universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Vorlesungen über vergleichende Anatomie

Einleitung, vergleichende Anatomie der Protozoen, Integument und Skelet der Metazoen, allgemeine Körper- und Bewegungsmuskulatur, elektrische Organe, Nervensystem, Sinnesorgane und Leuchtorgane

Bütschli, Otto

1921

3. Abschnitt. Vergleichende Anatomie der Protozoa

urn:nbn:at:at-ubi:2-6714

3. Unterordnung: Catarrhina. Affen der alten Welt.

Gebiß $\frac{2\,1\,2\,3}{2\,1\,2\,3}$. Nasenscheidewand schmal, Nasenlöcher nach vorn schauend. Backentaschen und Gesäßschwielen häufig. Daumen stets opponierbar (selten rudimentär). Schwanz sehr verschieden, nie Greifschwanz. Seitliche Kehlsäcke bei Teil.

1. *Cynomorpha.* Paviane.

Vordere Extremitäten nicht, oder wenig länger als die hinteren. Mit der ganzen Hand- und Fußfläche auftretend; sich nicht aufrichtend. Gesäßschwielen stets, Backentaschen meist. Schnauze meist stark vorspringend. Unpaarer Kehlsack. *Cynocephalus* (Paviane), *Macacus Cercopithecus* usw. Seit Miocän.

2. *Anthropomorpha.* Menschenähnliche Affen.

Vorderextremitäten sehr stark verlängert. Mit dem Außenrand des Fußes auftretend (Ausnahme Hylobates). Sich häufig aufrichtend. Schwanz verkümmert. Ohne Backentaschen. Kleine Gesäßschwielen nur bei Hylobates. Meist seitliche Kehlsäcke. Coecum mit Processus vermicularis. *Hylobates* (Siamang), *Simia* (Orang), *Anthropopithecus* (Troglodytes, Schimpanse), *Gorilla* (Gorilla). Vorläufer seit Miocän.

3. *Bimana.* Menschen.

Die Unterschiede von den Anthropomorpha sind ausschließlich quantitative. Gebiß wie Catarrhina. Eckzähne nicht oder wenig vorspringend. Schwanzlos. Vorderextremität nicht verlängert. Bewegung nur auf Hinterextremität. Auftreten mit der ganzen Fußsohle; große Zehe nicht oder sehr wenig opponierbar. Körperbehaarung stark reduziert. Mammardrüsen zu Brüsten entwickelt. Homo.

3. Abschnitt.

Vergleichende Anatomie der Protozoa.

Einleitung.

Die Gründe, welche eine gesonderte Behandlung der vergleichenden Anatomie der *Protozoen* erfordern, wurden schon in der Einleitung kurz erörtert. Die untergeordneten Teile oder Organe, aus welchen sich der Protozoenkörper aufbaut, sind Teile einer einfachen Zelle und daher morphologisch unvergleichbar mit den Organen des Metazoenkörpers, die zum mindesten selbst eine einfache Zelle sind, in der Regel aber Komplexe zahlreicher, ja ungeheuer vieler Einzelzellen. So viel berechtigte Vergleichspunkte die Organe der Protozoen und Metazoen daher auch in physiologischer Hinsicht darbieten, so scharf müssen sie morphologisch auseinander gehalten werden. Man hat deshalb auch häufig vorgeschlagen, die Protozoenorgane durch eine besondere Bezeichnung, als Organula, Organoide oder Organellen, von den Metazoenorganen zu unterscheiden.

Eine Übersicht der Protozoenorgane läßt leicht erkennen, daß sie morphologisch nicht gleichwertig sind; nach ihrer Entstehung können sie vielmehr in zwei Kategorien gesondert werden. Eine Reihe der Organellen erweist sich nämlich bei genauerer Untersuchung als Erzeugnisse des Protoplasmas; sei es, daß sie direkt durch Umbildung gewisser Anteile des Zellplasmas entstehen, sei es, daß sie mehr als Produkte des Protoplasmas aufgefaßt werden müssen. Diese Organellen können daher auch eventuell nach ihrem Verlust oder ihrer Rückbildung, ebenso auch bei der Vermehrung vom Protoplasma neu hervorgebracht werden. Wir können sie

daher als die *plasmatischen* bezeichnen. Die *plasmatischen Organellen* selbst lassen sich jedoch wieder unterscheiden, insofern sie nämlich nach ihrer Beschaffenheit als relativ wenig verändertes, in besonderer Weise modifiziertes Plasma anzusehen, und daher auch wie das übrige Plasma als eigentlich lebendig, d. h. an der Hervorbringung der Lebenserscheinungen direkt beteiligt, zu beurteilen sind. Solche plasmatische Organellen können wir daher als *lebendige* oder *euplasmatische* von denen der zweiten Gruppe unterscheiden. Letztere sind, obgleich für die Erhaltung des Lebens der Zellen häufig sehr wertvoll, dennoch nicht eigentlich lebendig, d. h. sie nehmen keinen direkten Anteil an deren eigentlichen Lebensprozessen. Wir können sie daher als *nichtlebendige*, oder besser als *alloplasmatische* von den *euplasmatischen* trennen. Es liegt übrigens auf der Hand, daß diese Unterscheidung im einzelnen häufig bedeutende Schwierigkeiten bietet, da die Lebensvorgänge sehr verwickelt ineinander greifen und das Leben des Zellindividuums sich nicht wohl in einzelne Anteile zerlegen läßt. Auch ist die Herkunft und Entstehung vieler Organellen noch wenig sicher. Andrerseits wird sich jedoch ergeben, daß die Unterscheidung der beiderlei plasmatischen Organe von Wert ist.

Den *plasmatischen Organellen* steht eine zweite Gruppe gegenüber, die wir als *autonome* bezeichnen wollen, insofern sie hinsichtlich ihrer Entstehung auf sich selbst angewiesen sind, d. h. nur auf die Weise neugebildet werden können, daß die schon vorhandenen sich vermehren. Wie wir finden werden, sind es hauptsächlich die *Kerne* (Nuclei), welche diesen autonomen Charakter besitzen; ebenso oder doch prinzipiell ähnlich verhält sich das sog. *Centrosom*, wo es sich findet; endlich gehören zu dieser Kategorie auch die sog. *Chromoplasten* (Farbstoffkörper, Chlorophyllkörper), die jedoch bei tierischen Einzelligen selten vorkommen. Obgleich die Organellen der letzterwähnten Art autonom sind, weil sie, soweit bekannt, nie von dem Plasma hervorgebracht werden, sondern nur durch Selbstvermehrung neu entstehen, so sind sie doch hinsichtlich ihrer Ernährung auf das Plasma angewiesen.

Der folgenden Übersicht der Organellen legen wir eine physiologische Einteilung zugrunde, wie dies ja in der vergl. Anatomie, trotz der Betonung ihres rein morphologischen Standpunktes, noch gewöhnlich geschieht. Eine rein morphologisch-genetische Gruppierung wäre bei dem heutigen Stand unserer Kenntnisse schwerlich durchführbar.

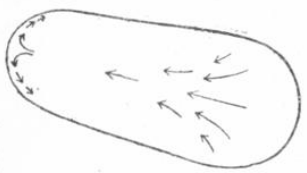
A. Euplasmatische Organellen.

1. Bewegungsorganellen.

Pseudopodien. Die Angehörigen der umfangreichen Abteilung der *Sarcodinen* bewegen sich ohne bleibende, dauernde Organe. Ja es gibt darunter sogar einfache Formen (gewisse Amöben), welche dabei nicht einmal vorübergehend organartige Bildungen hervorbringen. Die charakteristische Bewegungsart der Sarcodinen ist die sog. Plasmabewegung oder amöboide Bewegung, die sich in Strömungsvorgängen des Plasmas äußert, deren Ursachen hier nicht näher erörtert werden können. Im einfachsten Fall strömt das Plasma in der Achse des einzelligen Wesens vor, um,

wenn es die Oberfläche erreicht hat, nach allen Seiten rückwärts umzubiegen (s. Fig. 5); da diese Rückströmung des peripherischen Plasmas fast immer sehr bald stockt, so führt der Axialstrom fortgesetzt einen Überschuß von Plasma nach vorn. Infolgedessen wächst das Vorderende andauernd vor, während das Hinterende gewissermaßen einschrumpft. Es ist ersichtlich, daß die ganze Zelle sich so allmählich vorwärts bewegt, ohne ihre Gestalt wesentlich zu verändern. Da jedoch der ursprüngliche Plasmastrom erlöschen und dafür ein anders gerichteter auftreten kann, so ist mit dieser einfachsten Art der plasmatischen Ortsbewegung dennoch ein zeitweiliger Gestaltswechsel verbunden.

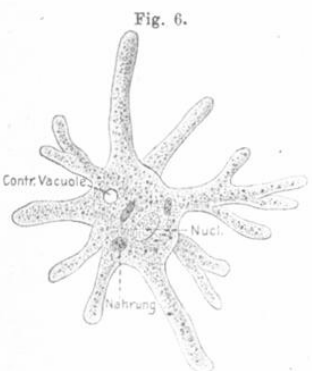
Fig. 5.



Schema der Protoplasmaströmung einer einfachen Amöbe. Die Pfeile geben die Richtung des Stromes an.

Tritt ein solcher Vorstrom des Plasmas mehr lokal am Zellkörper auf, so ruft er an dem Punkt der Oberfläche, gegen welchen er gerichtet ist, das Hervorwachsen eines lappen- bis fingerartigen Plasmafortsatzes hervor, eines sog. Scheinfüßchens oder *Pseudopodiums*. Treten gleichzeitig mehrere solche Ströme gegen die Oberfläche, so bilden sich mehrere Pseudopodien (s. Fig. 6).

Fig. 6.



Amoeba proteus. Nach Leidy (1879). C. H.

Da sich der Strom innerhalb eines solchen Pseudopodiums selbst wieder verteilen und gegen verschiedene Punkte seiner Oberfläche richten kann, so vermögen sich auf diese Weise auch mehr oder weniger verzweigte fingerartige Pseudopodien (Lobopodien) zu bilden. Erlischt die Zuströmung des Plasmas, so hört natürlich das Wachsen des Pseudopodiums auf; treten dann an anderen Stellen des Körpers stärkere Strömungen auf, so wird das Plasma des Pseudopodiums wieder in das allgemeine Körperplasma rückströmen. Natürlich ist mit diesem wechselnden Vor- und Rückströmen von Pseudopodien ein mehr oder weniger energischer amöboider Gestaltwechsel der Zelle verbunden. — Da die Pseudopodien aus dem vorströmenden Körperplasma hervorgehen, so wird der Körper, wenn die Pseudopodien vorwiegend nach einer gewissen Richtung auswachsen, bzw. hervorströmen, in dieser Richtung fortschreiten.

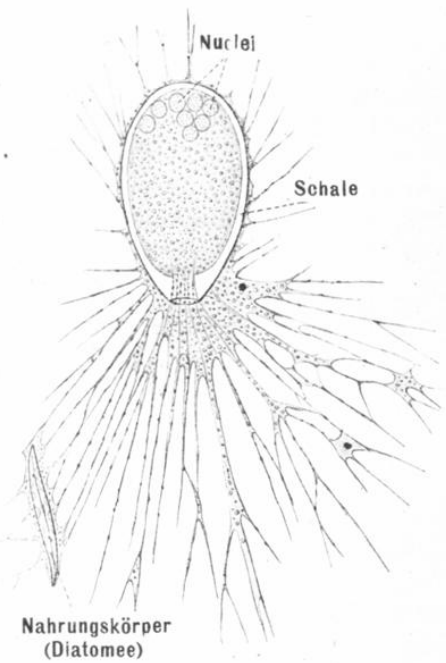
Aus dem Bemerkten folgt, daß die Pseudopodien keine bleibenden Organellen sind, sondern vorübergehende organartige Bildungen, die, wie wir finden werden, auch noch zu anderen Lebensverrichtungen dienen können.

Viele Sarcodinen entwickeln in ähnlicher Weise feinere, mehr fadenförmige, gegen ihr Ende zugespitzte Pseudopodien (Filipodien), die auch häufig mannigfaltig verzweigt sind (s. Fig. 7 und die Fig. 18 u. 19 auf S. 85, 87). Es finden sich alle Abstufungen zwischen den lappig-fingerartigen und den fädigen Pseudopodien. Die Mehrzahl der Sarcodinen, insbesondere die marinen, bilden meist große Mengen

äußerst feiner fadenförmiger Pseudopodien, die sich reich verzweigen und untereinander netzartig verbinden, indem sie sich auf eine weite Strecke im Umkreis der Zelle ausbreiten. Die Ortsbewegung beruht auch hier auf dem lebhaften Strömen solcher Pseudopodiennetze nach einer gewissen Richtung. — Während die fädigen Pseudopodien der Rhizopoden sich meist auf einer Unterlage ausbreiten, strahlen dagegen die ähnlichen der schwimmenden *Radiolarien* allseitig von der Oberfläche des Körpers in das umgebende Wasser aus (s. Fig. 19 S. 87). Auch sie zeigen häufig Netzbildung, wenn auch weniger entwickelt als die der Rhizopoden.

