

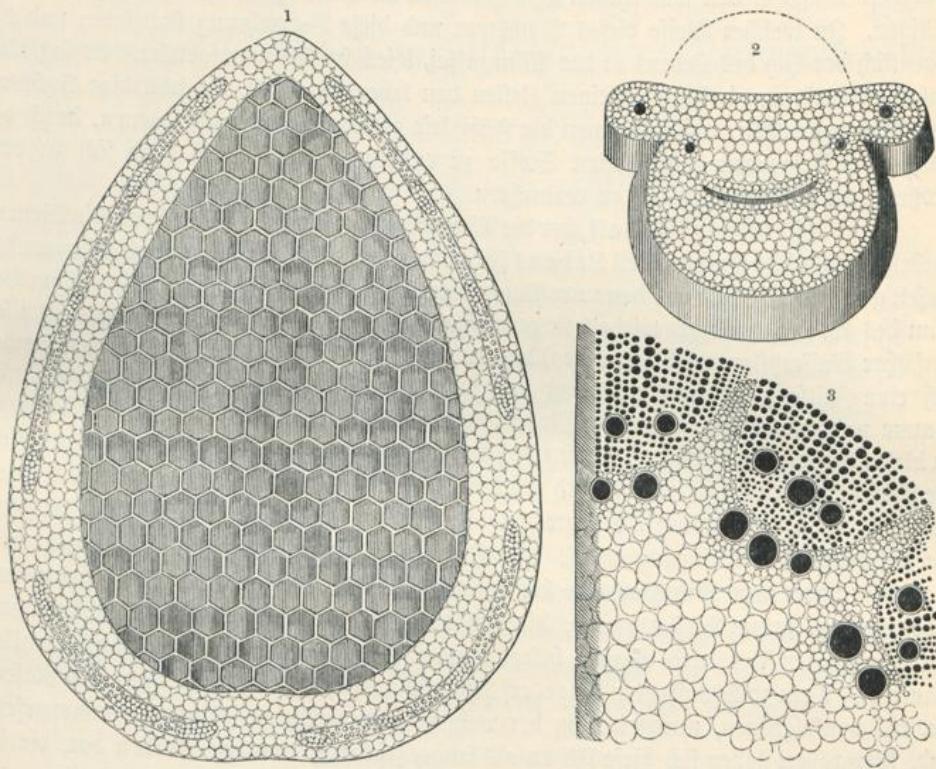
## I. Das Lebendige in der Pflanze.

### 1. Die Zellen und die Protoplasten als Träger des Lebens.

#### Die Entdeckung der Zellen.

Was ist das Leben? So oft irgendeine bedeutende naturwissenschaftliche Entdeckung gemacht wurde, glaubte man der Lösung dieser die Menschen jederzeit lebhaft interessierenden Frage näher gekommen zu sein. Niemals aber schien die Hoffnung, das große Rätsel des Lebens ergründen zu können, so berechtigt, wie zur Zeit der Erfindung des Mikroskops (dem der päpstliche Leibarzt Fabri 1667 endgültig diesen Namen gab), in jener auch sonst für die Entwicklung der Naturwissenschaften so wichtigen Periode, in der man die Entdeckung machte, daß mit Hilfe von Glaslinsen Gegenstände in vergrößertem Maßstabe zur Anschauung gebracht werden können. Man erwartete durch Anwendung dieser Vergrößerungsgläser nicht nur eine Einsicht in den feineren, dem freien Auge nicht erkennbaren Bau der lebendigen Wesen, sondern auch Aufschlüsse über jene Vorgänge, welche das Leben der Pflanzen und Tiere ausmachen. Die ersten Entdeckungen, die mit Hilfe des Mikroskops im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts gewonnen wurden, machten auch auf die Beobachter einen überwältigenden Eindruck. Von Leeuwenhoek in Delft, welcher Vergrößerungsgläser benutzte, die er selbst durch Zusammenschmelzen feiner Glasfäden hergestellt hatte, wurden 1676 Dinge beobachtet, die man geraume Zeit für arge Täuschungen hielt. Erst als der Engländer R. Hooke die Existenz der von Leeuwenhoek in Aufgüssen von Pfefferkörnern gesehenen winzigen Wesen bestätigte und in einer Versammlung der königlichen Gesellschaft in London 1677 unter seinem Mikroskop zeigte, wichen die Zweifel über das Vorhandensein jener ungeahnten Geschöpfe. Es wurde damals sogar ein besonderes Protokoll aufgenommen, das alle, die sich von der Richtigkeit der Beobachtung durch den Augenschein überzeugt hatten, unterzeichneten, was wohl beweist, wie sehr man von der Bedeutung dieser Entdeckungen erfüllt war. Weil damals als wichtigster Anhaltspunkt zur Unterscheidung von Tieren und Pflanzen das Vorhandensein oder Fehlen der Bewegung galt, so wurden die winzigen Wesen, die man zuerst in den aus Pfefferkörnern, dann auch aus anderen Pflanzenteilen gewonnenen Aufgüssen sich bewegen und herumtummeln sah, Aufgusstierchen oder Infusorien genannt und sämtlich als Tiere betrachtet. D. F. Müller in Kopenhagen beobachtete ein Jahrhundert später schon mehrere hundert Formen im Süß- und Meerwasser, und der große Forscher Ehrenberg hat von 1829 bis zu seinem Tode 1876

