abgerundeten Klumpens an und umgibt sich mit einer ziemlich zähen Haut.

Ich glaubte zuerst, daß das Verlassen der Schale mit der Vermehrung der *Astrorhiza* zusammenhängt. Schnitte, die ich durch diese Stadien gemacht habe, zeigten aber alle einen ruhenden Kern. Das Verlassen der alten Schale und der Bau einer neuen scheint im Leben der *Astrorhiza* sich öfters zu wiederholen. Soviel ich weiß, ist nichts Ähnliches bisher für Protozoen beschrieben worden, deren Schalen immer, gleich denen der Mollusken, dem Tiere lebenslänglich gegeben schienen.

An der Oberfläche der Pseudopodien wird immerwährend eine klebrige, hautartige Masse abgeschieden, mit welcher das Tier seine Beute fängt und auch das Material zum Bau seiner Schale sammelt. Hat man eine *Astrorhiza* einen Tag über in einer Schale gelassen, auf deren Grund eine dünne, staubähnliche Schlammschicht gelassen worden ist, so erkennt man leicht die Spuren der *Astrorhiza*. Während der 24 Stunden schreitet sie meist nicht in einer bestimmten Richtung fort, sondern hat ein bestimmtes Feld von ungefähr 25 cm Durchmesser von kreisförmiger oder elliptischer Form reingefegt (Taf. III Fig. 1), indem die Schlammteile an den Pseudopodien hängen

¹⁾ LÜHE, Protozoen in: LANG, Handbuch der Morphologie. 1913.

geblieben waren. Am Rande eines solchen Feldes findet man oft Spuren der verzweigten Pseudopodien (Taf. III Fig. 2). Diese Spuren bestehen aus Schlamm, welcher durch Schleim zusammengehalten wird. Die feinen, verzweigten, schleimigen, hautartig verhärteten Pseudopodien Spuren kleben am Glasgefäße fest. Diese Ausscheidungen sind, wie es scheint, mit denen identisch, welche immer ganze Pseudopodienbündel bedecken, so daß viele Fibrillen zusammen gleichsam wie in einem Futterale zu liegen scheinen. Außerdem findet man noch direkte Plasmareste.

Die Größe der vorliegenden Plasmaklumpen erlaubt es, direkt und zweifellos ihre Konsistenz festzustellen — sie ist zähflüssig. Die Zähflüssigkeit des Plasmas wird ja von den meisten Forschern angenommen, hier aber kann man sich mit seinem Tastgefühl von derselben überzeugen. Der Streit über die flüssige oder feste Konsistenz des Plasmas verliert überhaupt an Interesse, da die neueren physikalischen Anschauungen über Aggregatzustände keinen durchgreifenden Unterschied zwischen »flüssig« und »fest«, weder theoretisch noch praktisch, anerkennen. Das Plasma fühlt sich, zwischen den Fingern gehalten, wie eine zähe, klebrige Flüssigkeit an, ungefähr wie Honig.

Die mikroskopische Struktur scheint selbst bei starker Vergrößerung homogen zu sein. Es genügt aber, einen kleinen Druck mit dem Deckglase auf das Plasma oder ein Pseudopodium der lebenden *Astrorhiza* zu vollführen — und sogleich nimmt jeder Faden eine charakteristische Schaumstruktur an, wobei sich Wabe an Wabe reiht, genau den Bildern entsprechend, welche durch BÜTSCHLI¹⁾ berühmte Untersuchungen so bekannt geworden sind. Schon VERWORN²⁾ und nach ihm HARDY³⁾ haben nachgewiesen, daß die Schaumstruktur ein besonderes Merkmal des absterbenden Plasmas ist, besonders nach kontraktorischer Erregung. Das lebende Plasma ist sehr empfindlich auf Druck, die Körnchenströmung hört sogleich auf und augenblicklich koaguliert es zur charakteristischen Schaumstruktur.

Die lebende Substanz ist also bei *Astrorhiza* zähflüssig. Sie bildet an der Oberfläche eine Haut. Die oberflächliche, hautbildende

1) BÜTSCHLI, O., Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Leipzig 1892.

2) VERWORN, Die Bewegung der lebenden Substanz. Jena 1892.

3) HARDY, W., On the Structure of Cell Protoplasm. Journ. of Physiol. Cambridge. Vol. 24. 1899.

Schicht ist bei Berührung klebrig. Ob auch das innere Plasma es ist, ist experimentell schwer nachzuweisen. Gleitet man aber über die dickere Hautschicht einer nackten *Astrorhiza* mit einem Spatel sehr vorsichtig hin, so braucht die Substanz nicht anzukleben; ein etwas stärkerer Reiz aber, oder vielleicht eine Verletzung, ruft das Ankleben des Plasmas an der Nadel oder einem beliebigen Instrumente hervor. Ist diese Anklebung zustande gekommen, so läßt sich das Plasma in lange Fäden ausziehen. Etwas Ähnliches konnte RHUMBLER¹⁾ mit *Diffugia* machen. BÜTSCHLI²⁾ bestreitet die Adhäsion der Amöben. JENSEN³⁾ bemerkte, daß Amöben oft durch den Strom einer Pipette nicht mitgerissen werden. Bei *Astrorhiza* klebt der schalenlose Körper oft ganz fest am Objektglase an, und wenn man ihn losreißen will, geht es nicht ohne Läsion, und das angeklebte Plasma zieht sich in Fäden aus. Auch kleine Plasmastücke, die in die Pipette gezogen werden, kleben sogleich am Glase der Pipette fest.

Die Klebrigkeit läßt sich hier wiederum ganz direkt ohne Mikroskop beobachten. Auf ihr beruht das Vermögen der *Astrorhiza*, wie wir gleich sehen werden, mit den Pseudopodien festzukleben und den ganzen Körper hinter sich zu ziehen.

Die Fähigkeit klebrig zu werden und in Fibrillen zu zerfallen, scheint mehr der äußeren Schicht eigentümlich zu sein. Ist die äußere Schicht einer nackten *Astrorhiza* beschädigt, so fließt das innere Plasma in Form einer Wolke heraus, keine Fäden bildend — eine Kaskade ohne Rückkehr des Stromes. Diese Art des Austrittes erinnert nicht im mindesten an die Pseudopodienbildung, wo jedes Pseudopodium peripher immer dünner wird.

Die außergewöhnliche Größe der *Astrorhiza*-Zelle erlaubt es, ein sehr lehrreiches Experiment mit ihrem Plasma zu machen. Man kann dasselbe mit einer Nadel oder Pinzette berühren und dann, da es festklebt, in der Länge herausziehen. Infolge der Zähigkeit kann man auf solche Weise lange Fäden erhalten. Wiederholt man diese Bewegung, d. h. rührt oder richtiger klopft man gleichsam das Plasma mit der Nadel durch, so zerfällt es ganz in lange Fäden (Taf. V Fig. 20). Das ganze Plasma

¹⁾ RHUMBLER, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle. Arch. f. Entw.-Mech. Bd. 7. 1898.

²⁾ BÜTSCHLI, l. c.

³⁾ JENSEN, Untersuchungen über Protoplasmamechanik. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 87. 1901.

scheint so in Fibrillen übergehen zu können. Unter dem Mikroskop sieht man lange Fibrillen, die durch das ganze Plasma ununterbrochen hindurchziehen (Taf. V Fig. 21). Um die Fibrillen liegt übriggebliebenes Plasma, das noch nicht in Fibrillensubstanz übergeführt worden ist, und das man mit dem Sarkoplasma der Muskeln homologisieren kann. Jeder Tropfen des Plasmas läßt sich so in Fäden ausziehen. Natürlich stirbt das Plasma gleich darauf ab, aber die Fähigkeit, zu kleben und in Fibrillen zu zerfallen, ist keine Eigenschaft des toten Plasmas, sondern nur dem lebenden eigentümlich. Die Fibrillen eines in die Länge ausgezogenen Plasmaklumpens sind so fein, daß man von einer ultrafibrillären Struktur im Sinne HEIDENHAINS sprechen könnte.

Es folgt aber aus dem allen, daß die Fähigkeit in Fibrillen zu zerfallen nicht auf einer vorgebildeten Struktur, d. h. im Plasma präexistierenden kleinen Fibrillen besteht, sondern erst durch das Ausziehen des Plasmas zustande kommt. Überall, wo ein Plasma von ähnlicher Konsistenz wie bei *Astrorhiza* aktiv oder passiv gedehnt wird, zerfällt es in Fibrillen. Die Fibrillen können an der Oberfläche liegen oder durch die Zelle hindurch verlaufen, wie wir sahen. Auch in quergestreiften Muskeln finden wir ein Sarkoplasma und die Fibrillen. In das Gebiet der Fibrillen gehört auch die achromatische Spindel, die elastischen Fibrillen im Periblast von *Euglena*¹⁾, bei Trypanosomen, bei Wimpern usw.