Etwas anders geartet sind die Pseudopodien der gleichfalls meist schwimmenden Sonnentierchen oder *Heliozoen* des süßen Wassers, welche unverzweigte, feinstrahlige Scheinfüßchen allseitig sonnenartig aussenden. Diese Pseudopodien verdanken ihre relative Starrheit, wenigstens bei den größeren Formen, welche eindringendere Untersuchung gestatten, der Anwesenheit eines besonderen Plasmafadens, der ihre Achse durchzieht (Achsenfaden) und sich mehr oder weniger tief in den Zellkörper hinein erstreckt. Bei vielen Heliozoen können die Achsenfäden bis zu einem im Centrum des Körpers gelegenen Körnchen (Achsenkorn, Centrosom) verfolgt werden (s. Fig. 18, S. 85). Da jedoch die Pseudopodien der Heliozoen rückgebildet werden können, wenngleich sie dauerhafter sind als die rasch wechselnden der Rhizopoden, so wird bei der Einziehung auch der Achsenfaden rückgebildet, d. h. verschwindet, anscheinend durch Auflösung im Plasma. Bei der Entwicklung neuer Pseudopodien differenziert er sich, soviel man weiß, von neuem. Ähnliche Achsenfäden wurden auch bei den fadenförmigen Pseudopodien gewisser Radiolarien beobachtet und selbst für die der Rhizopoden als wahrscheinlich vermutet.

Fig. 7.



Gromia oviformis (Rhizopoda). (Nach M. Schultze 1854). C. H.

Undulipodien. Die Bewegungsorganellen, welche wir unter diesem Namen zusammenfassen, verdienen die Bezeichnung echter Organellen in dem Sinne, als sie im allgemeinen dauerhaftere Bildungen sind; hieraus folgt jedoch kein durchgreifender Unterschied gegen die Pseudopodien, weil sich einmal auch die Undulipodien zuweilen rückbilden und neu hervorwachsen können, und weil andrerseits manche Pseudopodien etwas dauerhaftere Gebilde sind. Wichtiger scheint daher

der Unterschied, welcher sich in der Bewegungsweise dieser Organellen ausspricht. Es sind im allgemeinen feinfadenförmige Plasmagebilde, die sich teils hin- und herschwingend, teils eigentümlich schraubenförmig bewegen und dadurch den Zellkörper in Bewegung setzen können. Auch dieser Charakter begründet keine völlige Verschiedenheit von den Pseudopodien, da man an den Pseudopodien gewisser Rhizopoden zuweilen auch schwache schwingende oder pendelnde Bewegungen beobachtet hat. Hieraus wäre wohl zu schließen, daß beiderlei Organe sich aus gleicher Grundlage entwickelten, so verschieden sie auch in ihrer typischen Ausgestaltung erscheinen.

Als bleibende Bewegungsorganellen finden wir die Undulipodien in der Klasse der *Mastigophora* und der Unterklasse der *Ciliata* (der Infusoria). Die Undulipodien der Mastigophoren treten in der Regel in beschränkter Zahl, jedoch in relativ ansehnlicher Länge auf und werden daher seit alter Zeit als Geißeln oder *Flagellen* bezeichnet. Im Gegensatz dazu besitzen die Ciliaten stets sehr zahlreiche, aber kürzere Undulipodien, die man deshalb Wimperhaare oder *Cilien* nennt.

Den *Sarcodinen* und *Sporozoen* fehlen jedoch solche Organellen nicht völlig. Abgesehen von einzelnen sarcodinenartigen Formen, welche ein Flagellum dauernd neben Pseudopodienentwicklung besitzen, treten Flagellen bei gewissen Vermehrungsvorgängen der Sarcodinen und Sporozoen als vorübergehende Bewegungsorganellen auf. Dies dürfte beweisen, daß die Ausgangsformen aller dieser Gruppen die Befähigung zur Pseudopodien- und Undulipodienbildung besaßen.

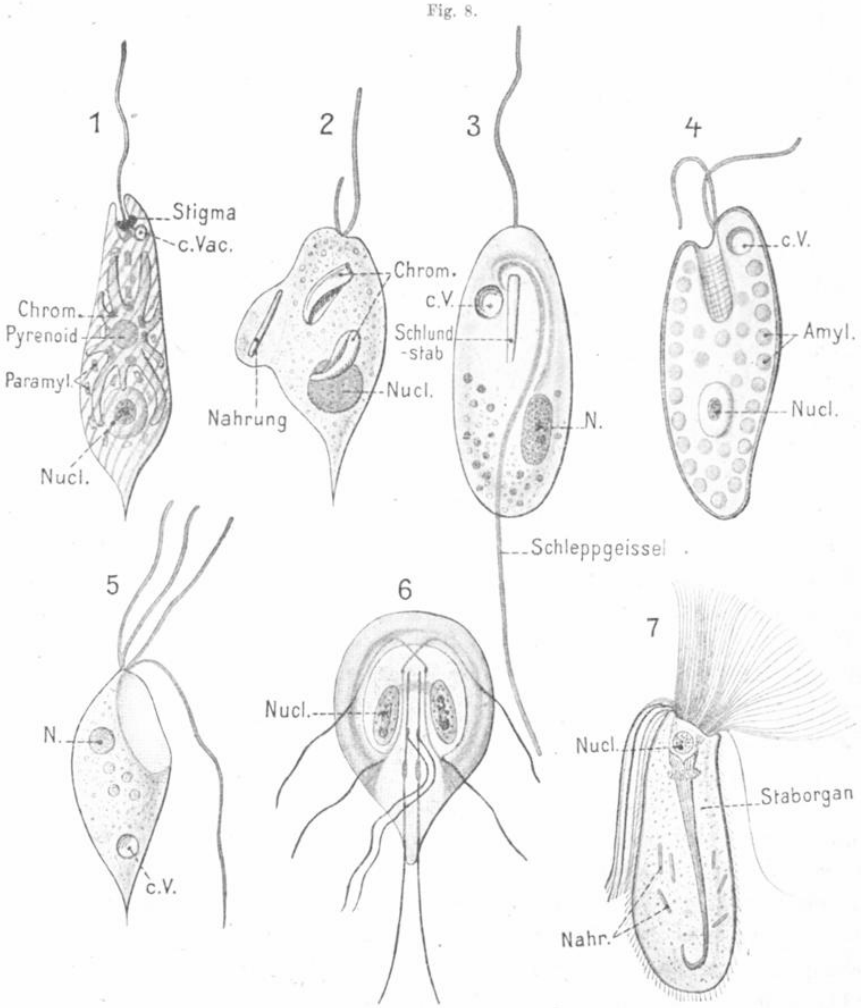
Analog verhalten sich unter den Infusorien die Suctorien (s. Fig. 14 S. 77) zu den Ciliaten. Die festsitzenden Suctorien haben ihre Cilien verloren und bilden sie nur während der Vermehrung auf kurze Zeit vorübergehend wieder aus.

Die *Flagellen der Mastigophoren* sind feine bis sehr feine, nahezu gleichdicke Fädchen, die fast stets von dem bei der Bewegung vorangehenden Körperende entspringen (s. Fig. 8). Ihre Zahl ist meist gering (1, 2, 3, 4 u. mehr); ihre Länge, in bezug auf die der Zelle, dagegen häufig recht ansehnlich. Der Querschnitt der Flagellen erscheint in der Regel kreisrund bis oval; doch finden sich auch bandförmige Geißeln in der Abteilung der *Dinoflagellaten*. Bei Anwesenheit mehrerer Geißeln begegnen wir interessanterweise zuweilen einer morphologischen Differenzierung derselben, womit wohl stets auch ein verschiedenartiges Funktionieren verbunden ist. So kann sich neben einer langen Hauptgeißel eine kleine Nebengeißel finden (Fig. 8^2). Die eine Geißel gewisser zweigeißeliger Formen (Fig. 8^3) kann als eigentliche Bewegungsgeißel nach vorn gerichtet sein, während die zweite ansehnlichere sog. Schleppgeißel nach hinten läuft und zur Änderung der Bewegungsrichtung, aber auch zu gelegentlichem Anheften dienen kann. Eigentümlich ist die Differenzierung zweier Geißeln bei den Dinoflagellaten (Fig. 9 B, S. 72), von welchen die eine bandförmig ist und, in eine äquatoriale Furche der Körperoberfläche eingelagert, den Körper ringförmig umzieht; die kleinere Geißel, von gewöhnlichem Bau, ist dagegen wie eine Schleppgeißel nach hinten gerichtet. — Ein eigentümliches Organ steht mit der Geißel der sog. Choanoflagellaten in Beziehung. Hier (Fig. 9 *A*) erhebt sich nämlich eine äußerst zarte plasmatische Membran um die Geißelbasis und bildet eine Art Kelch oder

Kragen. Dieses Organell dient zum Einfangen kleinster Nahrungskörperchen, die an seiner Außenseite festkleben und an ihr zum Körper herabgleiten.

Wie erwähnt, ist das Flagellum ein fast in seiner ganzen Ausdehnung gleich dicker, feiner Faden; nur das äußerste Endstück erscheint bei größeren Geißeln

Fig. 8.

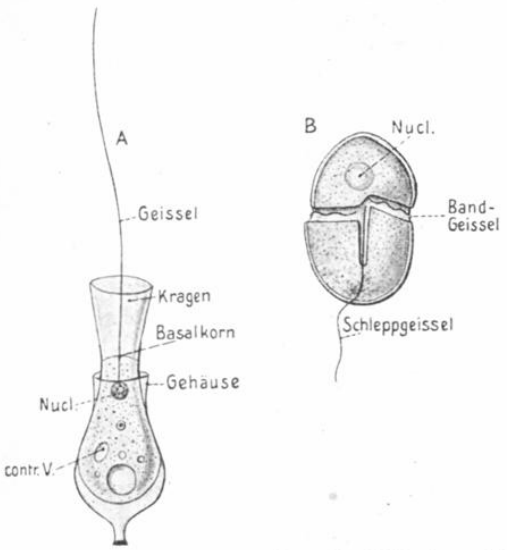


Verschiedene Flagellaten. *1.* Euglena viridis. *2.* Ochromonas mutabilis (nach Senn 1900). *3.* Anisonema acinus (n. Bütschli) v. Rückseite. *4.* Chilomonas paramaecium. *5.* Tetramitus descissus (n. Klebs 1892). *6.* Lamblia intestinalis (n. Wenyon). *7.* Joenia annectens (n. Bütschli und Blochmann). C. H.

etwas dünner. Die dauernde Erhaltung eines solch feinen Geißelfadens ist nur denkbar, wenn er fest ist, oder doch einen festen Faden einschließt. Die neueren Beobachtungen machen es denn auch sehr wahrscheinlich, daß das oben erwähnte Endstück das freie Ende eines solchen Achsenfadens ist, der die Geißel durchzieht,

umhüllt von wenig eigentlichem Plasma (s. Fig. 10*b*). — An der Geißelbasis läßt sich in der Regel ein kleines dichteres und stärker färbbares Körperchen nachweisen, das sog. Basalkörperchen (Basalkorn, Blepharoplast), welches wohl dem Achsenfaden angehört und oberflächlich oder tiefer im Zellkörper liegt. Von ihm ist zuweilen noch ein feiner Faden ins Plasma der Zelle zu verfolgen, manchmal bis zur Kernoberfläche, ja bis in den Kern hinein. Auch diese morphologischen Ergebnisse verstärken die Beziehungen zwischen Flagellen und Pseudopodien, besonders denjenigen mit Achsenfaden. Die möglichen Beziehungen, welche die neuere Forschung zwischen dem Achsenfaden der Flagellen und dem Nucleus oder gewissen Bestandteilen desselben (Centrosom) wahrscheinlich gemacht haben, sind bis jetzt noch zu unaufgeklärt, um hier genauer erörtert zu werden.

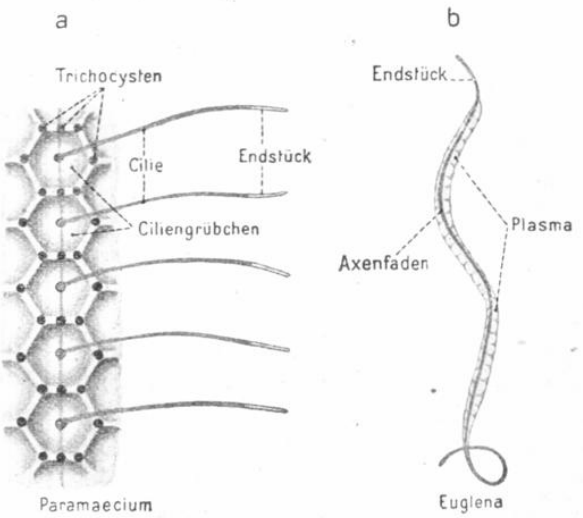
Fig. 9.



Salpingoeca amphoridium (Choanoflagellate) n. Burck 1909. — Glenodinium pulvisculus (Dinoflagellate, nach Stein). C. H.