diese mikroskopischen Wesen aufs eingehendste studiert. Der Name Infusorien sowie die Vorstellung von ihrer tierischen Natur wurden dann auf alle lebenden Wesen, die nur unter dem Mikroskop erkennbar waren, übertragen. Erst viel später wurde ermittelt, daß die Fähigkeit, Bewegungen auszuführen, auch zahlreichen Organismen zukomme, welche im Hinblick auf andere Eigenschaften als Pflanzen zu gelten haben, und daß viele sogenannte Infusorien dem Reiche der Pflanzen gezählt werden müssen.



Pflanzenzellen (nach Grew, *Anatomy of Plants*, London 1682): 1 Längsschnitt durch einen jungen Aprikosensamen; 2 Querschnitt durch den Blattstiel des wilden Scharlachkrautes; 3 Querschnitt durch einen Kiefernweig. (Zu S. 22.)

Das Mikroskop sollte auch Aufschlüsse über den inneren Bau der höheren Gewächse geben, und es ist begreiflich, daß sich zahlreiche Naturforscher jener Zeit mit wahren Feuereifer den dahin zielenden Untersuchungen zuwendeten. Alle gewannen den Eindruck, daß die unter das Mikroskop gebrachten Blätter, Früchte, Wurzeln und Stengel und insbesondere das Holz und das Mark der Stengel in ihrem Aufbau nicht homogen seien und mit Bienenwaben oder mit einem Spitzengewebe verglichen werden könnten; denn gleich diesen zeigten sich die untersuchten Pflanzenteile aus zahlreichen Zellen oder Fasern zusammengesetzt, die teils leer, teils mit Saft angefüllt waren. Von dieser Ähnlichkeit schreibt sich auch der Name Zelle her, welcher später eine so große Rolle in der Botanik spielen sollte. In den Bildern, die man von den unter dem Mikroskop gesehenen Pflanzenteilen anfertigte, tritt auch diese Ähnlichkeit mit Bienenzellen recht deutlich hervor,

ja mitunter sogar noch etwas auffallender, als man es in Wirklichkeit sehen kann, wie das z. B. an der auf S. 21 wiedergegebenen getreuen Kopie von drei Kupferstichen aus dem großen und schönen, im Jahre 1682 veröffentlichten ersten Werke über Pflanzenanatomie von Nehemias Grew der Fall ist. Neben den an Bienenzellen erinnernden Gebilden beobachtete man auch noch Röhrchen und Fasern, fand diese in der mannigfachsten Weise verteilt und gruppiert, zu Mark und Holz, zu Strängen und Häuten verbunden und sah alle diese Dinge in den wachsenden Pflanzenteilen an Umfang zunehmen und sich vervielfältigen. In welcher Weise dieses Wachstum und diese Vermehrung stattfindet, und wo eigentlich der Sitz des Lebens in der Pflanze sei, blieb freilich unaufgeklärt. Es lag aber nahe, anzunehmen, daß diese kleinen Zellen den lebendigen Teil, die lebendige Substanz der Pflanzen bilden, und daß ihnen die Fähigkeit zukomme, den aufgesogenen, durch die Röhren aufsteigenden Flüssigkeiten Stoffe zu entnehmen und durch diese sich zu vergrößern, zu wachsen und sich zu vermehren.