Künstlich durch Klopfen des Plasmas gebildete Fibrillen kontrahieren nicht, wohl aber, wenn sie vom Tiere selbst gebildet werden, d. h. noch leben. Die Kontraktion ist demnach keine reine Folge der Elastizität, sondern bedarf einer vorhergehenden Erregung.

Ganze Faserbündel, die sich frei herausgestreckt haben, sich dann distal befestigen, ziehen sich, wenn man sie an ihrem distalen Ende, d. h. an ihrer Anheftungsstelle, ablöst oder durchschneidet, auf die Hälfte zusammen.

Viel interessanter und eigenartiger aber ist die schnelle, momentane Kontraktion, die wir bei normaler Bewegung und beim Experiment beobachten können. Die Pseudopodien werden lang ausgestreckt, 5—6 mal so lang wie der Körper der Rhizopode. Die Enden der fadenziehenden Substanz machen kreisförmige, tastende Bewegungen (Taf. IV Fig. 16) — man wäre geneigt, von Versuch und Irrtum zu sprechen — endlich kleben sie am Substrate (im gegebenen

¹⁾ Nach HAMBURGER, Studien über *Euglena Ehrenbergii*, insbesondere über die Körperhülle. Sitzber. d. Akad. Heidelberg. 4. Abt. Math.-Naturw. Kl. 1911.

Falle am Glase) fest, oder vielleicht auch bilden sie einen Saugnapf. Man sieht das Ende des Fadens erweitert und verdickt (Taf. IV Fig. 15). Diese Bewegungen erinnern sehr an diejenigen der Seeigelfüßchen. Die Fäden, welche bis zu dieser Zeit nicht gespannt sein konnten, da sie tastend und frei sich ins Wasser hinausstreckten, erscheinen gleich darauf als stark gespannte Saiten. Zwischen den Fibrillen sieht man Plasmabewegung in Form von Tropfen, die wie Amöben an den Fäden herumkriechen. Wie erwähnt, ließe sich dieses Plasma mit dem Sarkoplasma der Muskeln vergleichen.

Nun geschieht die Fortbewegung der *Astrorhiza* sehr regelmäßig. Gewöhnlich spannt sie ihre Pseudopodien durch drei Öffnungen in drei verschiedenen Richtungen aus. Durchschneidet man die Anheftungsstelle eines dieser drei Pseudopodienbüschel, so kontrahieren die zwei anderen so schnell, daß das Tier gleichsam vorwärts geschleudert wird (Taf. IV Fig. 13). Diese blitzschnelle Kontraktion ist bisher für Pseudopodien nicht bekannt, außer einer Beobachtung ENGELMANN'S¹⁾ (1871) an der Heliozoe *Acanthocystis*, wo er auch blitzschnelle, an Muskelkontraktion erinnernde Verkürzung von fadenförmigen Pseudopodien beschreibt und sie als Myopodien den übrigen langsam kontrahierenden Pseudopodien gegenüberstellt. Diese Beobachtung war nachher nie wieder bestätigt worden und ist deswegen wohl vergessen.

Wir sehen, daß eine so bedeutende Zugfestigkeit des Plasmas mit einem zähflüssigen Aggregatzustande wohl vereinbar ist. Es sind hier die Oberflächenschichten, die elastisch und formgebend sind.

Zwischen dem Plasma der Rhizopoden und demjenigen der *Lobosa* ist kein prinzipieller Unterschied, trotzdem die Bewegungsart beider als grundverschieden erscheint. Für das Verständnis der Muskelkontraktion aber haben gerade unsere fibrillenbildenden Foraminiferen viel mehr Interesse, als die Loben bildenden, Fontänen produzierenden oder sich rollend fortbewegenden Amöben. Bei den *Reticulosa* und mit ihnen bei *Astrorhiza* bilden die Pseudopodien zähe Achsenstiele, auf welchen kernlose Plasmaklumpen amöbenartig herumkriechen. Eine klebrige, fadenziehende Substanz kommt allen Testaceen zu; *Astrorhiza* bildet das Ende einer Reihe, ihr Plasma ist das klebrigste, das wir kennen, und das elastischste.

In Übereinstimmung damit erweist sich ein solches Fibrillen-

¹⁾ ENGELMANN, zitiert nach BIEDERMANN, W., Vergleichende Physiologie der irritablen Substanzen. Ergebn. d. Physiologie. 8. Jahrg. 1909.

bündel bei *Astrorhiza* als doppelbrechend (Taf. VI Fig. 28), während es das umgebende Plasma nicht ist. Wir wissen schon seit langem, daß nicht nur feste Körper doppelbrechend sind. So drehen nach ENGELMANN¹⁾ alle Substanzen, in welchen Spannungen auftreten, die Polarisationsenebene des Lichtes. So sind auch die Fibrillenbündel von *Astrorhiza* optisch einachsig und ihre optische Achse liegt in der Richtung der Verkürzung. Eine Polarisation des Lichtes für Pseudopodien erwähnt AWERINZEF²⁾ für *Actinosphaerium*. ENGELMANN³⁾ und AWERINZEF⁴⁾ haben für Amöben und Süßwasserrhizopoden keine solche Doppelbrechung finden können.

Wenn das Studium der Kontraktion der Fibrillen bei *Astrorhiza* einiges Licht auf die Kontraktion der Muskeln wirft und auch an und für sich vielleicht für eine physikalische Analyse durchsichtiger ist, so ist das Aussenden von Pseudopodien bei *Astrorhiza* ein so eigenartig komplizierter Akt, daß er nur mit großer Vergewaltigung unter ein für die Amöben aufgestelltes Schema gebracht werden kann.

Die Pseudopodienfäden sind sehr dünn und geben eine Menge Seitenäste ab, die immer dünner werden (Taf. IV Fig. 17). Die äußersten Enden dieser baumartigen Verzweigungen machen jene oben erwähnten tastenden Bewegungen. Diese Bewegungen lassen sich vielleicht unter die Regel des Versuchs und Irrtums bringen. Zuletzt, wenn das Fibrillenende ein geeignetes Substrat gefunden hat, klebt es an demselben an. Es ist nur das äußerste Ende der Fibrille, welches sich befestigt. Ob die Befestigung durch Bildung eines Saugnapfes oder durch die Klebrigkeit des Plasmas geschieht, ist nicht zu unterscheiden. Jedenfalls sind die Enden erweitert und liegen dem Glase in Form von flachen Erweiterungen an. Diese Befestigung ist sehr vollkommen, was auch dadurch bewiesen wird, daß bei schnellem Einziehen der Pseudopodien die Fibrillen oft durchreißen, wobei die distalen Enden an dem Glase kleben bleiben⁵⁾. Untersucht man die Spuren, wo eine *Astrorhiza* den Tag vorher gekrochen ist, so findet man massenweise solche verlorene Plasmaklumpchen.

¹⁾ ENGELMANN, Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung. HERMANN'S Handbuch d. Physiol. Bd. 1. Teil 1. 1879.

²⁾ AWERINZEF, Rhizopoda des Süßwassers. Trav. Soc. Imp. Natur. St. Pétersbourg. T. 36. Livr. 2. 1906. p. 9.

³⁾ ENGELMANN, Kontraktilität und Doppelbrechung. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 11. 1875.

⁴⁾ AWERINZEF, l. c.

⁵⁾ Auch darin besteht Ähnlichkeit mit den Saugfüßen der Seeigel, die, wenn man den Seeigel schnell ergreift, abreißen und am Glase kleben bleiben.

Die Pseudopodien also kriechen nicht längs des Substrats, sondern werden in das Wasser frei hinaus entwickelt. Kontraktilität tritt erst ein, wenn sie befestigt sind. Dann erscheinen sie sogleich gespannt. Sonst geht die Involution der Fibrille den umgekehrten Weg, indem zuerst die letzten Verzweigungen zurückgezogen werden, dann die größeren usw., bis nur der Hauptstamm übrig bleibt.