Cilien. Die kürzeren *Wimpern der Ciliaten* zeigen bei genauer Untersuchung

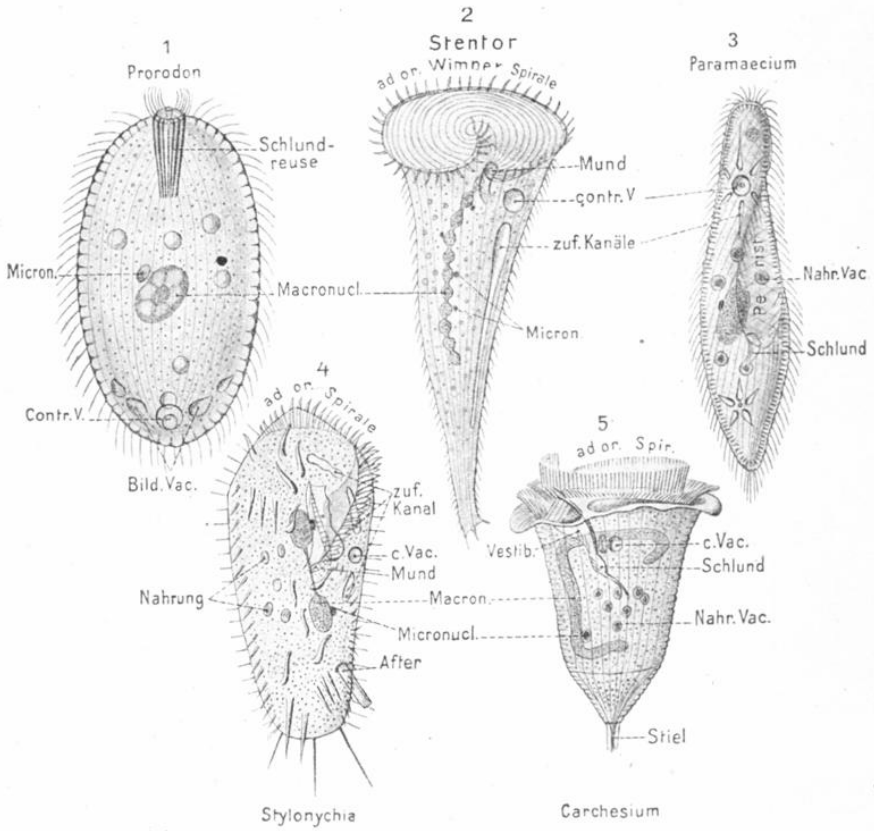
Fig. 10.



a Kleiner Teil der Oberfläche von Paramaecium aurelia mit einer Reihe von Cilien, die in Grübchen entspringen. In den Ecken der Grübchen und in der Mitte der Kanten, die in die Cilienreihe fallen, je eine Trichocyste. Nach Schuberg (1905) und nach Hainsky verändert. *b* Euglena: Isolierte Geißel mit Achsenfaden und Plasma, welches ersteren schraubig umhüllt. Original von 1895. Trockenpräparat, Löfflerfärbung. E. W.

ganz dieselben feineren Bauverhältnisse wie die Geißeln, so daß die morphologische Identität beider Organellen sicher erscheint (s. Fig. 10*a*). Nur selten hat man jedoch bis jetzt an den Cilien fadenförmige Verlängerungen des Achsenfadens in das Zellplasma beobachtet, obgleich Basalkörperchen gewöhnlich vorhanden sind. Dagegen ließen sich an den, genetisch wohl Cilienreihen entsprechenden, sog. Membranellen,

Fig. 11.



Verschiedene Formen von Ciliata. *1.* Prorodon teres (n. Schewiakoff 1889). *2.* Stentor polymorphus (Heterotricha) von der Ventralseite. *3.* Paramaecium aurelia (Holotricha). *4.* Stylonychia mytilus (Hypotricha, n. Stein). *5.* Carchesium polypinum (Peritricha, nach Bütschli u. Schewiakoff). C. H.

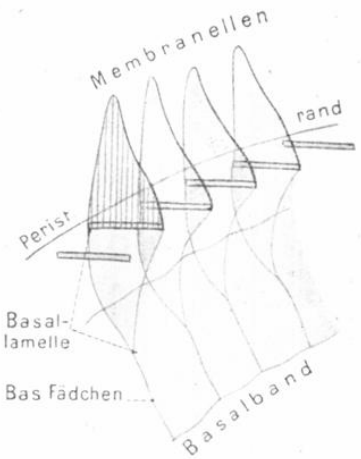
von welchen weiter unten die Rede sein wird, blättchenartige Verlängerungen in das Plasma deutlich wahrnehmen, die sogar sämtlich durch einen Faden oder ein Band verbunden sind (s. Fig. 12). Vermutlich handelt es sich funktionell um eine Stützeinrichtung für diese Organellen.

Die äußerst reichhaltige morphologische Verteilung und Anordnung der Cilien der Ciliaten kann hier nur in den Grundzügen kurz berührt werden. Der ursprünglichste Zustand ist wohl sicher der einer gleichmäßigen Bedeckung der Körperoberfläche mit Wimperhaaren (Holotricha, Fig. 11[1,3]); dabei stehen jedoch die Cilien

in der Regel deutlich in Längsreihen, die in Meridianen oder häufig auch etwas schraubig vom vorderen zum hinteren Körperpol ziehen. Aus solchen Zuständen können sich jedoch durch teilweise Rückbildung der Wimperhaare auf gewissen Körperstrecken recht mannigfaltige Bewimperungsverhältnisse ableiten.

Bei den hypotrichen Ciliaten (s. Fig. 11 [4]) beschränkt sich die Bewimperung auf die Bauchseite, indem sich gleichzeitig die Wimpergebilde häufig zu dickeren, griffel- bis borstenartigen Organellen entwickeln. Eine solche Differenzierung der Ciliengebilde kann sich bei gewissen Ciliaten auch im Vorkommen einzelner geißelartiger, längerer Cilien neben gewöhnlichen aussprechen; ebenso im Auftreten steifer unbeweglicher Härchen zwischen den beweglichen, oder auf der sonst cilienlosen Dorsalseite der Hypotrichen.

Fig. 12.



Kleiner Teil der adoralen Spirale von Stentor. Die Membranellen setzen sich mit ihren sog. Basallamellen ins Innere fort und verschmälern sich zu den sog. Basalfädchen, die sich, sowie die inneren Partien der Lamellen, an das sog. Basalband heften. Schematisch. (Nach Schröder 1906). Schr.

Die wichtigste und interessanteste Differenzierung von Ciliengebilden findet sich jedoch bei der Mehrzahl der Ciliaten (Spirotricha) in Verbindung mit der Mundöffnung und Nahrungsaufnahme. Eine bandförmige, meist etwas spiral verlaufende Zone eigentümlicher Ciliengebilde umzieht hier einen Teil des Vorderendes und führt direkt in den Mund und Schlund. Diese adorale Wimperzone (oder Spirale) wird von einer Reihe drei- bis viereckiger schwingender, plasmatischer Blättchen, sog. *Membranellen*, gebildet (Figur 11 [2, 4, 5]). Wahrscheinlich dürfen wir diese Membranellen (s. Fig. 12) als aus einer oder zwei Reihen Cilien entstanden auffassen, deren Plasma verschmolzen oder doch nicht gesondert ist, während sich ihre Achsenfäden erhalten haben und die feine Längsstreifung der Membranellen bilden. Auch die dicken Cilienborsten der Hypotrichen können vielleicht als Bündel vereinigter Cilien aufgefaßt werden, da sie sich sehr leicht zerfasern.

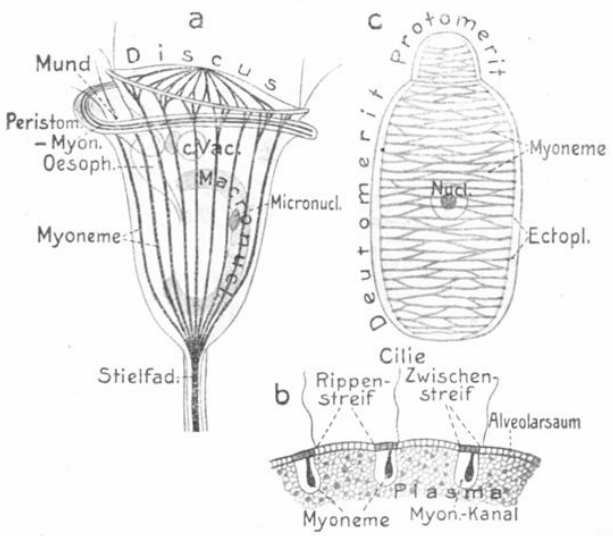
Daß sich die adorale Zone an der Körperbewegung beteiligt, ist selbstverständlich, und deshalb auch begreiflich, daß sich bei gewissen Ciliaten die gesamte Bewimperung fast oder ganz auf diese Zone reduziert (Fig. 11 [5]). Häufiger ist diese Reduktion jedoch mit dauernder Festheftung verbunden (bei den meisten Peritrichen).

Eine an die Membranellen anschließende besondere Art beweglicher Organellen sind endlich die sog. undulierenden Membranen, welche bei gewissen Ciliaten in Verbindung mit der Mundöffnung vorkommen, jedoch auch schon bei einigen Flagellaten neben Geißeln enwickelt sind.

2. Ecto- und Entoplasma, Pellicula, Myoneme.

Der gestaltsveränderliche, Pseudopodien aussendende Zellkörper der Sarcodinen besitzt in der Regel kein festeres, plasmatisches Häutchen der Körperoberfläche, obgleich anzunehmen ist, daß die äußerste Grenzschicht des Plasmas zähflüssiger ist als das Innere. Diejenigen Protozoen aber, die eine von der Kugelgestalt abweichende dauerhafte Form haben, besitzen ein, wenn auch häufig sehr zartes solches Häutchen, eine sog. *Pellicula* (Cuticula), deren Entstehung durch Erhärtung und Veränderung der äußeren Grenze sicher erscheint. Dennoch tritt auch bei den Sarcodinen zuweilen eine Differenzierung der oberflächlichen Plasmaregion auf. Manche Rhizopoden besitzen eine äußerste Plasmazone von hyaliner

Fig. 13.



Myoneme von Protozoen. Schematisch. *a* Vorticella (nach O. Schröder 1906). *b* Stentor, Querschnitt durch Körperoberfläche. Myoneme, im Querschnitt in besonderen Kanälen. *c* Clepsidrina munieri (Gregarine) nach Aimé Schneider. Schr.

Beschaffenheit, ein sog. Ectoplasma, das sich dauernd oder auch nur vorübergehend von dem körnigen und wahrscheinlich auch flüssigeren Entoplasma sondert. Sehr charakteristisch tritt eine solche Differenzierung zweier Plasmazonen meist bei den Heliozoen hervor (s. Fig. 18, S. 85). Bei gestaltsbeständigen Mastigophoren, Sporozoen und Infusorien finden wir überall die vorhin erwähnte Pellicula von bald äußerst feiner, bald etwas dickerer und resistenterer Beschaffenheit. Bei größeren Formen (speziell Gregarinen, Ciliaten) erlangt auch das die Pellicula unterlagernde äußerste Plasma eine besondere, von dem Entoplasma abweichende und starrere Beschaffenheit, und wird dann als Ectoplasma oder Corticalplasma unterschieden. Bei gewissen Ciliaten kann man sogar verschiedene Schichten dieses Ectoplasmas erkennen.

Das Ectoplasma vermag außer den schon besprochenen Undulipodien besondere Bewegungsorganellen hervorzubringen, welche befähigt sind, sich wie die contrac-

tilen Elemente der Muskelzellen zu verkürzen (kontrahieren) und so Gestaltsveränderungen der Zelle zu bewirken. Bei den Ciliaten, welche solche *Myoneme* besitzen, verlaufen sie in der Regel als zarte Fädchen dicht unter den längsgerichteten Cilienreihen in dem äußersten Ectoplasma (s. Fig. 13), und bewirken daher bei ihrer Kontraktion eine Zusammenziehung des Körpers in der Längsrichtung. Bei den Peritrichen (Glockentierchen) finden sich außer solch längsgerichteten Myonemen noch verschiedene anders verlaufende im Bereich der adoralen Zone und deren Umgebung (s. Fig. 13*a*). Ferner ist bei gewissen festsitzenden Formen dieser Gruppe das hintere Körperende zu einem fadenförmigen contractilen Fortsatz ausgewachsen, der in steilen Schraubenwindungen einen hohlen cuticularen Stiel durchzieht, auf dem die Zelle sitzt (s. Fig. 13*a*). Die Kontraktionen dieses sog. Stielmuskels bringen den Stiel zum Zurückschnellen; die Elastizität seiner cuticularen Wand streckt ihn wieder aus.

Unter der Pellicula größerer Gregarinen findet sich im Ectoplasma gleichfalls ein System feiner Myoneme (s. Fig. 13*c*), die jedoch den Zellkörper quer umgürten und daher bei der Kontraktion ringförmige Einschnürungen erzeugen. Diese Myoneme sind netzartig verbunden, eine Erscheinung, die auch bei den Peritrichen vorkommt.