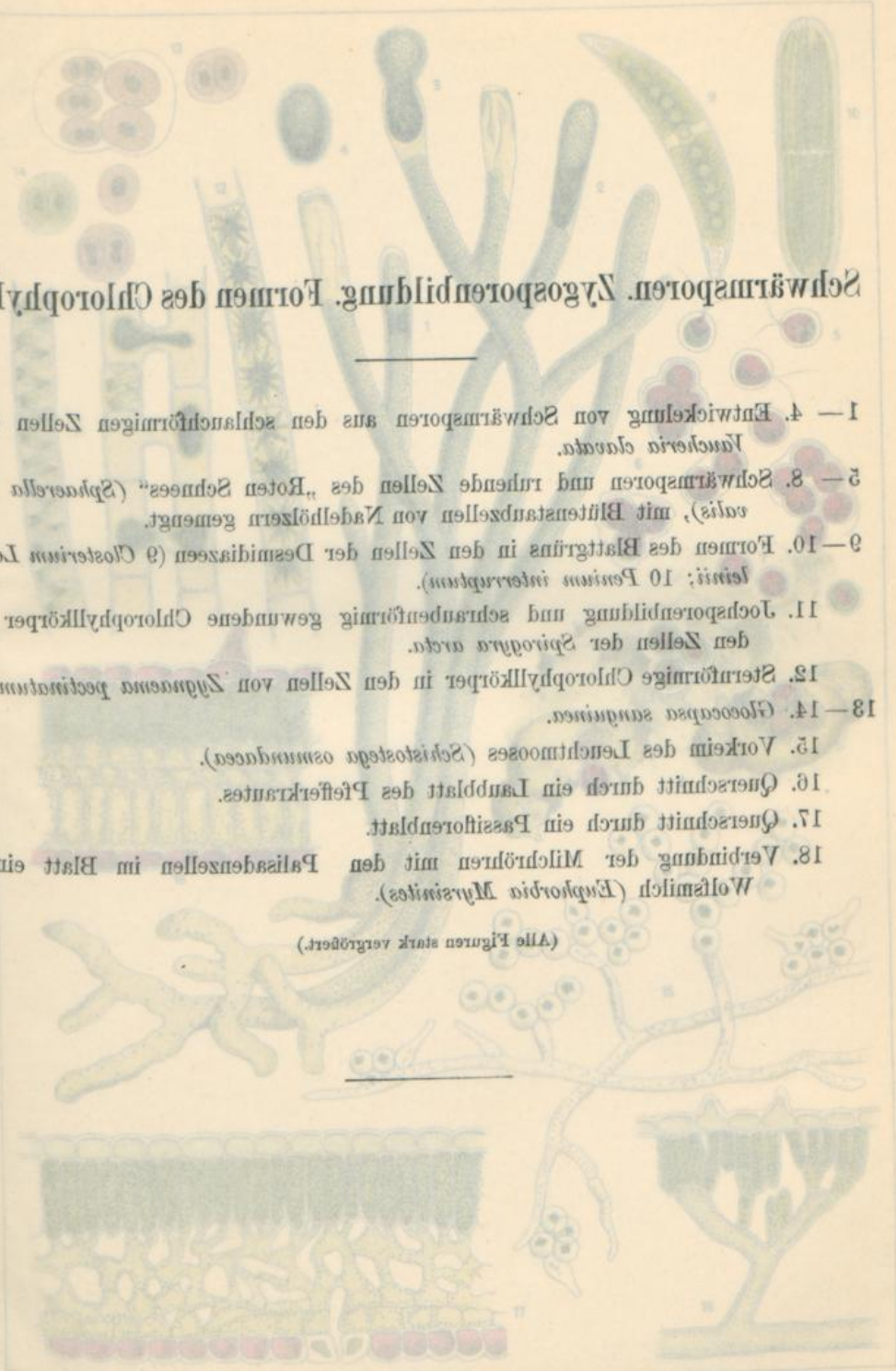
Daß der schleimige Inhalt, der die Pflanzenzellen, ähnlich wie der Honig die Bienenzellen, erfüllt, der Träger des Lebens sei, wurde damals noch nicht geahnt. Man mußte diesen glashellen Inhalt mit den unvollkommenen Mikroskopen übersehen. Die erst im Beginn des 19. Jahrhunderts wiederholt gemachte Beobachtung, daß aus den Zellen gewisser einfacher Wasserpflanzen (Fadenalgen) der Inhalt als Schleimkügelchen ausgestoßen werde, sich eine Zeitlang selbständig bewege und im Wasser herumtreibe, dann aber zur Ruhe komme und zum Ausgangspunkte für ein neues Pflanzenwesen werde, hätte allerdings zu dieser Auffassung hinführen können; es wurden aber von der Mehrzahl der Zeitgenossen die Angaben hierüber für unglaublich gehalten, und erst als der Wiener Botaniker Unger nochmals diese Erscheinung als unzweifelhafte Tatsache feststellte, wurde ihr allmählich die entsprechende Würdigung zuteil. Im Jahre 1826 untersuchte nämlich der genannte Botaniker unter dem Mikroskop eine bei Ottakring im Gebiete der Stadt Wien gefundene fadenförmige, grüne Wasserpflanze, die von den Systematikern als Alge bezeichnet und mit dem Namen *Vaucheria clavata* belegt worden war (nach dem französischen Botaniker Vaucher). Dem unbewaffneten Auge erscheint sie in Gestalt von polsterförmigen Rasen, die aus dunkelgrünen, unregelmäßig verzweigten und verfilzten Fäden zusammengesetzt sind. Vergrößert stellen sich diese Fäden als lange, schlauchförmige Zellen dar, die in dem Maße, als sie oben fortwachsen und seitliche zweigartige Ausbuchtungen treiben, an der Basis erbleichen und absterben. Die blinden Enden dieser Schläuche sind gerundet und stumpf. Der Inhalt der Schläuche ist schleimig, an und für sich farblos, aber mit grünen Kügelchen, dem Chlorophyll, und Öltröpfchen erfüllt (s. die beigeheftete Tafel „Schwärm-sporen. Zochfrüchte. Formen des Chlorophylls“).