Wir haben es hier bei den stets neuen Verzweigungen und Teilungen der Pseudopodien mit einer Metastruktur im Sinne von HEIDENHAIN zu tun, denn die Fibrille spaltet sich distal in immer neue Fibrillen (Taf. IV Fig. 17), nur daß diese Metastruktur hier vor unseren Augen entsteht und wieder vergeht, also keine präformierte ist, wie die von W. ROUX also benannte. Dieses Faktum erklärt vielleicht auch den Charakter der Metastrukturen der Muskeln.

Die Fortbewegung des ganzen Tieres geschieht in der Weise, daß es entweder nur aus einem Radius (aus einer Öffnung) Pseudopodien aussendet, die befestigt, sich spannen und bei Kontraktion die Schale nach sich ziehen (Taf. IV Fig. 11), oder es werden Pseudopodien in zwei Richtungen ausgesandt (Taf. IV Fig. 12), oder endlich in drei entgegengesetzten (Taf. IV Fig. 13, 14), wobei die hinteren Pseudopodien eingezogen werden und die beiden vorderen Bündel das Tier vorschnellen lassen. Die Kontraktilität der Fibrillen hört gleich nach dem Tode auf, obgleich das Plasma noch zäh und dehnbar ist und sich in Fäden ausziehen läßt.

DELLINGER¹⁾ nimmt kontraktile Elemente auch im Amöbenplasma an. Mir scheint es, daß die Form der Pseudopodien von der Zähigkeit des Plasmas abhängt: dünnflüssiges Plasma ist lobos, zähflüssiges ist fibrillär und kontraktil. Nur Plasma von der Konsistenz der Pseudopodien von *Astrorhiza* beleuchtet deswegen die Kontraktionsprozesse bei Muskeln und Cilien.

Über die sogenannte Körnchenströmung läßt sich folgendes sagen. Auf den Fibrillen der Pseudopodien bewegen sich kleine Plasma Klümpehen, die einen zentripetal, die andern zentrifugal. Sie besorgen die Verdauung und transportieren die Sandkörner usw. in das Innere des Körpers. Jedes kleinste Klümpehen »handelt« im einzelnen wie eine ganze Amöbe: antwortet selbständig auf Chemotaxis, was wir bei dem »Fangen« und Umfließen von Nahrungspartikeln sehen. — Wir lassen die Frage offen, inwieweit ihre Bewegungen durch RHUMLERS Schema erklärt werden.

¹⁾ DELLINGER, OR., Locomotion of *Amoeba* and allied forms. Journ. Exper. Zool. Vol. 3. 1906.

Oft vereinen sich die Astrorhizen gruppenweise zu 2—5 Stück untereinander mit den Pseudopodien (Taf. III Fig. 6, 7), wie es für Foraminiferen öfters beschrieben worden ist. Das Plasma in den Pseudopodien selbst scheint von dem einen Individuum in das andere zu fließen.

Die ausgestreckten Fibrillen können wieder mit der ganzen Pseudopodie zurückgezogen werden und einschmelzen. Das Einschmelzen der Pseudopodien ist nicht mit der Kontraktion identisch. Beim Einschmelzen verschwindet die fibrilläre Struktur wieder spurlos. Die Fibrillen lösen sich gleichsam im Plasma auf.

Somit sind nicht präformierte Metastrukturen die Ursache der Fibrillenbildung, sondern die fibrilläre Metastruktur entsteht jedesmal aus dem Plasma neu, als direkte Folge der allgemeinen physikalischen Eigenschaften des Plasmas.

Die beschriebenen Fibrillen sind wohl der Struktur nach im ganzen mit andern elastischen Fasern bei Protozoen wesensgleich. So mit den Fibrillen der Flagellaten (*Euglena*, HAMBURGER¹⁾), aber auch bei Geißeln und Cilien der Infusorien, den Schwanzfäden der Spermatozoen, die fibrillär gebaut sind (BALLOWITZ). Alle diese Organellen oder richtiger Organe weisen die Eigenschaften der Fibrillen von *Astrorhiza* auf.

Wir haben also Fibrillen und über diese herlaufende Körnchen. Dort, wo die Fibrillen ins Innere des Plasmas eintreten, werden sie allseitig vom Plasma umgeben. Welche Teile sind nun die kontraktilen? Da die Fibrillen selbst auch nach Kontraktion noch gespannt erscheinen und keine Wellenlinie bilden, so sind sie es wohl selbst, die kontrahieren. Nur die Enden der Pseudopodien, welche regelmäßige Schwingungen vollführen, ähneln in allem schwingenden Geißeln; so daß hier die Idee auftreten kann, daß der elastische Faden hier von andern kontraktilen Elementen hin und her gependelt wird. Solche Elemente können nur die Plasmaklumpchen sein. Ob die Reizleitung von den Fibrillen selbst besorgt wird, oder von der isotropischen Substanz, wie es ENGELMANN glaubt, also im gegebenen Falle von den Plasmaklumpchen, lasse ich dahingestellt sein.

Das Ende der Fibrillen hat also durchaus Ähnlichkeit mit Cilien und funktioniert wie sie. Sie können ja bekanntlich auch bei vielen Arten eingezogen und eingeschmolzen werden. Das Plasmamaterial

¹⁾ HAMBURGER, l. c.

von *Astrorhiza* ist aber dasjenige, woraus wir uns Muskeln und Nerven hervorgegangen denken können. Die Expansion des Muskels ist auch ein aktiver Vorgang. Auch horizontal liegende Muskeln, ja auch einzelne Muskelfasern, an denen kein Zug ausgeübt wird, verlängern sich nach Verkürzung wieder von selbst (HÜRTHLE¹⁾).

Nun könnte unser Objekt endlich auch einiges Licht auf die Ursache der Plasmabewegung überhaupt werfen. Die Oberflächenspannungstheorie ist heutzutage ziemlich verbreitet. Eigentlich besagt diese Theorie, wenn man sie auf ihr Wesen zurückführt, herzlich wenig. Daß dort, wo Plasma sich hervorwölbt, oder eine Pseudopodie sich bildet, die Oberflächenspannung verringert sein muß, versteht sich eigentlich von selbst, sonst könnte natürlich kein Austritt des Plasmas vor sich gehen. Die Oberflächenspannungstheorie besagt eigentlich etwas ganz allgemeines. Es kommt nur darauf an, ob die Ursache einer Verminderung der Plasmaspannung von außen zufällig induziert wird, oder ob die Lokalisation eine gewisse Zweckmäßigkeit bekundet. Es kommt mit einem Worte wiederum, wie überall in der Morphologie, auf die Frage der Lokalisation der Vorgänge an. An und für sich können wir ja immer bei jeder Plasmabewegung von verringerter Oberflächenspannung sprechen, um so mehr, als wir die Oberflächenspannung nicht messen und deswegen nicht kontrollieren können. Leider hat RHUMBLER sich überall mit Modellen begnügt, aber nirgends selbst die Oberflächenspannung am lebenden Objekt zu verändern gesucht, obgleich ihm mit dem ihm eigenen Scharfblick der Mangel der Modellmethode wohl bekannt ist.

Uns interessiert nun folgendes Problem: Wenn das Plasma aus der Schale herausgetreten ist, umgibt es sich allseitig radiär mit einem Pseudopodienkranze. Das dauert so lange, bis die Schale entstanden ist. Die beschalteten Formen senden, soviel ich gesehen habe, nur aus einer, zwei oder höchstens drei Öffnungen gleichzeitig Pseudopodienbündel, und immer unter gewissen Winkeln. Aus ganz entgegengesetzten Enden werden Pseudopodienbündel nur dann herausgestreckt, wenn das Tier die Schale verläßt. Die Verschiedenheit dieses Verhaltens ist schwer durch zufällige Oberflächenspannungsdifferenzen zu erklären, wenn sie nicht von innen bedingt sind.

Nach solchen Andeutungen und bedenkend, daß die Fähigkeit zur spontanen Lokalisation morphologischer Vorgänge gewiß schon auf

¹⁾ HÜRTHLE, K., Über die Struktur der quergestreiften Muskelfasern von Hydrophülen im ruhenden und tätigen Zustand. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 126.

der niedrigsten Stufe des Lebens vorhanden sein muß, halte ich die ausschließliche Induzierung von außen für *Astrorhiza* im gegebenen Falle und auch für alle Sarcodinen für wenig wahrscheinlich¹⁾.