Die genaue Untersuchung dickerer Myonemfäden ließ Andeutungen von Querstreifung an ihnen wahrnehmen.

3. Einrichtungen zur Nahrungsaufnahme.

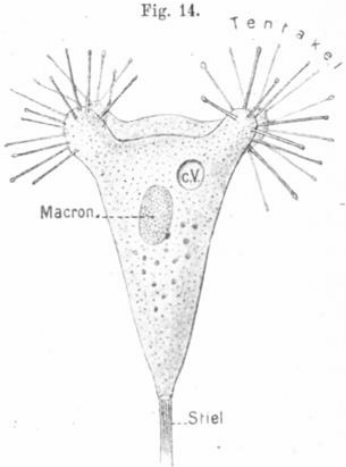
Parasitische Protozoen (z. B. Sporozoen, Opaliniden) nehmen häufig keinerlei feste Nahrung auf und besitzen daher auch keine Einrichtungen zur Nahrungsaufnahme, oder haben die ehemals vorhandenen rückgebildet. Den pseudopodienbildenden Sarcodinen dienen die Scheinfüßchen auch zur Nahrungsaufnahme. Nahrungskörper können hier im allgemeinen an jeder beliebigen Stelle der Körperoberfläche eingeführt werden. Gröbere, lappige Pseudopodien umfließen den Nahrungskörper und verschmelzen endlich um ihn, wodurch er in das Plasma gelangt. — Feine reticuläre Pseudopodien heften sich in größerer Zahl an einen Nahrungskörper (s. Fig. 7, S. 69), fließen um ihn zu einer Plasmapartie zusammen, oder führen ihn auch in den Zellkörper selbst, indem sie eingezogen werden.

Bei den von einer festen Pellicula umschlossenen Einzelligen lokalisiert sich die Nahrungsaufnahme notwendigerweise auf eine bestimmte Stelle der Körperoberfläche (Cytostom), die dazu besonders eingerichtet ist, indem hier die Pellicula fehlt, also die Einführung von Nahrung in das zähflüssige innere Plasma möglich ist. Bei kleineren Mastigophoren kann sich ein solches Cytostom als eine nicht weiter ausgezeichnete Stelle an der Geißelbasis finden. Zuweilen besteht auch die Einrichtung, daß sich an dieser Stelle zeitweise eine kleine Vacuole, ein Flüssigkeitstropfen, im Plasma bildet, in den kleinste Nahrungskörperchen durch die Geißel geschleudert werden können. Wie schon oben erwähnt, dient bei den Choanoflagellaten der zarte plasmatische Kragen um die Geißelbasis zum Fang kleinster Nahrungskörper, welche dann an der Kragenbasis in das Körperplasma eindringen. — Selten kann sich an der Mundstelle gewisser Flagellaten auch eine

röhrenförmige Einstülpung der Pellicula in das Zellinnere bilden, eine Art Zellschlund zur Einfuhr der Nahrung. Zuweilen steht mit der Mundstelle ein eigentümliches Stütz- oder Staborgan in Verbindung (Fig. 8[3], S. 71).

Viel komplizierter entwickelt sich das Cytostom der Ciliaten (s. Fig. 11, S. 73). Bei den ursprünglichsten Formen lag es wohl am vorderen Körperpol; sehr häufig wird es jedoch mehr oder weniger auf der Bauchseite nach hinten verlagert. Im einfachsten Fall ist es eine rundliche bis schlitzförmige Unterbrechung der Pellicula und des Ectoplasmas, so daß an dieser Stelle Nahrungskörper in das freiliegende Entoplasma eingeführt werden können. Bei höherer Entwicklung bildet sich eine besondere, mehr oder weniger lange, röhrenförmige Plasmamasse, welche sich schlundartig dem Cytostom anschließt und auch wie ein Schlund funktioniert. Wahrscheinlich ist sie ectoplasmatischer Herkunft. Häufig findet sich um diesen Schlund eine Art Schlundreuse (Fig. 11[1]), die aus längsgerichteten Stäbchen besteht, die den später zu erwähnenden Trichiten wohl verwandt sind. Im untätigen Zustand ist die Mundstelle solcher Ciliaten meist nahezu geschlossen und öffnet sich erst bei der Nahrungsaufnahme. Die Schlundreuse dürfte vorwiegend als Stützapparat dienen.

Fig. 14.



Tokophrya quadripartita (Suctoria) nach Bütschli C. H.

Bei den meisten Ciliaten ist der an das Cytostom anschließende Schlund nach einem andern Plan gebaut. Indem sich nämlich das Ectoplasma, samt der Pellicula, von der Mundstelle aus röhrenförmig ins Zellinnere einsenkt, bildet sich ein kürzerer bis längerer Schlund (Fig. 11[2–5]). Seiner Entstehung entsprechend ist er stets mit einer inneren Bewimperung ausgerüstet, der Fortsetzung der Körperbewimperung, die zur Einstrudelung der Nahrung in den stets offen stehenden Mund dient, oder zu ihrer Weiterbewegung in der Schlundröhre. Bei den Spirotrichen ist es die oben erwähnte adorale Zone, welche sich in den Schlund fortsetzt. Doch können auch noch mancherlei besondere Wimpergebilde als Hilfsorgane zur Nahrungsaufnahme in der Mundgegend entwickelt sein. Ansehnlich lange Schlundbildungen können sich sogar in verschiedene Abschnitte differenzieren (Peritricha, Fig. 11[5]).

Ganz isoliert stehen die nahrungsaufnehmenden Organellen der Suctorien. Es sind lange fadenförmige Fortsätze des Vorderendes (Saugtentakel) oder auch der gesamten Körperoberfläche (Fig. 14). Jeder Tentakel ist ein feines hohles Röhrchen, dessen Achsenkanal sich zuweilen noch selbständig in das innere Körperplasma fortsetzt. Das distale Tentakelende erscheint häufig knopfartig verdickt. Im einfachsten Fall findet sich nur ein einziger Saugtentakel; gewöhnlich sind jedoch zahlreiche vorhanden, die dann häufig auf lappenförmigen Vorsprüngen zu

Gruppen vereinigt stehen. Sie funktionieren in der Tat als Organellen, welche das Plasma kleiner Ciliaten aussaugen. Morphologisch könnte man daran denken, den einfachen Saugtentakel aus der besonderen Umbildung eines ursprünglichen Cytostoms herzuleiten, und eine successive Vermehrung solcher Cytostombildungen annehmen. Die genetische Ableitung der Suctoriententakel von Pseudopodien, die häufig versucht wurde, erscheint dagegen aus verschiedenen Gründen wenig wahrscheinlich.

4. Einrichtungen zur Ausstoßung unverdauter Nahrungsreste.

Während die Nahrungsreste bei den Sarcodinen im allgemeinen an beliebigen Stellen der Körperoberfläche austreten können, dient hierzu bei den mit Pellicula versehenen Mastigophoren und Infusorien in der Regel eine besonders vorgebildete Stelle der Oberfläche, ein *Zellenafter* oder *Cytoproct*. Bei den Mastigophoren ist Näheres hierüber wenig bekannt; das Cytoproct der Ciliaten dagegen wurde vielfach beobachtet. Da man es gewöhnlich nur im Moment der Ausstoßung der Nahrungsreste bemerkt, so kann es sich nur um eine minutiöse Unterbrechung der Pellicula und des Ectoplasmas handeln. Das Cytoproct kann an sehr verschiedenen Stellen vorkommen (Fig. 11[4], S. 73), ja selbst (Peritricha) in den Eingang des Schlundes (Vestibulum) rücken.

5. Stoffwechselorgane.

Das Auftreten und Verschwinden von wässerigen Flüssigkeitstropfen (Vacuolen) im Entoplasma der Protozoen ist eine sehr gewöhnliche Erscheinung. Da es sich dabei meist um vorübergehende Abscheidung wässeriger Flüssigkeit handelt, so können solche Vacuolen, ähnlich den Pseudopodien, nicht als wirkliche Organellen angesprochen werden, sondern nur als temporäre Abscheidungen des Plasmas. Manchmal kann die Vacuolisation so reichlich werden, daß das gesamte Plasma, oder auch nur gewisse Regionen desselben, grobblasig oder alveolär erscheinen. Auf dieselben Vorgänge ist auch das netzig-vacuoläre Entoplasma mancher Ciliaten und der Noctiluca zurückzuführen.

Ein sehr verbreitetes Vorkommen ist der Einschluß der aufgenommenen Nahrungskörper in einen Tropfen wässeriger Flüssigkeit, eine sogenannte *Nahrungsvacuole* (s. Fig. 11[3,5]). Häufig geschieht dies so, daß zugleich mit dem Nahrungskörper etwas Wasser aufgenommen wird. Doch können sich Nahrungsvacuolen auch sekundär, durch Abscheidung von Flüssigkeit um den Nahrungskörper bilden. So wichtig die Nahrungsvacuolen physiologisch als verdauende Höhlen sind, so wenig morphologische Beständigkeit haben sie dagegen im Sinne bleibender Organellen. Sie führen direkt über zu den im Verlauf des Plasma-Stoffwechsels gebildeten mannigfaltigen Produkten organischer und anorganischer Natur: Fetttropfen, Pigmentkörnchen, Stärkekörnern, Kristallen, Excretkörnern, Concretionen u. dgl., die hier keine Besprechung verdienen.

Contractile oder pulsierende Vacuolen. Unter den vacuolären Bildungen des Plasmas begegnen wir jedoch einer besonderen Art, welche größere

Ansprüche besitzt, als wirkliche Organellen bezeichnet zu werden. Dies sind die contractilen oder pulsierenden Vacuolen; im allgemeinen Tropfen wässeriger Flüssigkeit, die sich durch Abscheidung des Plasmas bilden, um an der Körperoberfläche entleert zu werden, nachdem sie eine gewisse Größe erreicht haben. So verbreitet solche Bildungen bei den Protozoen auch sind, so fehlen sie doch den marinen Sarcodinen, den Sporozoen und einzelnen Infusorien. — Die physiologische Funktion der contractilen Vacuolen ist jedenfalls eine sehr wichtige, indem sie nicht nur dem Wasserwechsel des Plasmas dienen, sondern zweifellos auch Stoffwechselprodukte in gelöstem Zustand entfernen.

Die contractilen Vacuolen der einfacheren Sarcodinen (z. B. Fig. 6, S. 68) zeigen ein primitives Verhalten, indem sie bei lebhaft strömendem Plasma in demselben umhergeführt werden können und erst bei der Entleerung an die Oberfläche treten, wo sie platzen. In anderen Fällen bilden sie sich schon direkt unter der Körperoberfläche und springen sogar im Zustand stärkster Anschwellung (Diastole) über sie vor (Fig. 18, S. 85). Bei den *Mastigophoren* (Fig. 8, S. 71) und *Ciliaten* (Fig. 11, S. 73) sind die Vacuolen im Zusammenhang mit der bestimmteren und bleibenden Differenzierung der Körperregionen auch örtlich fest lokalisiert. Ihrer Funktion gemäß bilden sie sich stets nahe unter der Körperoberfläche, etwa im Grenzbereich von Ecto- und Entoplasma. Sowohl ihre Zahl als Lage bietet jedoch die größten Verschiedenheiten. Von der Einzahl bis zur Vielzahl finden wir die mannigfaltigsten Übergänge; ebenso ist ihre Lage bald vorn, bald hinten, bald seitlich eine äußerst verschiedene. Die größeren Infusorien lassen bestimmt erkennen, daß die Pellicula über der contractilen Vacuole stets eine oder mehrere feinste Öffnungen besitzt, durch welche die Entleerung der Vacuolenflüssigkeit geschieht. Bei einzelnen Formen kann diese Öffnung sogar zu einem feinen Kanälchen auswachsen, welches zu der tiefer im Körper liegenden Vacuole führt.

Obgleich die contractilen Vacuolen in hohem Maße den Eindruck wirklicher dauernder Organellen hervorrufen, so gilt dies doch nur in beschränktem Grad, wenn man ihr Entstehen genauer verfolgt. Gewöhnlich treten schon vor der Entleerung (Systole) in ihrer nächsten Umgebung einige kleine Vacuolen auf, die allmählich heranwachsen und während der Systole der contractilen Vacuole an deren Stelle rücken (Fig. 11 [1], S. 73). Während und nach der Systole fließen diese Bildungsvacuolen zu einer neuen Vacuole zusammen. Hieraus folgt, daß es sich nicht etwa um die Wiederfüllung eines bleibenden Organells handelt, sondern daß die neue Vacuole ein ganz neuer Flüssigkeitstropfen ist. Jedenfalls ist jedoch die Stelle des Körperplasmas, wo die contractile Vacuole entsteht, in besonderer Weise differenziert, was ihr eben die Fähigkeit zu fortdauernder Vacuolenbildung verleiht, wenn sich diese Differenzierung auch nicht sichtbar ausspricht. In diesem Sinne also können wir wenigstens die bestimmt lokalisierten contractilen Vacuolen als bleibende Organellen ansprechen.

Der Vorgang der Vacuolenbildung kann bei gewissen Ciliaten in eigentümlicher Weise modifiziert sein, indem statt Bildungsvacuolen flüssigkeitserfüllte Kanälchen in verschiedener, aber konstanter Zahl und Lage um die alte Vacuole auftreten,

welche nach deren Systole zur neuen Vacuole zusammenfließen (Fig. 11 $^{2-4}$, S. 73). Es würde zu weit führen, diese interessanten Komplikationen näher zu erörtern.

6. Stigmata oder Augenflecke.

Bei den Mastigophoren, insbesondere den mit Chromatophoren versehenen Flagellaten, seltener bei farblosen, findet man häufig ein intensiv rot gefärbtes Körperchen an der Körperoberfläche, dicht unter der Pellicula (Fig. 8 ^{1}, S. 73). In der Regel enthält jede Zelle nur ein solches Stigma (früher Augenfleck), selten mehrere. Meist liegt das Stigma dem Vorderende näher, nicht weit von der Geißelbasis. Es besteht aus einer plasmatischen Grundsubstanz, der zahlreiche rote Farbstoffkügelchen (Hämatochrom) dicht eingelagert sind. Die stark lichtbrechenden Körperchen, die gewissen Stigmata auf- oder eingelagert sein sollen (Amylum oder Paramylum) bedürfen genauerer Untersuchung. — Die in älterer Zeit verbreitete Ansicht, daß die Stigmata lichtpercipierende Organellen (Augenflecke) seien, wurde in neuerer Zeit wieder aufgenommen, ohne jedoch experimentell gesichert zu werden. Daß Beziehungen zwischen der Lichtreizung und den Stigmata bestehen, ist nicht unwahrscheinlich, vermutlich aber nicht in dem Sinne einer direkten Reizbarkeit dieser Organellen. Da eine gewisse Abhängigkeit der Stigmata von den Chromatophoren zu bestehen scheint, die sicher zu den autonomen Organellen gehören, so ließe sich eventuell ähnliches auch für erstere vermuten, doch hat die Verfolgung ihrer Vermehrungserscheinungen bis jetzt eher das Gegenteil wahrscheinlich gemacht.

Alloplasmatische Organellen.

1. Trichiten, Trichocysten, echte Nematocysten.

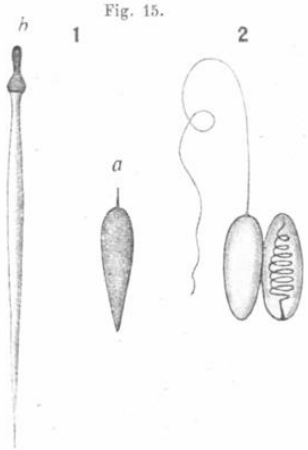
Im Plasma einzelner Ciliaten können sich zarte stäbchenartige Gebilde entwickeln, denen vermutlich meist eine Art Stützfunktion zukommt. Selten tritt ein stäbchenartiges, offenbar stützendes, achsenartiges Gebilde auch im Zellkörper gewisser Flagellaten auf (Fig. 8 ^{7}, S. 71). Die sogenannten Trichiten der Ciliaten haben eine gewisse Ähnlichkeit mit den oben erwähnten Stäbchen der Schlundreuse. Sie können bei einzelnen auch beim Fang der Beute aus dem Mund hervorgeschleudert werden und diese lähmen.

Ähnliche stäbchenartige Gebilde finden sich jedoch häufiger an verschiedenen Stellen der Körperoberfläche der Ciliaten (besonders der Holotricha), vorzugsweise in der vorderen Region, jedoch auch an anderen Stellen; zuweilen auch über die gesamte Oberfläche gleichmäßig verteilt (s. Fig. 11 ^{3} u. 10*a*) Sie liegen dann natürlich im Corticalplasma. Diese Gebilde (Fig. 15, 1*a*) besitzen die Fähigkeit, bei Druck und anderweitigen Einwirkungen plötzlich zu einem vielfach längeren Faden gewissermaßen auszuschnellen (Fig. 15, 1*b*), wobei sie gleichzeitig meist aus der Oberfläche der Zelle herausgeschleudert werden. Die Explosion dieser sogenannten *Trichocysten* findet wahrscheinlich auch spontan zur Abwehr von Angriffen, eventuell auch zur Bewältigung von Beute statt. In anderen Fällen, wo ein Ausschnellen der Trichocysten nicht nachzuweisen ist, wurde dagegen ihr Hervor-

schnellen beim Fang der Beute vielfach angegeben. — Von einer feineren Struktur, welche die Explosion der ausschnellbaren Trichocysten verständlich machen könnte, ist nichts sicheres bekannt. Es ist wahrscheinlich, daß zwischen den Trichiten und den explosibeln Trichocysten Übergänge existieren.

Bei einer peritrichen Ciliate (Umbellaria) finden sich unter der Pellicula zuweilen kleine hohle bläschenartige Körperchen paarweise vereint, die einen feinen, schraubenförmig aufgerollten Faden einschließen (Fig. 15, 2). Durch gewisse Manipulationen gelingt es, diesen langen Faden zum Ausschnellen aus dem Bläschen zu bringen. Letztere Gebilde sind demnach ebenso gebaut wie die in den Zellen gewisser Metazoen auftretenden Nesselkapseln oder Nematocysten. Ob sie bei Umbellaria als Schutzgebilde funktionieren, ist unbekannt. Interessant ist das vereinzelte Vorkommen ähnlicher Nesselkapseln bei Protozoen anderer Abteilungen, so bei der Gattung Polycricos unter den Dinoflagellaten und regelmäßig in den Sporen der Myxo- und Microsporidien. In letzterem Falle dürften die ausschnellbaren Fäden als Haftorgane dienen.

Fig. 15.



1. Trichocysten von Paramaecium aurelia; *a* unexplodiert, *b* explodiert (nach Schuberg 1905 und Hainsky). 2. Nematocystenpaar von Umbellaria, eine der Kapseln explodiert (nach Bütschli, Bronn). E. W.

2. Schutzhüllen, Gehäuse- und Schalengebilde.

Es gibt zahlreiche Protozoen der verschiedensten Abteilungen, welche außer der Pellicula keinerlei Zellhüllen bilden. Andrerseits finden wir in allen Gruppen, mit Ausnahme der parasitierenden Sporozoa, vereinzelter oder regelmäßiger, die Entwicklung schützender Hüllen. Während die Pellicula sich durch ihren innigen Zusammenhang mit dem Plasma, sowie ihre sonstigen Eigenschaften als ein direktes Differenzierungsprodukt des Ectoplasmas erweist, sind die Hüllgebilde morphologisch und chemisch vom Plasma schärfer geschieden. Erstens dadurch, daß sie häufig nicht mehr direkt mit dem Plasmakörper zusammenhängen, letzterer vielmehr von der Hülle zurückgezogen ist; zweitens dadurch, daß die Hüllen aus einer vom Plasma wesentlich verschiedenen chemischen Substanz bestehen, die an den Stoffwechselvorgängen der Zelle keinen Anteil mehr nimmt, und daher auch nicht mehr als eigentlich lebendig gelten kann. — Trotz mancherlei Schwierigkeiten, welche der sicheren Beurteilung der Bildung solcher Hüllen aus dem Plasma entgegenstehen, dürfte ihre Auffassung als Abscheidungen der Plasmaoberfläche die gerechtfertigteste sein, wenngleich ja Abscheidung und Umbildung nicht ganz scharf unterscheidbar sind. Solche Hüllen zeigen daher auch den allgemeinen Charakter der Zellmembranen, wie sie insbesondere den Pflanzenzellen zukommen.

Die einfachste Hüllbildung ist wohl eine wasserreiche Gallertmasse organischer

Natur, die den ganzen Zellkörper umgibt. Dergleichen findet sich regelmäßig bei den marinen Radiolarien (Fig. 19*c*, S. 87), jedoch auch bei gewissen Heliozoen und vereinzelten Rhizopoden. Zu einer solchen Gallerthülle können sich außerdem noch weitere Hüllen oder Schalen gesellen. — Bei sehr vielen Formen wird die Hülle membranös und fest, ja ist sogar häufig mit anorganischer Substanz reich imprägniert. Dann verdient sie die Bezeichnung eines *Gehäuses* oder einer *Schale*. Als unterscheidendes Merkmal von den später zu erörternden Skeletgebilden wäre hervorzuheben, daß Gehäuse oder Schalen von Anfang an als zusammenhängende membranöse Bildungen auftreten und so verbleiben.

Die Substanz der gallertigen Hüllen, sowie die vieler Schalen ist eine stickstoffhaltige organische, wohl meist von albuminoidähnlichem Charakter. Bei den holophytisch sich ernährenden Flagellaten dagegen und Dinoflagellaten ist die Schalensubstanz meist Cellulose und verrät dadurch auch chemisch ihre Identität mit den Zellmembranen der Protophyten und höheren Pflanzen. In der Abteilung der Sarcodinen jedoch, deren Mehrzahl Schalen bilden, tritt meist anorganisches Material an Stelle des organischen, das dann nur noch in geringer Menge beigemischt ist. Die anorganische Schalensubstanz der Rhizopoden ist fast ausschließlich Calciumcarbonat, selten amorphe Kieselsäure (Fig. 16, S. 83, Euglypha). Bei nicht wenig Rhizopoden kann aber die Festigkeit der Schale auch dadurch erzielt werden, daß Fremdkörperchen, Sandkörnchen, Schalengebilde anderer Einzelliger u. dgl. durch eine organische oder anorganische Kittmasse zu einer Schale verbacken (agglutinierte Schalen, Fig. 16, Difflugia).

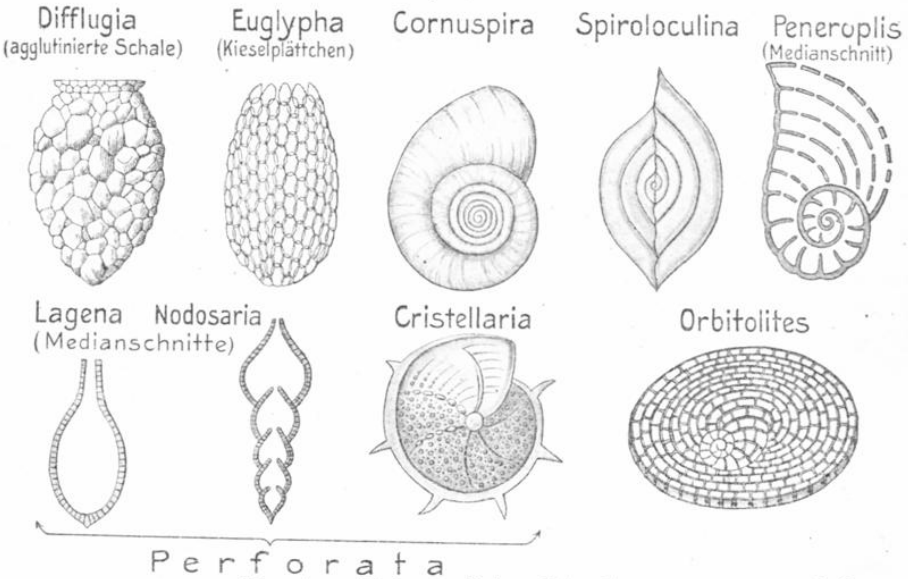
Eine erstaunliche Reichhaltigkeit und eine überraschende Höhe der Komplikation erreichen die Schalen der *Rhizopoden*. Vereinzelter und einfacher finden sie sich bei den Mastigophoren (Fig. 9*A*, S. 72) und Infusorien. Der morphologische Grundbau aller solcher Schalen ist jedoch ziemlich übereinstimmend ein *monaxoner*, etwa becher- bis beutelförmiger, indem der eine Schalenpol eine weitere bis engere Mündung besitzt, durch welche die Zelle mit der Umgebung in Beziehung tritt, während der Gegenpol geschlossen ist (Fig. 7, 9 u. 16). Beiderseits geöffnete Schalen sind sehr selten.

Während die Schalen oder Gehäuse der Süßwasserrhizopoden, der Magistophoren und der Infusorien sich nicht wesentlich über diesen Grundbau erheben, entfalten dagegen die Kalkschalen der marinen Rhizopoden (sog. Foraminiferen) eine Mannigfaltigkeit der Ausgestaltung und Komplikation, welche die analogen Bildungen der Metazoen weit übertrifft. Ein genaueres Eingehen auf die Einzelheiten würde die hier gestellte Aufgabe weit überschreiten; es kann sich allein darum handeln, einige Grundzüge des Baues darzulegen.