Anknüpfend an eine in seinem Lehrbuch²⁾ und auch mündlich mir gegenüber geäußerte Meinung meines Freundes Prof. GURWITSCH, glaube auch ich, daß die Quellung vielleicht der Prozeß ist, in dem wir die Ursache des Hervortretens eines Pseudopodiums zu suchen haben. Die hohe innere Reibung, die Viskosität des Plasmas von *Astrorhiza* deutet schon darauf, daß wir ein hydrophiles Kolloid vor uns haben. Zwischen Quellung und innerer Reibung—also Viskosität—besteht nämlich ein Parallelismus. Säuren begünstigen die Quellung, zu gleicher Zeit aber erhöhen sie die innere Reibung. Stellen wir uns vor, daß an dem Orte, wo ein Pseudopodium gebildet werden soll, eine Säure entsteht. Die Säure ruft eine lokale Quellung des Plasmas hervor. Außerordentlich geringe Mengen von Säuren genügen schon, um mächtige Quellungserscheinungen bei Kolloiden und auch speziell Eiweißkörpern hervorzurufen. Parallel mit der Quellung steigt die Viskosität³⁾ und das Plasma erhält die Eigenschaften, die es sich zu Fibrillen umformen und nachträglich kontrahieren lassen. Dieser Umstand erklärt uns, warum, wenn wir *Astrorhiza* leicht mit dem Deckglase drücken, das Plasma heraustritt, aber in weitem Strome sich verteilt, ohne ein Pseudopodium zu bilden. Hier ist das Plasma nur unter dem Einfluß verminderter Oberflächenspannung hervorgeronnen. Wäre es eine durch Säuren bedingte Quellung, würde es nicht so formlos sich im Wasser verteilen, sondern dank seiner Viskosität eine dickere oder dünnere Pseudopodienform erhalten. Wie außerordentlich Säuren die Quellbarkeit erhöhen, beweisen die Experimente H. FISCHERS⁴⁾. Fibrin quillt z. B. bei 0,02 nHCl um das 48 male seines anfänglichen Volumens. Nicht nur feste Körper können quellen, auch zähflüssige. Die äußere Plasmaschicht gehört aber jedenfalls zu den quellbaren Körpern.

Ich hatte an Rotatorien, Nematoden und Tardigraden folgende

¹⁾ Etwas prinzipiell ganz Ähnliches, wie RHUMBLER, lehrte für die Form CASP. FR. WOLFF. Nach ihm durchbricht der Saft die Haut der Pflanze, fließt heraus und erstarrt. Die Richtung und Geschwindigkeit der Säfteströmung verursacht die Form.

²⁾ GURWITSCH, AL., Vorlesungen über allgemeine Histologie. Jena 1913.

³⁾ Vgl. PŘIBRAM, E., Die Bedeutung der Quellung und Entquellung für physiologische und pathologische Erscheinungen. Kolloidchemische Beihefte. Bd. II. Heft 1/2. 1910. (S. 53—54.)

⁴⁾ FISCHER, H., Die Nephritis. Dresden 1911.

Experimente im anabiotischen Zustande gemacht. Ich versetzte die Tiere ins Wasser, aber ohne Zutritt von Sauerstoff, d. h. in einer Atmosphäre von Wasserstoff, welcher beständig neu gebildet durch das Gefäß durchgelassen wurde. Die Tiere quollen nicht auf, während die in gewöhnlicher Atmosphäre mit Wasser gehaltenen Kontrolltiere sehr schnell quollen. Ähnliches hatte GURWITSCH¹⁾ an trockenen Pflanzen beobachtet. Die Quellung des lebenden Plasmas und eines gewöhnlichen Gels ist also nicht ganz gleich. Nun wissen wir aber durch eine Reihe von Experimenten (CORTI, KÜHNE, HOFMEISTER), daß auch Amöben und Rhizopoden keine Pseudopodien bilden und alle Bewegungen sistieren, wenn sie in sauerstofffreier Atmosphäre sind. Auch hier können wir einen direkten Hinweis darauf finden, daß Bewegung und Quellung wesensgleich sind.

An der Hand der geschilderten Beobachtungen und Experimente, die die lebende Substanz als solche behandeln, komme ich zu folgender Vorstellung über die Bewegung derselben. Die Literatur der Frage ist noch unlängst so ausgezeichnet, obgleich nicht ganz widerspruchslos, von BIEDERMANN²⁾ verarbeiteten worden, daß ich mich hier mit wenigen Hinweisen begnügen kann.

Trotz der großen chemischen Verschiedenheit des Plasmas ist dessen Bewegung in der Hinsicht einer einheitlichen Behandlung geeignet, als sie je nach der Konsistenz Übergänge zeigt.

Nach unserer Ansicht sind also kleine Unterschiede in der Alkalität oder im Säuregehalt maßgebend. Sie rufen an bestimmten Stellen eine Quellung des Plasmas hervor. Die Oberflächenspannungstheorie (QUINCKE, BÜTSCHLI, RHUMBLER, JENSEN u. a.) ist selbstverständlich, denn wo das Plasma hervorquillt, muß eo ipso auch die Oberflächenspannung verändert sein. Es entsteht nun die Frage, wodurch sie vermindert wird. Die Ansichten VERWORN³⁾ von der Oxydation als Ursache der Verminderung der Oberflächenspannung sind wohl kaum stichhaltig, wie es auch BIEDERMANN⁴⁾ schon nachgewiesen hat. Sich auf ganz zufällige Schwankungen zu beziehen, wäre deswegen wenig rationell, weil diese uns nicht die jedenfalls streng gesetzmäßigen Reaktionen, welche auch den psychophysischen Gesetzen unterworfen sind, als Tropismen, Aus-

¹⁾ l. c.

²⁾ BIEDERMANN, W., Vergleichende Physiologie der irritablen Substanzen. *Ergebn. d. Physiol.* 8. Jahrg. 1909.

³⁾ VERWORN, M., Die Bewegung der lebenden Substanz. Jena 1892.

l. c.

schlüpfen aus alten Schalen, Neubauten usw. erklären. Unsere Anschauung verträgt sich aber gut mit der Oberflächenspannungstheorie. Sie erklärt uns, auf welche Weise eine aktive, d. h. spontane Bewegung zustande kommt, während die Oberflächenspannungstheorie nur passive Bewegungen kennt. Sie erklärt, auf welche Weise eine Lokalisation projiziert werden kann. Die Frage der Lokalisation an und für sich freilich bleibt natürlich offen, als gleichbedeutend mit der Lösung der Frage zweckmäßigen Geschehens, d. h. der Lokalisation morphologischer Prozesse überhaupt.

Ruft somit ein vergrößerter Säure- oder Alkaligehalt an gewissen Stellen eine Quellung hervor, so hängt es von der Konsistenz des Plasmas ab, welche Form dies hervorquellende Plasma annehmen wird, ob die Form eines Lobopodiums, eines Filopodiums, oder eines Rhizopodiums, zumal alle möglichen Übergänge zwischen diesen Formen existieren.

Unsere Anschauung erklärt auch die neueren Beobachtungen DELLINGERS¹⁾ und selbst die rollende Bewegung, welche JENNINGS²⁾ bei *A. verrucosa* beobachtete. Ich hoffe auch, daß es experimentell gelingen wird, solche Schwankungen in Säure oder Alkaligehalt durch vitale Färbung nachzuweisen, bis dahin bleibt sie aber eine Hypothese.

Ob nun unsere Ansicht von der Rolle der Quellung beim Hervortreten der Pseudopodien richtig ist oder nicht, oder ob die Oberflächenspannung durch andere Ursachen vermindert wird, diese Frage lassen wir nun beiseite. Wodurch auch immer eine Längsstreckung des Plasmas entstehen mag, als Folge dieser Längsstreckung tritt wenigstens bei *Astrorhiza* eine Fibrillenbildung auf. Wir sahen schon oben, daß wir die spontane Ausdehnung des Plasmas durch Ausziehen desselben mit einer Pinzette ersetzen können, und daß auch dann das Plasma in Fibrillen zerfällt, zwischen welchem undifferenziertes Plasma zurückbleibt. Die Fibrillenbildung ist also etwas ganz Passives. Überall, wo das Plasma eine gewisse Viskosität erlangt, tritt dieselbe ein; überall wo eine Zelle kontraktile Fäden bilden will, muß sie sich entweder selbst in die Länge strecken, oder in ihrem Inneren durch Strömungen oder andersartige Spannungen die Fibrillen bilden. Die Bildung von Fibrillen durch die Funktion selbst stimmt mit unseren Experimenten gut überein. ROUX³⁾ erkannte die Bedeutung der Spannung für diesen Prozeß und drückte sich (1883) sehr

1) DELLINGER, l. c.