Die Komplizierung der Rhizopodenschalen (s Fig. 16) spricht sich zunächst in einer verschiedenen Beschaffenheit der verkalkten Schalenwand aus. Diese ist entweder solid, oder von gröberen bis äußerst feinen, dicht gesäten Poren durchsetzt (Imperforata und Perforata). In letzterem Fall kann das Protoplasma auch durch die poröse Wand auf die Schalenoberfläche treten und allseitig Pseudopodien entwickeln. Ein zweiter Charakter, welcher zur Komplikation der Schalengebilde

führt, hängt mit dem meist fortdauernden Wachstum der Zelle und Schale zusammen. Die seither besprochenen einfachen Schalen (Fig. 7, 16, Difflugia, Euglypha, Lagena) können sich in der Regel durch weiteres Wachsen nicht vergrößern; nur selten findet dies bei vereinzelten statt, deren Schalenmündung etwas seitlich verschoben ist, und führt dann zu einer spiralen Aufrollung der an der Mündung fortwachsenden Schale (Fig. 16, Cornuspira). Der innere Hohlraum aller seither besprochenen Schalen ist demnach einheitlich, eine einfache Kammer (monothalame

Fig. 16.

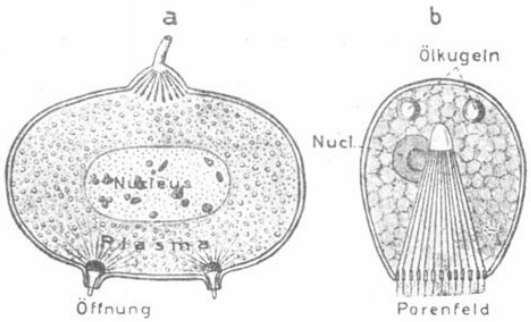


Schemata von Schalen verschiedener Rhizopoden. C. H.

Schalen). Bei andauernd fortwachsenden Schalen, deren Vergrößerung natürlich auch die Folge einer fortdauernden Volumzunahme des Plasmakörpers ist, geschieht das Wachstum in der Regel nicht stetig, sondern periodisch und mehr oder weniger plötzlich. Das Ergebnis hiervon ist, daß sich in den Wachstumsepochen um das aus der Mündung hervorgequollene Plasma rasch ein neuer Schalenabschnitt bildet. Der neue Abschnitt wiederholt etwa die Form der ursprünglichen (ersten) Schale, übertrifft sie jedoch etwas an Größe und ist der Mündung der ersten Schale (Embryonalkammer) als eine zweite Kammer aufgesetzt (Fig. 16, Nodosaria). Das weitere Wachstum führt in entsprechender Weise zur Entstehung zahlreicher folgender Kammern, die successive an Größe zunehmen, und deren Hohlräume sämtlich untereinander kommunizieren. Auf diesem Wege bilden sich die polythalamen Schalen, die sowohl bei den imperforaten wie perforaten kalkschaligen Rhizopoden die Mehrzahl bilden. Die Reichhaltigkeit der Gestaltung und der Art der Zusammenfügung der Kammern bei solch polythalamen Schalen ist so groß, daß von einer Einzelbeschreibung hier nicht die Rede sein kann. Die Wachstumstypen,

welche sich dabei ergeben, sind etwa folgende: Aneinanderreihung der successive sich bildenden Kammern in gerader Linie (Nodosaria, Fig. 16). Weiterhin Krümmung dieser Wachstumslinie in verschiedenem Grade bis zu völlig spiraler Aufrollung der Kammern (Spiroloculina, Peneroplis, Cristellaria, Fig. 16). Dabei können die Kammern sich nur wenig umfassen, so daß sie äußerlich alle sichtbar sind, oder sich teilweise bis völlig umschließen, so daß äußerlich nur eine, oder nur die Kammern des letzten Umgangs der spiraligen Schale zu sehen sind. Häufig werden die spiral aufgerollten Schalen auch asymmetrisch schraubenförmig nach Analogie der Schneckenschalen. — Endlich entwickeln sich auch Schalen, deren Kammern sich so ausdehnen, daß sie zu ringförmig in sich geschlossenen Röhren werden, die sich, in einer Ebene angeordnet, successive umfassen (cyclisches Wachstum: Orbitolites, Fig. 16). Hiermit ist ferner eine sekundäre Teilung der ringförmigen Kammern durch radiäre Scheidewände in kleine Kämmerchen verbunden. Auch sehr unregelmäßige Zusammenhäufung der Kämmerchen polythalamer Schalen kommt vor. — Unsere Schilderung konnte, wie gesagt, nur einige Grundzüge der Vielgestaltigkeit der marinen Rhizopodenschalen andeutend hervorheben. — Die Schalenoberfläche bietet ebenfalls mancherlei Komplikationen dar; so ist sie teils glatt, warzig, gerieft oder bestachelt.

Fig. 17.



Centralkapseln von Radiolarien. *a* einer Phaeodarie (Tripylea). *b* einer Monopylarie. (Nach R. Hertwig 1879). C. H.

Ihrem Wesen nach mit den Schalenbildungen identisch sind auch die sog. Stielbildungen mancher festgehefteter Heliozoen, Mastigophoren und Infusorien (speziell Peritricha und Suctoria, Fig. 11 [5] und 14). Ein Stiel entsteht durch fortdauernde Ausscheidung organischen Schalenmaterials an dem festsitzenden Zellpol. Er kann solid oder hohl sein und erlangt bei einem Teil der peritrichen Ciliaten eine höhere Entwicklung durch den schon oben (S. 76) erwähnten Stielmuskel, welcher ihn zu einem contractilen Organell macht. Bei gleichzeitiger Entwicklung einer Schale sitzt letztere dem apicalen Stielende auf, bildet gewissermaßen dessen Krönung.

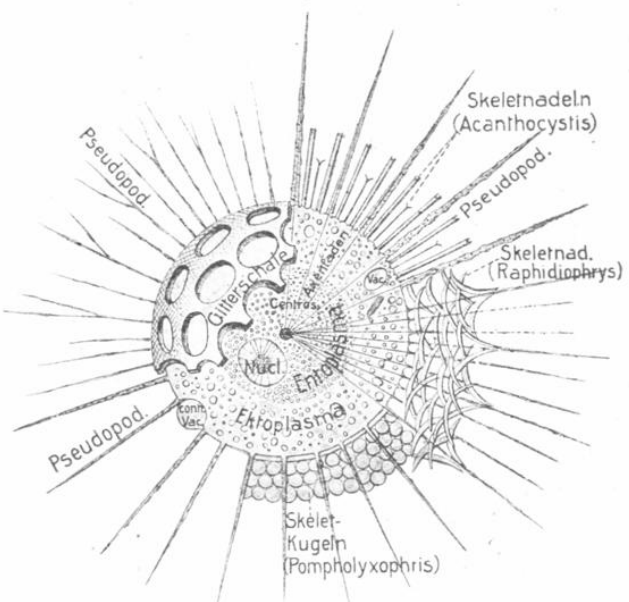
Bei der großen Abteilung der *Radiolarien* findet sich anscheinend nichts von einer Schale, wie sie den Rhizopoden eigentümlich ist. Dennoch läßt sich die sog. *Centralkapsel* der Radiolarien mit einer gewissen Berechtigung als morphologisch entsprechende Bildung betrachten; wenn es auch wahrscheinlich ist, daß sie selbständig entstand, nicht aus einer Rhizopodenschale hervorging. Der wesentliche Charakter dieser Kapsel ist, daß sie nur einen centralen, aber den ansehnlichsten Teil des Plasmakörpers einschließt und ihn von dem peripheren oder extrakapsulären Plasma scheidet (Fig. 19, *a*, *c*, *d*, S. 87). Die Nuclei liegen stets im intra-

kapsulären Plasma. Bei den ursprünglichsten Radiolarien war diese äußerst dünnwandige, aus organischer Substanz bestehende Kapsel wohl regulär kugelig und wie die Schalenwand zahlreicher perforater Rhizopoden, von sehr feinen Poren allseitig dicht durchsetzt (Peripylaria). Durch die Poren stehen intra- und extrakapsuläres Plasma im Zusammenhang, ja das extrakapsuläre kann nach Herausschälen der Kapsel von dem intrakapsulären völlig restituiert werden. — Bei einer anderen großen Abteilung der Radiolarien wurde die Kapsel monaxon, was sich in der Regel schon in ihrer äußeren Form ausspricht, vor allem aber darin, daß die feinen Poren auf ein sog. Porenfeld an einem Kapselpol beschränkt sind (Monopylaria, Fig. 17*b* u. 19*d*). Die Abteilung der Phaeodaria schließlich (Fig. 17*a*) zeigt überhaupt keine feinen Poren ihrer doppelwandigen Kapsel, sondern nur 1–2, meist jedoch drei, seltener auch zahlreichere größere Öffnungen.

3. Skeletgebilde.

Im Gegensatz zu den besprochenen zusammenhängenden Schalen- oder Gehäusebildungen bringen gewisse Sarcodinen große Mengen nicht zusammenhängender

Fig. 18.



Schema von Heliozoe mit Andeutung der verschiedenartigen Skeletgebilde und Pseudopodien. C. H.

Hartgebilde hervor, welche, in eine Gallertmasse eingebettet, den Plasmakörper umlagern, und sowohl als Schutz-, wie als Stütz- und Festigungsgebilde dienen. Derartige Skeletgebilde sind in den Gruppen der *Heliozoen* und *Radiolarien* sehr verbreitet und bestehen fast immer aus amorpher Kieselsäure nebst sehr wenig

organischer Substanz. Eine eigentümliche Abweichung bietet allein die Radiolarien-Gruppe der Acantharia, da ihre Skeletnadeln aus Strontiumsulfat bestehen.

Da es jedoch sowohl nackte, skeletlose Heliozoen als auch ebensolche Formen in den verschiedenen Hauptgruppen der Radiolarien gibt, so dürfte dies anzeigen, daß sich die Skelete dieser verschiedenen Gruppen selbständig entwickelt haben. Dafür spricht auch ihr morphologischer Aufbau in den einzelnen Gruppen.

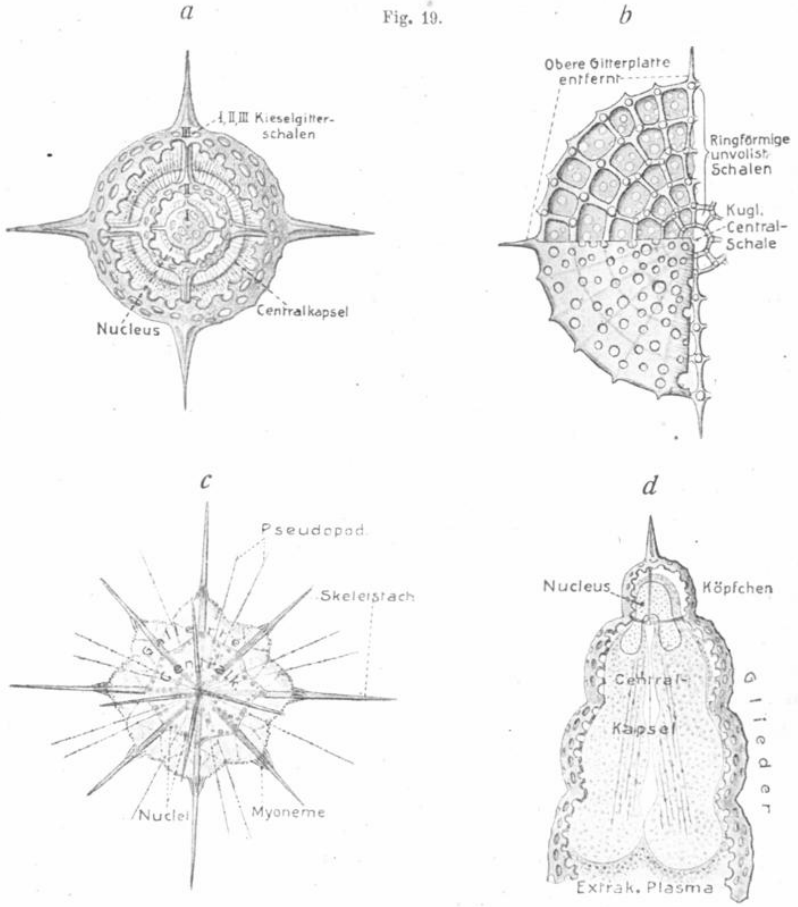
Die Skeletgebilde der Heliozoen und gewisser peripylarer Radiolarien sind isolierte, in keinem Zusammenhang untereinander stehende Kieselnädelchen (Spicula) von einfacher bis verzweigter Bildung, die sich regelmäßiger oder unregelmäßiger um die Zelle herumlagern, von der Gallerte zusammengehalten (s. Fig. 18, Acanthocystis, Raphidiophrys). Bei gewissen Heliozoen können auch kleine Kieselkügelchen statt der Spicula entwickelt sein (Fig. 18, Pompholyxophrys). Nur in einem Fall begegnen wir bei den Heliozoen statt der losen Nadelhülle einer gitterförmig gebauten kugeligen Kieselhülle (Clathrulina, Fig. 18). — Bei den peripylaren Radiolarien sind solche Gitterkugeln dagegen häufiger als lose Kieselgebilde. Der gittrige, weitlöcherige Charakter solcher Skelete macht es wahrscheinlich, daß sie ursprünglich aus der Vereinigung loser Gebilde hervorgingen, d. h., daß ihre Gitterstäbe den losen Spicula gleichwertig sind.

Die überaus große Mannigfaltigkeit und Kompliziertheit, welche die Skeletgebilde der *Peripylaria*, von solch einfachen Gitterkugeln ausgehend, erreichen, verbietet das nähere Eingehen, weshalb wir uns hier darauf beschränken, einige Grundzüge der weiteren Ausgestaltung hervorzuheben. — Zunächst tritt häufig eine mit dem Wachstum der Zelle fortschreitende successive Neubildung solcher Gitterkugeln auf, so daß der ausgebildete Organismus zwei bis viele ineinander geschachtelte besitzt, welche durch radiäre Kieselstäbe untereinander verbunden sind (Fig. 19*a*). Bemerkenswert ist, daß in solchen Fällen die centralen Gitterkugeln durch eigentümliche Wachstumsprozesse ins Innere des Zellkörpers selbst, die innerste sogar in den Zellkern aufgenommen werden. Eine linsenförmige Abplattung der äußeren Gitterkugeln führt zu mehr scheibenartigen Skeleten; ja, indem die zahlreichen äußeren Kugeln unvollständig werden, sich nur noch als Ringe umeinander legen, zu scheibenförmigen Skeleten von sehr eigentümlichem Bau (Fig. 19*b*). Eine besondere Weiterbildung können derartige Skelete dadurch erfahren, daß sie von einem gewissen Stadium ab keine Gitterkugeln mehr bilden, sondern ein äußeres schwammiges Kieselwerk, das die inneren Skeletteile völlig oder teilweise umhüllt.

Ein ganz anderer Skelettypus entwickelte sich in der großen Abteilung der *Monopylaria*, über den hier ebenfalls einige Andeutungen folgen mögen. Wahrscheinlich ausgehend von Formen, bei welchen die Centralkapsel durch drei central verwachsene Kieselstacheln getragen wird, trat bei der Weiterentwicklung, von dem Centrum der Stacheln emporwachsend, zunächst ein Kieselring auf, der in der Ebene des einen Stachels liegt (Fig. 20*B*, *a*, S. 88). Zu diesem Ring gesellt sich ein zweiter (*b*) in der auf dem ersten senkrechten Ebene hinzu. Durch Fortsatzbildung beider Ringe entstand um den erstgebildeten eine gitterförmige, köpfchenartige

monaxone Schale, in deren Wand der zweite Ring einging (s. Fig. 20 *B*, links). Bei den komplizierteren Formen fügen sich an die Basis dieses Köpfchens successive ringförmige Schalenglieder in verschiedener Zahl an, so daß sich mehrgliederige monaxone Skelete entwickelten von helm- bis vogelkäfigartiger, häufig sehr zierlicher Form (Fig. 19 *d*). — Wohl die größte Reichhaltigkeit erlangte die Skeletbildung in

Fig. 19.



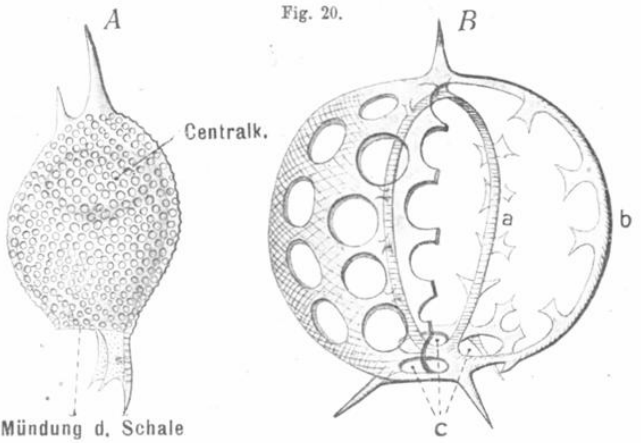
Verschiedene Radiolarien. *a*–*c*. Peripylarien: *a* Actinomma astracanthion; die beiden äußeren Gitterskeletschalen aufgebrochen. *b* Stylodyctia quadrispira. (Nach Haeckel.) Hälfte des Kieselskelets. *c* Acanthometra elastica (Acantharia). *d* Eucyrtidium galea. (Monopylaria), das Skelet aufgebrochen, um die Centralkapsel zu zeigen. Fig. *a*, *c*, *d* nach Hertwig 1879. C. H.

der großen Abteilung der *Phaeodaria*. Dieser Formenreichtum zwingt uns zur Beschränkung auf wenige Bemerkungen. In dieser Abteilung begegnen wir neben Formen mit losen nadelartigen, zum Teil hohlen Skeletgebilden, solchen mit ein bis zwei Gitterkugeln, deren Stäbe zuweilen ebenfalls hohl sind; ferner Formen mit monaxoner, an die monothalamen perforierten Rhizopodengehäuse erinnernden Skeletschalen (Fig. 20 *A*); schließlich Skeleten, die aus zwei muschelartig

zusammengelagerten Gitterklappen bestehen, von denen zuweilen sehr lange und reichverzweigte Stacheln ausgehen.

In mancher Hinsicht eigentümlich sind die Skelete der zu den Peripylaria gehörigen *Acantharien*, welche ja auch durch ihre besondere chemische Natur auffallen. Der von den seither erwähnten Skeletbildungen völlig abweichende Grundcharakter besteht darin, daß sich das Skelet aus radiär angeordneten Stacheln

Fig. 20.



A Protocystis (Phaeodarie). *B* Schema zur Erläuterung des Skelets der Monopylarien. *a* der primäre Skeletring um die Centralkapsel. *b* der hierauf senkrechte sekundäre Ring. In der rechten Hälfte das Skelet so gezeichnet, wie es sich bei den primitiveren Formen erhält, wo es nur aus diesen beiden Ringen besteht. Aus der Bestachelung der Ringe geht bei den komplizierteren Formen die Gitterwand des Köpfchens hervor, wie auf der linken Hälfte gezeichnet. *c* die charakteristischen drei Basallöcher, aus denen bei den mehrgliedrigen Formen die Centralkapsel hervorwachsen kann. An die Basis des Köpfchens setzen sich dann die Glieder an (s. Fig. 1*b d*). C. H.

aufbaut, die bis zum Centrum der Centralkapsel reichen und hier entweder nur fest zusammengestemmt oder verwachsen sind (Fig. 19*c*). Durch verschiedene Zahlen-, Gestalts- und Größenverhältnisse dieser Stacheln sowohl, als auch durch Fortsatzbildungen, die von ihnen ausgehen, entwickelt sich auch bei den Acantharien ein sehr großer Formenreichtum.

B. Autonome Organellen.

1. Chromatophoren (Chromoplasten, Leucoplasten).

Organellen dieser Art kommen unter den Protozoen fast ausschließlich nur den Mastigophoren zu (Flagellaten und Dinoflagellaten; ganz vereinzelt bei Rhizopoden). Auch unter diesen finden sie sich nur bei den Formen, welche sich pflanzlich (holophytisch) ernähren. Die Chromatophoren sind grün bis braun oder gelb gefärbte Körper, welche dem Plasma eingelagert sind. Sie bestehen selbst aus einer plasmatischen Substanz, welche entweder einen rein grünen Farbstoff (Chlorophyll) oder daneben noch einen gelben bis braunen enthält. Ihre Form sowohl als ihre Zahlenverhältnisse sind sehr mannigfaltig. Es gibt Flagellaten mit einem einzigen,

relativ sehr ansehnlichen Chromatophor (z. B. Fig. 8 [1], S. 71, Euglena), solche mit zwei und mehr (Fig. 8 [2], Ochromonas), endlich solche mit sehr vielen, verhältnismäßig kleinen. In letzterem Fall liegen sie gewöhnlich oberflächlich unter der Pellicula. Auf die Mannigfaltigkeit ihrer Form, die von scheibenförmiger bis bandförmiger, auch zerschlitzter bis verzweigter Gestalt variiert, sei hier kurz hingewiesen. Häufig finden sich in der Substanz des Chromatophors 1–2, eventuell auch mehr kleine, kugelige ungefärbte, jedoch intensiv tingierbare Einlagerungen, die sog. *Pyrenoide* (Fig. 8 [1]), um welche sich meist feine Stärkekörnchen oder eine zarte zusammenhängende Hülle von Amylum (oder Paramylum bei Euglenoidinen) finden. — Die physiologische Bedeutung der Chromatophoren ist dieselbe wie die der Chlorophyllkörner der echten Pflanzen. Daß sich auch farblose ähnliche Körper (Leucoplasten) bei gewissen farblosen stärkebildenden Flagellaten finden, ist möglich.

Neue Chromatophoren entstehen stets durch Teilung der schon vorhandenen. Hierin äußert sich ihr autonomer Charakter. Diese Erscheinung, in Verbindung mit den Bauverhältnissen, speziell dem Pyrenoid, das eine gewisse Ähnlichkeit mit dem kernartigen Centralkörper der Cyanophyceen besitzt, ließ die Möglichkeit erwägen, daß die Chromatophoren ursprünglich von selbständig lebenden Organismen abstammen, welche zu einer engen Symbiose (Ineinanderleben) mit ursprünglich farblosen Protozoen übergegangen sind.

Nicht zu verwechseln mit den Chromatophoren sind die grünen oder gelben kleinen Zellen (Zoochlorellen und Zooxanthellen), die im Plasma zahlreicher Protozoen (Rhizopoden, Radiolarien, Ciliaten) recht häufig, vielfach sogar regelmäßig vorkommen. Sie wurden deshalb früher für Organellen des Protozoenkörpers gehalten, bis ihr Fortleben und Vermehren nach der Isolierung ihre selbständige Natur als einzellige, wahrscheinlich flagellatenartige Organismen erwies, die in den Protozoenzellen, aber auch manchen Metazoenzellen symbiotisch leben.

2. Nuclei und Centrosom, Chromidien (Chromidialnetze).

Daß diejenigen einzelligen Organismen, welche im Unterreich der Protozoa zusammengefaßt werden, stets Zellkerne (Nuclei) in ihrem Plasma enthalten, dürfte heutzutage kaum mehr ernstlich angezweifelt werden. Unsicher dagegen liegt dies Problem noch für die sog. *Schizophyceen* (*Cyanophyceen* und *Bacteriaceen*), welche zweifellos phylogenetisch tiefer stehen als die eigentlichen Protozoen und Protophyten. Die neuere Forschung ist jedoch darin ziemlich einig, daß auch den Zellen dieser Protisten kernartige Bestandteile zukommen, wenngleich die Ansichten noch sehr auseinander gehen über die Form, in welcher diese Bestandteile auftreten, sowie über den Umfang des Körperanteils der Schizophyceenzelle, der als kernartig aufzufassen ist. Eine genauere Erörterung dieser Frage überschreitet den Rahmen dieses Buches.

Ebenso müssen wir darauf verzichten, die feineren Bau- und Strukturverhältnisse der Nuclei der Protozoenzellen in ihrer Mannigfaltigkeit zu erörtern; hier interessieren uns nur die vergleichend anatomischen Verhältnisse näher, welche sich in der Zahl, der Gestalt und den eventuellen Differenzierungserscheinungen der Kerne aussprechen. Ebensowenig kann auch, abgesehen von kurzen

Hinweisen, die fundamentale physiologische Bedeutung der Kerngebilde für das Gesamtleben der Zelle berücksichtigt werden.

Zahlenverhältnisse der Nuclei. Bei gewissen Abteilungen (Mastigophoren, den typischen Sporozoen) findet sich, abgesehen von gewissen Fortpflanzungszuständen, ein einziger Zellkern so regelmäßig, daß wohl die Frage aufgeworfen werden darf, ob ein solcher Zustand nicht der phylogenetische Ausgangspunkt für die Protozoen überhaupt ist. Die eventuelle Bejahung dieser Frage würde auch darin eine wesentliche Stütze finden, daß der einkernige Zustand der Zelle in der höheren Organismenwelt der weit vorherrschende ist.

In anderen Protozoenabteilungen ist dies wesentlich verschieden. So finden wir zwar in allen Abteilungen der Sarcodinen einkernige Formen; sehr gewöhnlich jedoch auch mehrkernige bis solche, welche eine sehr große Zahl von Kernen enthalten. Da jedoch auch diese Protozoen, wenigstens bei gewissen Vermehrungsvorgängen, stets einkernige Ausgangsformen bilden, so darf man im allgemeinen wohl behaupten, daß die Vielkernigkeit erst allmählich mit dem Wachstum der Zelle eingetreten ist. Damit stimmt überein, daß sich sehr zahlreiche Kerne gewöhnlich nur bei großem Plasmakörper finden. Im einzelnen bestehen jedoch in dieser Hinsicht viele Verschiedenheiten, insofern die Kernvermehrung bei gewissen Formen sehr frühzeitig im vegetativen Leben eintritt, bei anderen erst kurz vor oder während der Reproduktion; ja es können in dieser Beziehung sogar bei verschiedenen Generationen einer und derselben Art Verschiedenheiten bestehen.