2) JENNINGS, l. c.

3) ROUX, W., Gesammelte Abhandlungen. Abt. I. S. 549.

klar darüber aus: »Mir scheint es wahrscheinlich, daß zur Fibrillenbildung überhaupt von außen her erzeugte Zugspannung nötig ist, weil nur so die Kontinuität der Primitivfibrillen durch viele Zellterritorien hindurch verständlich wird.« Die Fibrillen sind im lebenden Zustande kontraktionsfähig und doppelbrechend.

Unter unseren Begriff von Fibrillen können wir die Faserkegeln in Darmepithelzellen und Flimmerzellen bringen, die doppelbrechend sind. Die Fibrillen im Spermatozoenschwanz, die vielleicht, wie die Enden der Pseudopodien, bei *Astrorhiza* Kontraktilität mit Skelettfunktion verbinden. Hierher gehören auch die Muskelfibrillen (Myoide) der Infusorien mit ihrer blitzschnellen Kontraktion.

Schwieriger ist die Frage über die Natur der Strahlungen in der Spindel. Die Untersuchungen DRÜNERS¹⁾ und BRAUS²⁾ sprechen durchaus dafür, daß wir es mit Fasern zu tun haben, die kontraktile sind. Mit unserer Anschauung von der Passivität der Fibrillenbildung, wonach ein mechanischer Zug vorhanden sein muß, wo eine Faser gebildet wird, verträgt sich gut die Strömungstheorie. Gerade die Strömung ruft die Faserbildung hervor. Künstlich ist ja zentrale Strahlung durch Dehnung beim Ei von Knochenfischen hervorgerufen worden. Die Sphären entziehen dem Plasma Flüssigkeit, dieses wird zäher, und durch den Zug zerfällt es in Fibrillen.

Wie steht es nun aber mit den Lobopodien? Bei diesen sehen wir jedenfalls kein Zerfallen in Fibrillen. Es existieren aber allmähliche Übergänge von Filopodien zu Lobopodien. Instrukтив ist in dieser Hinsicht *Diffugia*. Die Experimente DELLINGERS³⁾ weisen auf eine Kontraktilität auch bei Lobopodien hin, und es ist sehr wahrscheinlich, daß auch hier der zähere Teil — die Ektoplasmaschicht — kontraktile ist. Dadurch würde sich auch die rollende Bewegung der *Amoeba verrucosa* nach JENNINGS⁴⁾ erklären. Einen indirekten Beweis der Kontraktilität auch des nichtfibrillären lebenden Plasmas sehen wir an den schwingenden Bewegungen der Pseudopodienenden unserer *Astrorhiza*, die wohl ebenso erklärt werden muß, wie die Bewegungen von Geißeln und Cilien nach ERHARD⁵⁾, im gegebenen Falle durch Kontraktilität des die zentralen Fibrillen um-

¹⁾ DRÜNER, L., Studien über den Mechanismus der Zellteilung. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 29.

²⁾ BRAUS, H., Über Zellteilung und Wachstum des Tritoneies. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 29.

³⁾ l. c.

⁴⁾ JENNINGS, l. c.

⁵⁾ ERHARD, H., Studien über Flimmerzellen. Arch. f. Zellforsch. Bd. 4. 1910.

gebenden Plasmas. GREEF¹⁾ beschrieb für *Amoeba fibrillare* deutliche Faserung. Die Beobachtung ist leider weder widerlegt, noch bestätigt worden; aber erstens könnten wir auch den Lobopodien Kontraktilität zuschreiben, denn Kontraktilität ist nicht an fibrillöse Struktur gebunden, wie ein Stoff wie der Kautschuk es lehrt, zweitens aber fand PAUL SCHULTZ²⁾ für glatte Muskelfasern, daß die Anisotropie nur dann deutlich hervortritt, wenn mehrere Fasern zusammenliegen; einzelne isolierte Fasern erhellen das dunkle Gesichtsfeld nicht merklich. Es scheint mir im Interesse einer einheitlichen Erklärung der Kontraktion demnach nicht glücklich, wenn BIEDERMANN³⁾ in seinem verdienstvollen und anregenden Sammelreferate das Phänomen der Kontraktion an die Myofibrillen gebunden sein läßt, und wo er solche nicht entdecken kann und keine Doppelbrechung sieht, aber doch ein Zusammenziehen des Plasmas zu bemerken ist, es nicht auf Kontraktilität zurückführen will.

HÜRTHLE⁴⁾, wie auch vor ihm KÖLLIKER⁵⁾, sehen die Fibrillen der quergestreiften Muskeln als ihrer ganzen Länge nach kontraktile an. Wirklich einfach brechende Querschnitte sind nach MEYER gar nicht vorhanden, da die Anisotropie der *Q*-Schicht von der Mitte zu den Seiten hin allmählich abnimmt, um in den Querschnitten *Z* am geringsten zu sein. Diesen Ideen nach stehen die quergestreiften Muskeln den glatten nahe, welche wiederum nur einen speziellen Fall der Myofibrillenbildung, wie sie bei *Astrorhiza* auftritt, darstellen.

Was die sogenannte Körnchenströmung betrifft, die so lebhaft längs den Pseudopodien von *Astrorhiza* wie auch anderen Reticulosa vor sich geht, so sehe ich in ihr einen speziellen Fall desselben Gesetzes. Auch sie beruht meiner Ansicht nach auf lokaler Quellung und Kontraktion, wobei die Lokalisation dieses Prozesses in jedem Plasmaklumpchen von den Reizen abhängt, die das betreffende Plasmastück treffen. Beobachtet man ganz unvoreingenommen die einzelnen Plasmaklumpchen, wie sie längs der Pseudopodien wandeln, bald schnell dahinfließen, bald stille stehen, sich nach einer Stelle wälzen, besonders aber, wenn eine Beute in das Plasmanetz gerät,

1) GREEF, Über den Organismus der Amöben. Biol. Zentralbl. Bd. 11. 1891.

2) SCHULTZ, PAUL, l. c.

3) BIEDERMANN, l. c.

4) HÜRTHLE, l. c.

5) KÖLLIKER, Zur Kenntnis der quergestreiften Muskelfasern. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 47. 1888.

zu dieser hinkriechen, so muß man jedes Klümpchen als eine kleine Amöbe ansehen und ihre Bewegung durch dieselben Gesetze zu erklären suchen, die für die Amöbe als Ganzes herrschen.

Der Kern unserer Lehre und die Vereinfachung in der ganzen Anschauung von der Plasmabewegung und der Muskeldifferenzierung liegt darin, daß es dehnende Kräfte sind, welche die Teilchen im Plasma in der Längsrichtung orientieren. Die Fibrillenstruktur ist funktionelle Differenzierung. Es liegt hier also keine Präformation vor, sondern nur eine Wiederholung lokalisierter Prozesse, die bei gegebenen allgemeinen Eigenschaften der Hyle als Resultat bestimmte Strukturen ergeben. Es würde uns zu weit führen darauf einzugehen, wie nahe eine solche Art des Verwirklichungsprozesses mit Ansichten über die Vererbung stehen, die z. B. in jüngster Zeit von BAUR¹⁾ ausgesprochen wurden.

Es bleibt nur noch übrig, einige Experimente zu beschreiben, durch welche ich kernlose Plasmamassen von *Astrorhiza* erhielt. Diese Experimente bekräftigten mich noch mehr in meiner Überzeugung von der Kontraktilität des Protoplasmas, wenn es eine gewisse Konsistenz erlangt hat.

Wenn wir eine nackte *Astrorhiza* auf einen Objektträger mit wenig Wasser legen oder einen schwachen Strom auf dieselbe durch eine Pipette vollführen, so zieht sich der zentrale Körper allseitig zusammen — kontrahiert. Diese Kontraktion kann man leicht makroskopisch beobachten. Der ganze Körper kugelt sich ab. Die Kontraktionsfähigkeit muß also dem ganzen Plasmaklumpen, oder wenigstens einer äußeren zähen Schicht eigentümlich sein.

Als Folge dieser Kontraktion reißen die Pseudopodien leicht vom Zentralkörper ab. Der zentrale Körper läßt sich so aus dem Pseudopodiennetze herauschälen und auf dem Glase bleibt ein Kranz von Pseudopodien zurück.