Mehrkernigkeit darf auch als der charakteristische Zustand der *Infusorien* (vor allem der besser bekannten Ciliaten) bezeichnet werden. Die Verhältnisse liegen hier nur insofern komplizierter, als mit dieser Mehrkernigkeit auch eine Differenzierung der Kerne in zwei verschiedene Arten (Macro- und Micronucleus) verbunden ist, wovon sogleich genauer die Rede sein soll. Der einfachste Zustand ist demnach bei den Ciliaten der zweikernige, mit je einem Kern jeder Sorte. Hieraus entwickelten sich andere Formen, wo bald nur die eine Kernsorte (Micronucleus) in Mehrzahl auftritt, bald jedoch auch die andere (Macronucleus). Es finden sich schließlich auch hier Formen mit sehr zahlreichen Kernen, wenn auch selten. Wichtig und bezeichnend für die Ciliaten ist jedoch ebenfalls, daß auf einem gewissen Stadium ihres Lebenscyclus *einkernige* Zustände gebildet werden, aus welchen die mehrkernigen erst durch Kernteilung hervorgehen.

Differenzierung der Kerne mehrkerniger Protozoen. Wie soeben angedeutet wurde, begegnen wir einem solchen Differenzierungsprozeß am ausgeprägtesten und besten erkannt bei den ciliaten Infusorien. Aus den Teilprodukten eines ursprünglichen Kerns bilden sich hier im einfachsten Fall ein größerer Kern (Macronucleus) und ein viel kleinerer (Micronucleus), die beide auch in ihrem feineren Bau recht verschieden sind. Ebenso grundverschieden sind sie auch physiologisch, indem der Macronucleus wesentlich vegetative Bedeutung für die Stoffwechselvorgänge hat und bei der Conjugation zugrunde geht; wogegen der Micronucleus bei der Conjugation die beiden Kernsorten aus sich neu hervorbringt und daher reproduktiv oder generativ wirksam ist. Wie schon angedeutet, begegnen

wir bei den Ciliaten den verschiedensten Zahlenverhältnissen für die beiderlei Nuclei. Neben einem einzigen Macronucleus können sich ein (Fig. 11, S. 73, Prorodon, Paramäcium, Carchesium) bis zahlreiche Micronuclei finden (Stentor). Selten sind auch die Macronuclei vermehrt, und in vereinzelten Fällen läßt sich dann kein Unterschied zwischen beiden Kernsorten erkennen.

Eine solche Differenzierung der Zellkerne, wie sie die Infusorien zeigen, findet sich in anderen Protozoenabteilungen in entsprechender Weise kaum wieder. Immerhin konnte die neuere Forschung auch hier zum Teil Verhältnisse aufdecken, welche gewisse Analogien erkennen lassen. Da jedoch die Untersuchungen noch keine befriedigende Übereinstimmung erlangten, so können hier nur einige Andeutungen über die Verhältnisse gegeben werden. Ein zweiter Kern von abweichendem Bau und besonderer physiologischer Bedeutung findet sich bei gewissen Flagellaten (Trypanosoma und Herpetomonas); ein kernartiges Gebilde neben dem eigentlichen Kern bei einem amöbenartigen Organismus (Paramoeba). In beiden Fällen ist jedoch die physiologische Bedeutung dieses Kleinkerns nicht diejenige des Micronucleus der Infusorien, vielmehr tritt bei der Copulation der ersterwähnten Flagellaten eine Wiedervereinigung der beiden Kerne auf, indem der Kleinkern (auch Blepharoplast genannt) ins Centrum des Großkerns aufgenommen wird. Aus solch einkernigen Zuständen entstehen die beiden Kerne wie bei den Infusorien wieder durch Teilung.

Chromidien. Bei anderen Protozoen (insbesondere Sarcodinen) tritt früher oder später im Leben eine Differenzierung der Kerne in verschiedener Weise hervor. Einmal in der Art, daß bei mehr- bis vielkernigen Formen während der Vorbereitung zur Copulation ein Teil der Kerne zugrunde geht, die übrigen sich dagegen erhalten. Obgleich also hier keine äußeren Verschiedenheiten der beiderlei Kerne erkennbar sind, so müssen sie doch in gewissem Grade innerlich vorhanden sein und das verschiedene Verhalten der Kerne bedingen. Die Vermehrung des Kerns und seine Differenzierung in sich erhaltende generative und zugrunde gehende Kerne kann auch erst mit dem Eintritt in die Copulation oder geschlechtliche Fortpflanzungsperiode auftreten, oder sich sogar darauf beschränken, daß ein großer Anteil des Kerns zugrunde geht (Sporozoa). — Bei manchen Sarcodinen (besonders Rhizopoden) tritt früher oder später im Leben eine Ablösung oder Ausstoßung gewisser Kernsubstanzen (Chromatin) aus dem Kern auf. Die ins Plasma übergetretene Kernsubstanz ist darin bald mehr als körnige (Chromidien) oder bald mehr als netzig zusammenhängende Einlagerung (Chromidialnetz) verteilt, ohne jedoch vom Plasma scharf abgegrenzte, kernartig umhüllte Gebilde zu formieren. Aus diesen Chromidien aber, die sich auch zuweilen erst beim Eintritt in die Epoche der geschlechtlichen Fortpflanzung bilden, können sich wieder typische generative Kerne entwickeln, während die früheren Kerne zugrunde gehen. Die Chromidiensubstanz spielt daher hier im allgemeinen die Rolle der Micronuclei der Infusorien, während die zugrunde gehenden ursprünglichen Kerne die Natur der Macronuclei angenommen haben. Es sind jedoch auch Fälle bekannt geworden, in welchen die von den Kernen abgesonderte Chromidialsubstanz allmählich zugrunde zu gehen scheint, wogegen die restierenden Kerne nach

dieser Absonderung den Charakter generativer erlangen. Ebenso soll Chromidienbildung auch pathologisch auftreten.

Aus alledem scheint hervorzugehen, daß in den gewöhnlichen Zellkernen zwei Substanzen nebeneinander vorkommen, die physiologisch verschieden wirksam sein müssen, und die sich früher oder später im Lebenscyclus der Protozoen auch räumlich voneinander sondern können, in Form wirklicher Kerne oder in Form der Chromidien. Die eine dieser Substanzen, welche sich in dem generativen Kern (Micronucleus oder generativen Chromidien, Sporetien) findet, besitzt jedoch die Fähigkeit, die andere wieder hervorzubringen; woraus folgen dürfte, daß letztere Substanz nur ein Derivat oder Umbildungsprodukt der ersteren sein muß.

Centrosom. Wenn damit die Kernverhältnisse der Protozoen bedeutend komplizierter erscheinen, als dies früher vermutet wurde, so wird die Verwicklung noch größer durch ein weiteres kernartiges Gebilde, das sich bei einigen Protozoen und sonstigen Einzelligen (Diatomeen) neben dem Kern findet. Es ist dies ein sehr kleines Körperchen, welches sich, ähnlich gewissen Kernbestandteilen, stark färben läßt. Dies sog. *Centrosom* wurde zuerst bei Metazoenzellen gefunden und spielt bei der karyokinetischen Kernteilung eine wichtige Rolle. Ein dem Centrosom der Metazoenzelle sicher vergleichbares Organell wurde aber bis jetzt nur bei zahlreichen Heliozoen beobachtet und bildet hier in der Regel das Centrum des Plasmakörpers, an das die früher beschriebenen Achsenfäden der Pseudopodien herantreten (s. Fig. 18, S. 85). Bei der gewöhnlichen Teilung des Kerns spielt es dieselbe Rolle wie das Centrosom der Metazoenzelle. Daß das Centrosom der Heliozoen jedoch ein aus dem Kern herstammendes Organell ist, scheint sicher erwiesen, da es bei der Fortpflanzung durch Knospung aus dem Kern neu gebildet wird. — Dies läßt es verständlich erscheinen, daß bei gewissen anderen Protozoen ein centrosomähnliches Gebilde erst während der Kernteilung auftreten kann (Actinosphaerium, Noctiluca, Sporozoen) und später wieder verschwindet. — Nun finden sich jedoch auch Fälle, wo der Kern ein kleines Körperchen enthält (früher Nucleolus, jetzt Nucleolocentrosom, auch Caryosom, Centralkorn usw. genannt), das bei der Kernteilung eine Rolle spielt, welche an ein echtes, außerhalb des Kerns befindliches Centrosom erinnert. Aus diesem Grunde hat man es einem dauernd im Kern befindlichen Centrosom mit einer gewissen Berechtigung verglichen. Während nun eine Ansicht dahin geht, in dem eigentlichen freien Centrosom einen dem Kern entstammenden, von ihm gewissermaßen emanzipierten, ursprünglichen Kernbestandteil zu erblicken, sucht eine andere Meinung das Verhältnis gerade umzukehren und das Centrosom als einen zweiten, besonders differenzierten und speziell bei den Teilungsvorgängen funktionierenden Kern zu deuten, der bei gewissen Protozoen in den anderen Kern eingedrungen sei und hier das sog. Nucleolocentrosom bilde. Es wäre jedoch meiner Ansicht nach auch eine dritte Möglichkeit zu erwägen, die nämlich, daß das Centrosom ursprünglich gar nichts mit einem eigentlichen Kern zu tun gehabt hätte, sondern ein plasmatisches Gebilde sei, welches aber bei der Bildung membranumhüllter Kerne, wie sie den ursprünglichsten Einzelligen noch nicht zukamen, in den umhüllten Kern aufgenommen wurde, ähnlich wie es die zweite Ansicht

annimmt. Die eigentümlichen bis jetzt noch nicht genügend aufgeklärten Beziehungen zwischen Centrosom und Achsenfäden der Geißeln und Cilien lassen eine solche Möglichkeit erwägenswert erscheinen.

Die Gestaltsverhältnisse der Protozoen-Zellkerne verdienen noch einige vergleichende Bemerkungen. Bei der Mehrzahl der Protozoen sind die Kerne in der Regel kugelige bis ellipsoidische Gebilde (s. Fig. 6—9). Viel mannigfaltiger ist der Macronucleus der Infusorien gestaltet, während die Micronuclei sehr kleine kugelige bis spindelförmige Gebilde sind. Bei den kleineren Infusorien bewahrt der Macronucleus in der Regel eine ursprünglichere Form. Bei den größeren dagegen wird er häufig mehr oder weniger lang wurst- bis bandförmig (Fig. 11 [5]), ja zuweilen (Suctoria) auch verschiedenartig verzweigt. Der bandförmige Macronucleus ist nicht selten durch eine bis zahlreiche Einschnürungen in zwei bis viele rundliche oder ellipsoidische Glieder geteilt, die nur durch einen feinen Verbindungsfaden zusammenhängen (Fig. 11 [2 u. 4]); solche Macronuclei gleichen dann einem Rosenkranz oder einer Perlenschnur. In gewissen Fällen schreitet die Zergliederung des Macronucleus noch weiter, so daß er in sehr zahlreiche kleine Fragmente zerlegt erscheint, deren Zusammenhang neuerdings bestimmt geleugnet wird. — Alle diese besonderen Ausgestaltungen der Macronuclei finden ihre Bedeutung wohl in einer relativen Vergrößerung der Grenzfläche zwischen Kern und Plasma und damit einer Erleichterung und Steigerung des Stoffwechselaustauschs beider.

Organellen, welche analog den Geschlechtsorganen der Metazoen die Funktion haben, neue Individuen hervorzubringen, gibt es bei Protozoen nicht. Da ihre Vermehrung durch einfache Zwei- oder simultane Mehrteilung (bzw. Knospung) geschieht, so kann ja von solchen Organellen nicht die Rede sein. Wenn sich etwas im Lebenslauf der Protozoen mit den in den Geschlechtsorganen der Metazoen gebildeten sog. Geschlechts- oder Propagationszellen vergleichen läßt, so können dies eben nur besondere Generationen der einzelligen Protozoen selbst sein.

So ist es denn auch in der Tat, wie wir später bei den Generationsorganen der Metazoen noch klarer sehen werden. Bei Protozoen aller Abteilungen wurde nachgewiesen, daß in gewissen Epochen des Lebenscyclus Individuen auftreten, die ebenso wie die weibliche Eizelle und die männliche Samenzelle der Metazoen sich durch einen sog. Copulationsakt zu einer einzigen Zelle vereinigen. Diese Individuen nennt man daher auch Gamonten (Gameten). Sie können völlig gleich sein, und dies ist wohl sicher der ursprüngliche Zustand, oder können in Größe und sonstigem Bau mehr oder weniger differieren, ähnlich wie die Ei- und Samenzelle der Metazoen. In letzterem Fall lassen sie sich auch als Oonten (entsprechend der Eizelle) und als Spermonten (entsprechend der Samenzelle) unterscheiden. — Die Differenzierung zweier Kernsorten bei den Infusorien läßt sich im allgemeinen mit der Differenzierung des Körpers der Metazoen in Körperzellen (Somazellen) und Propagations- (Generations-)Zellen vergleichen, nur daß sich diese Differenzierung hier auf die Kerne beschränkt. Der Macronucleus entspricht den Kernen der Somazellen der Metazoen, der Micronucleus denen der Propagationszellen.