Dieser kernlose Pseudopodienkranz verhält sich folgendermaßen: Die Strömung des Plasmas geht ruhig weiter. Die Enden der Rhizopoden machen tastende Bewegungen und wachsen in die Länge. Überhaupt sieht man keinen Unterschied in der Bewegung zwischen kernhaltigen und kernlosen Stücken. Die Strömung ist auch durchaus nicht verlangsamte. Dagegen sieht man Plasmatropfen sich hin und her bewegen, ohne eine endgültige Richtung einzuschlagen. Die

¹⁾ BAUR, Einführung in die experimentelle Vererbungslehre. Berlin 1911.

Teilung der Pseudopodien, d. h. die Aussendung von Ästen aus dem Hauptstamm, kann man gleichfalls gut beobachten.

Diese Prozesse führen ungefähr nach einer Stunde zu einem sonderbaren Gebilde: es entsteht nämlich ein Filzwerk von Pseudopodien (Taf. V Fig. 23), längs welchem Plasmotropfen strömen. Die Richtung der Strömung ist nicht konstant. Nirgends aber bilden die Fäden wieder einen kompakten Plasmakörper. Zentripetal wird somit die ganze Fläche vom Plasmanetze ausgefüllt. Noch immer schießen neue Fäden gleich Raketen hinaus. Die Klebrigkeit dieser Plasmafäden läßt sich auch leicht nachweisen: Tusche- und Karminkörner bleiben an den Fäden kleben. Wenn wir einen einzelnen Plasmotropfen beobachten, so kommt er auf ein Karminkörnchen los, umschließt dasselbe, löst sich wieder von ihm und fließt weiter.

Ganz anders ist das Verhalten, wenn eine lebende Beute ins Netz gerät. Eine ciliate Infusorie klebte an einem Faden fest. Bald kamen Plasmotropfen herbeigekrochen und umschlossen die Beute (Taf. V Fig. 25). Plötzlich platzte das Infusorium und es begann die langsame Verdauung der Beute. Am nächsten Tage konnte man nur noch den Kern des Infusoriums sehen.

Solche Pseudopodiennetze ohne Kern lebten bei mir fast zwei Tage. Sie könnten gewiß noch länger am Leben gehalten werden, wenn es gelänge, sie vor Bakterien zu schützen. Der Tod trat in der Weise ein, daß zuerst sich amöbenartige Klumpen bildeten, die abstarben und eine Schaumstruktur aufwiesen. Die Pseudopodien bewegten sich auch dann noch fort. Vor dem Tode verschmolzen auch sie.

Auf Schnitten durch ähnliche zu gleicher Zeit ausgekrochene *Astrorhiza* überzeugte ich mich, daß der Kern von einer dicken Kernmembran umgeben ist (Taf. VI Fig. 26). Er ist so groß, daß man ihn mit bloßem Auge sehen kann. Im Plasma liegen keine Chromidien.

Nach den eben angeführten Resultaten kommen wir zu dem Schlusse, daß der Kern 1) nicht die Bewegung des Plasmas beherrscht, 2) nicht die Form beherrscht, die ein Resultat dieser Bewegung ist; außerdem können kernlose amöbenartige Plasmotropfen sich teilen und 3) ist die Verdauung auch ohne Kern möglich, aber vielleicht nur deswegen, weil schon vordem Fermente ins Plasma ausgeschieden worden sind. Wahrscheinlich liegt im Kern das Oxydationszentrum, wie es LOEB annimmt, und das Laboratorium für die Bildung von Fermenten. In den Chromosomen etwas anderes als wie Reize wirkende

Stoffe, Fermente oder Hormone zu sehen, dazu gehört eine Naivität, die wir anderen Forschern überlassen.

Nicht in allem stimmen meine Resultate mit dem überein, was bisher über kernlose Plasmamassen bekannt geworden ist. So sieht HOFER¹⁾ im Kern ein Regulationszentrum und beschreibt die Plasmabewegungen ohne Kern als ungeordnet. STOLČ²⁾ ist anderer Ansicht. Erinnern wir uns, daß in unseren Fällen Plasmafäden »zu Hilfe strömen«, um eine Beute zu umschließen. Verdauung sah auch STOLČ (gegen HOFER), leugnet aber die Assimilation, was nach meiner Ansicht schwer zu beweisen wäre. PROWAZEK³⁾ hat bei *Trypanosoma rhodensis* kernlose Formen gefunden, die dieselbe Gestalt wie die kernhaltigen Parasiten besitzen. Auch hier wäre die Morphologie, wie in dem von uns eben geschilderten Falle, vom Kerne unabhängig.

GRUBER und BALBIANI wußten auch, daß die Bewegung bei kernlosen Stücken nicht im wesentlichen verändert war. Nach GROSSE-ALLERMANN⁴⁾ haben auch kernlose Stücke von *Amoeba terricola* Wundverschluß. VERWORN⁵⁾ sah gleich mir Nahrungsaufnahme bei kernlosem Plasma und Tötung der Nahrung.

GRUBER⁶⁾ beschrieb, daß die Bewegungsfähigkeit nach einer gewissen Zeit herabgesetzt war; dieses sahen wir auch, wenn die Tiere dem Tode schon nahe waren. Ziellos kann ich die Bewegung nicht nennen, weil der Fang der Nahrung dagegen spricht. Nach HOFER⁷⁾ fehlt Nahrungsaufnahme kernlosen Protozoen infolge des Verlustes der Klebrigkeit, STOLČ⁸⁾ aber beobachtete gleich mir den Fang von Infusorien.

Ähnliche Experimente, wie meine, hatte schon JENSEN⁹⁾ voll-

1) HOFER, Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß des Kerns auf das Protoplasma. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 24. 1890.

2) STOLČ, Über kernlose Individuen und kernlose Teile von *Amoeba proteus*. Arch. f. Entw.-Mech. Bd. 29. 1910.

3) PROWAZEK, S. v., Studien zur Biologie der Protozoen. VI. Arch. f. Protistenk. Bd. 31. 1913.

4) GROSSE-ALLERMANN, W., Studien über *Amoeba terricola* Greef. Arch. f. Protistenk. Bd. 17. 1899.

5) VERWORN, M., Biolog. Protistenstudien. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 46. 1878.

6) GRUBER, K., Biologische und experimentelle Untersuchungen an *Amoeba proteus*. Arch. f. Protistenk. Bd. 25. 1912.

7) HOFER, l. c.

8) STOLČ, l. c.

9) JENSEN, P., Untersuchungen über Protoplasmamechanik. Arch. f. allg. Physiol. (PFLÜGER). Bd. 87. 1901.

führt, indem er bei *Orbitolitis* Pseudopodienbündel dicht am Schalenrande abschnitt. Er beobachtete dann gleich mir allmähliches Nachlassen der Bewegung und Abnahme der Fähigkeit zu kleben.

Wir finden im ganzen eine ziemlich gute Übereinstimmung meiner Experimente über kernlose Rhizopodien mit vielen Untersuchungen an kernlosen Plasmas von seiten anderer Forscher. Die Eigenschaften des Plasmas als Hyle sind nicht zwischen Kern und Plasma verteilt, wenigstens nicht endgültig.

Damit schließe ich für dieses Mal eine Reihe von Beobachtungen, die ich weiter fortzuführen gedenke.

Ich wiederhole noch einmal, daß ich durch meine Anschauungen kein Modell eines lebenden Wesens schaffen will oder den Weg dazu gefunden zu haben glaube, trotzdem die Quellung und Kontraktionsfähigkeit solche Eigenschaften sind, die auch den unbelebten Kolloiden eigentümlich sein können. Wir können gewiß, potentiell wenigstens, uns vorstellen, daß wir künstlich ein quellungs- und kontraktionsfähiges und daher auch bewegungsfähiges Plasma werden herstellen können. Was wir aber erhielten, wäre eine nur leidende und noch ganz bestimmungslose Hyle. In dem Problem, das ich der Lösung näher zu bringen suchte, liegt nicht die Lösung des Lebensrätsels, sondern nur die Lösung dessen, worin die rein stofflichen Eigentümlichkeiten der lebenden Substanz bestehen; und es würde mir leid tun, wenn meine Untersuchung zu einer Umgehung des Formproblems und des Lokalisationsproblems benutzt werden sollte, wie sie RHUMBLER durch seine geistreichen Modelle versucht hat.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel III.

- Fig. 1. Die Spuren von *Astrorhiza* in 24 Stunden, in normalem Maßstabe, das ganze mittlere Feld ist vom Schlamm reingefegt worden.
- Fig. 2. Spuren der Pseudopodien von *Astrorhiza*.
- Fig. 3. *Astrorhiza* aus ihrer Schale herauskriechend.
- Fig. 4. *Astrorhiza* aus der Schale kriechend, sich mit den Pseudopodien an einen Fremdkörper befestigend.
- Fig. 5. *a* zeigt den Schnitt durch die Schale, welche in *b* nach Wochen noch nicht regeneriert war, sondern nur verschlossen.
- Fig. 6. Koloniebildung der *Astrorhiza*.
- Fig. 7. Dasselbe, stärker vergrößert.

Fig. 8. Aus der Schale hervorgekrochene *Astrorhiza*, mit strahlenförmigen Pseudopodien.

Fig. 9. Ein anderes nacktes Exemplar.

Tafel IV.

Fig. 10. Nackte *Astrorhiza*.

Fig. 11. Sich durch ein Pseudopodienbündel fortbewegendes Individuum.

Fig. 12. Fortbewegung durch zwei Pseudopodienbündel.

Fig. 13. Fortbewegung durch drei Bündel.

Fig. 14. Desgl.

Fig. 15. Befestigung eines Pseudopodienendes am Glase.

Fig. 16. Schema der rotierenden Pendelbewegungen eines Pseudopodiums.

Fig. 17. Endverzweigungen von Pseudopodien.

Fig. 18. Künstlich ausgezogenes Plasma.

Tafel V.

Fig. 19. Dasselbe wie Fig. 18.

Fig. 20. Ausgezogene Plasmafäden.

Fig. 21. Desgl. in nicht differenziertem Plasma.

Fig. 22. Plasmotropfen auf einem Pseudopodium.

Fig. 23. Kernloses, aus Pseudopodien entstandenes Gebilde.

Fig. 24. Hin- und Herbewegung eines kernlosen Tropfens.

Fig. 25. Fang einer Infusorie durch Pseudopodien kernloser *Astrorhizen* und Verdauung derselben.

Tafel VI.

Fig. 26. Kern einer nackten *Astrorhiza* im Durchschnitt.

Fig. 27. Dasselbe bei schwächerer Vergrößerung.

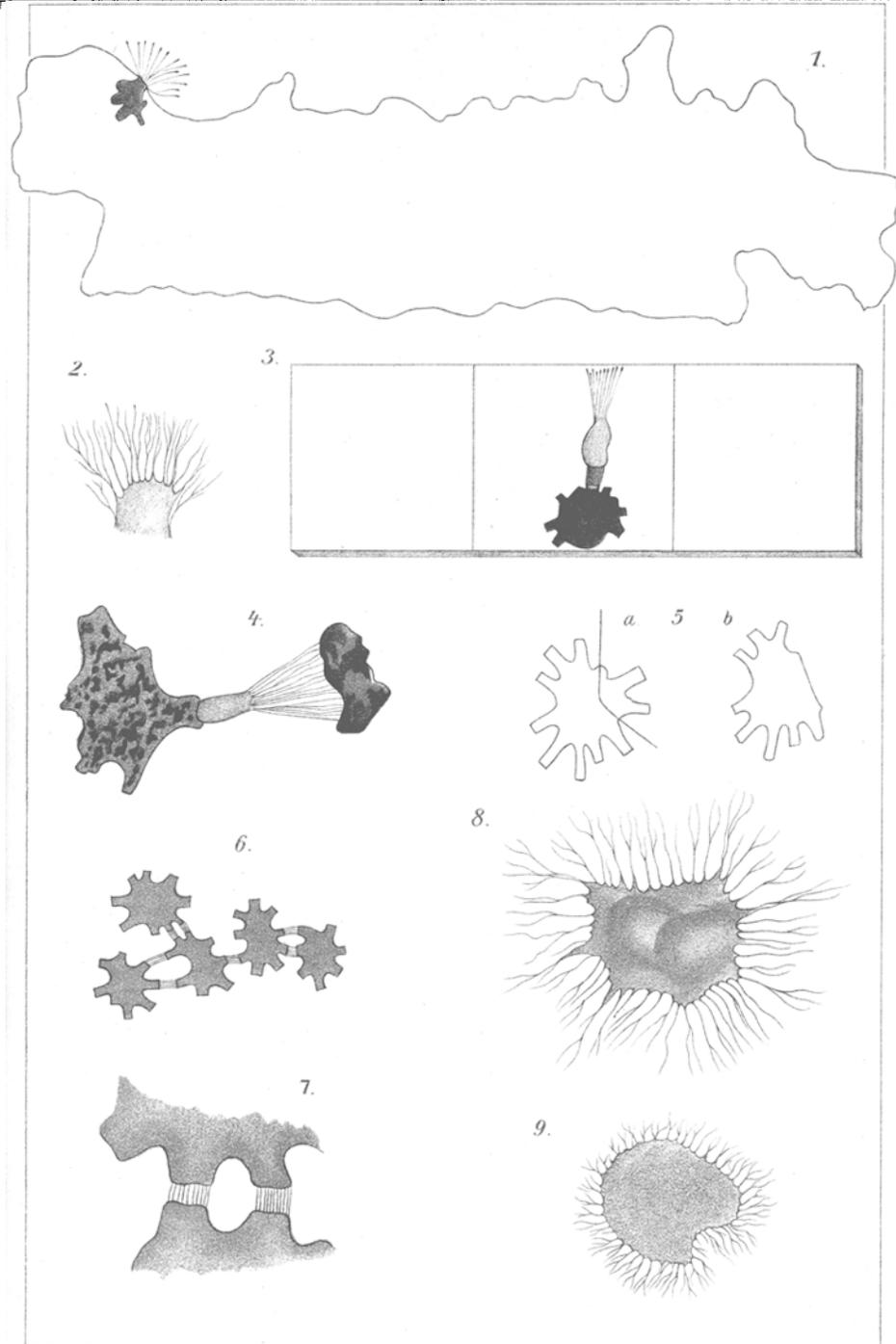
Fig. 28. Doppelbrechende Pseudopodien bei gekreuzten Nikols photographiert.

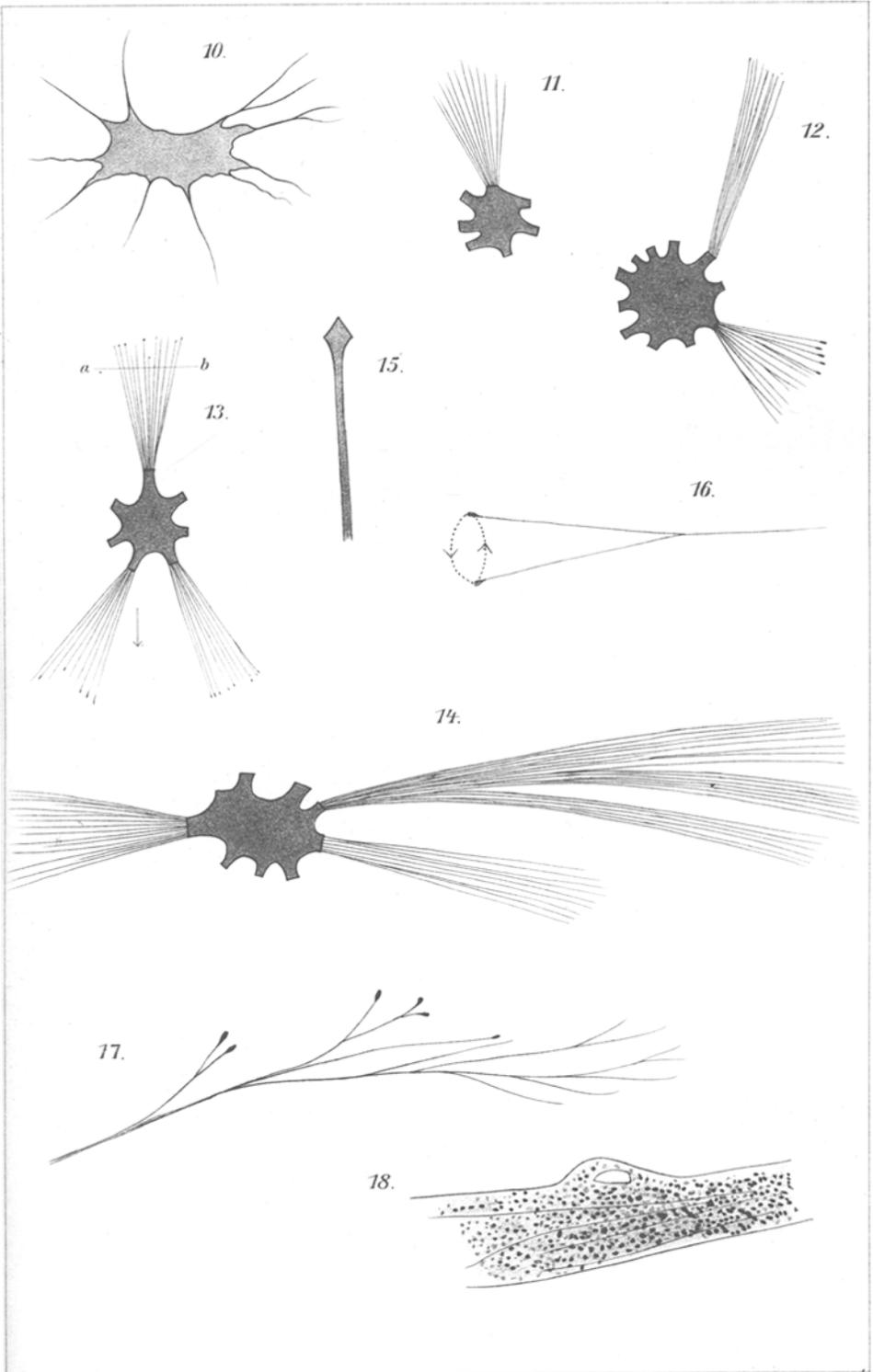


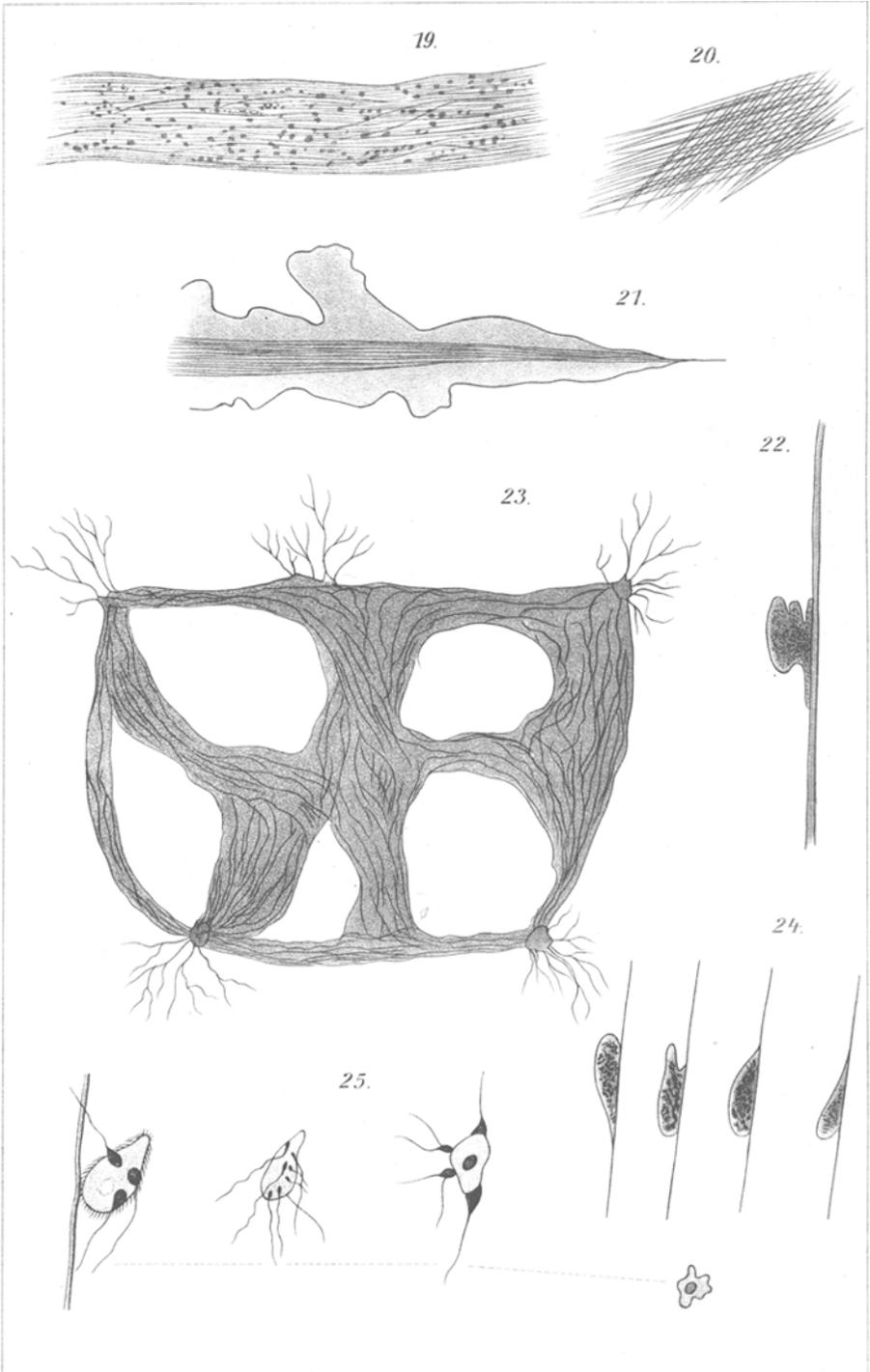
Personale.

Wilhelm Roux wurde zum Ehrenmitglied der American Society of Naturalists gewählt. —

Dies ist eine Gesellschaft berufsmäßiger Naturforscher, welche 1883 gegründet und 1908, entsprechend einem Entwurf von Prof. THOM. H. MORGAN, reorganisiert wurde. Nach dem Bericht des Jahres 1914 umfaßt sie 229 Professoren und 117 Universitätspräsidenten, Kuratoren, Direktoren und junge Assistenten, sowie ein Ehrenmitglied. Die Zahl der letzteren ist auf 5 limitiert. Eine Anzahl der hervorragendsten Entwicklungsmechaniker Amerikas war bereits Jahrespräsidenten, so EDMUND B. WILSON (1900), CHARLES B. DAVENPORT (1906), THOMAS H. MORGAN (1909), HERBERT S. JENNINGS (1911), EDWIN G. CONKLIN (1912), ROSS GR. HARRISON (1913). Diese Wahlen sind sprechende Zeichen des hohen Ansehens, dessen sich die experimentelle kausale Morphologie in den Vereinigten Staaten von Amerika erfreut, wo sie bekanntlich mit großer Energie und mit sehr bedeutendem Erfolge gepflegt wird.







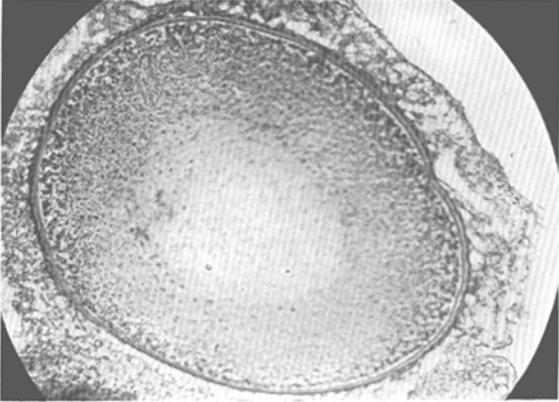


Fig. 26

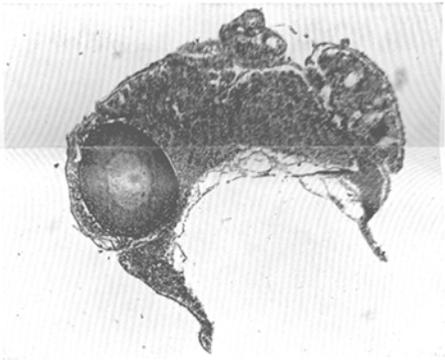


Fig. 27

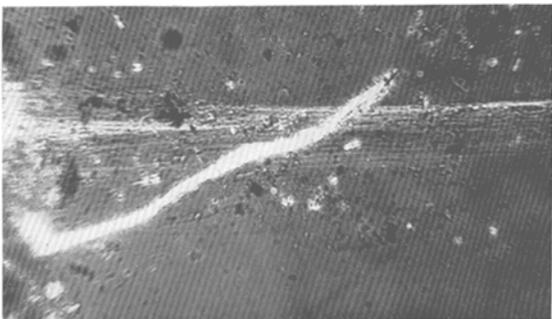


Fig. 28