Es kommt nun für jeden dieser Schläuche eine Zeit, in der sein Ende keulen- oder kolbenförmig anschwillt und sich durch eine zarte Duerwand von dem Faden abgrenzt. Sobald das geschehen, zieht sich der dunkelgrüne Inhalt von dem stumpfen Ende des durchsichtigen Schlauches etwas zurück. Fast gleichzeitig hellt sich der vordere Teil des Inhaltes in dem Kolben auf, während weiter entfernt von dem Ende des Schlauches die Färbung des Zellinhaltes sehr dunkel wird (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 1). Zwölf Stunden nach Eintritt dieser Veränderung sondert sich der Teil, welcher das kolbenförmige Ende erfüllt, von dem schleimigen Gesamtinhalte des Schlauches ganz ab (Fig. 2), kurz darauf reißt die Zellhaut am Scheitel des Kolbens mit Blitzesschnelle auf, die Lappen des Risses stülpen sich nach

Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

- 1 — 4. Entwicklung von Schwärmsporen aus den schlauchförmigen Zellen der  
*Ulothrix clavata*.
- 5 — 8. Schwärmsporen und ruhende Zellen des „Roten Schnees“ (Sphaerella ni-  
 valis), mit Blütenstanzellen von Nadelbäumen gemengt.
- 9 — 10. Formen des Blattgrüns in den Zellen der Desmidiaceen (9 *Closterium Leib-  
 leinii*; 10 *Poridium intermedium*).
11. Tochterporenbildung und schraubenförmig gewundene Chlorophyllkörper in  
 den Zellen der *Spirogyra arcta*.
12. Sternförmige Chlorophyllkörper in den Zellen von *Zygnema pectinatum*.
- 13 — 14. *Glacocapsa sardouana*.
15. Vorkeim des Leuchtmooses (*Schistostega osmundacea*).
16. Querschnitt durch ein Laubblatt des Pfefferkrautes.
17. Querschnitt durch ein Passiflora-Blatt.
18. Verbindung der Milchhöhlen mit den Palisadenzellen im Blatt einer  
 Wolfsmilch (*Euphorbia Myrsinites*).

(Alle Figuren stark vergrößert.)



Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

ja mitunter sogar noch etwas auffallender, als man es in Wirklichkeit sehen kann, wie das z. B. an der auf S. 21 wiedergegebenen getreuen Kopie von drei Kupferstichen aus dem großen und schönen, im Jahre 1682 veröffentlichten ersten Werke über Pflanzenanatomie von Nehemiah Grew der Fall ist. Neben den an Bienenzellen erinnernden Gebilden beobachtete man auch noch Röhrchen und Fasern, fand diese in der mannigfachsten Weise verteilt und gruppiert, zu Mark und Holz, zu Strängen und Häuten verbunden und sah alle diese Dinge in den wachsenden Pflanzenteilen an Umfang zunehmen und sich vervielfältigen. In welcher Weise dieses Wachstum und diese Vermehrung stattfindet, und wo

### Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

nahe, anzunehmen, daß diese kleinen Zellen den lebendigen Teil, die lebendige Substanz der Pflanzen bilden, und daß ihnen die Fähigkeit zukomme, den aufgefogenen, durch die Röhren aufsteigenden Flüssigkeiten Stoffe zu entnehmen und durch diese sich zu ver-

1—4. Entwicklung von Schwärmsporen aus den schlauchförmigen Zellen der *Vaucheria clavata*.

5—8. Schwärmsporen und ruhende Zellen des „Roten Schnees“ (*Sphaerella nivalis*), mit Blütenstaubzellen von Nadelhölzern gemengt.

9—10. Formen des Blattgrüns in den Zellen der Desmidiaceen (9 *Closterium Leiblinii*; 10 *Penium interruptum*).

11. Jochsporenbildung und schraubenförmig gewundene Chlorophyllkörper in den Zellen der *Spirogyra arcta*.

12. Sternförmige Chlorophyllkörper in den Zellen von *Zygnema pectinatum*.

13—14. *Gloeo capsula sanguinea*.

15. Vorkeim des Leuchtmooses (*Schistostega osmundacea*).

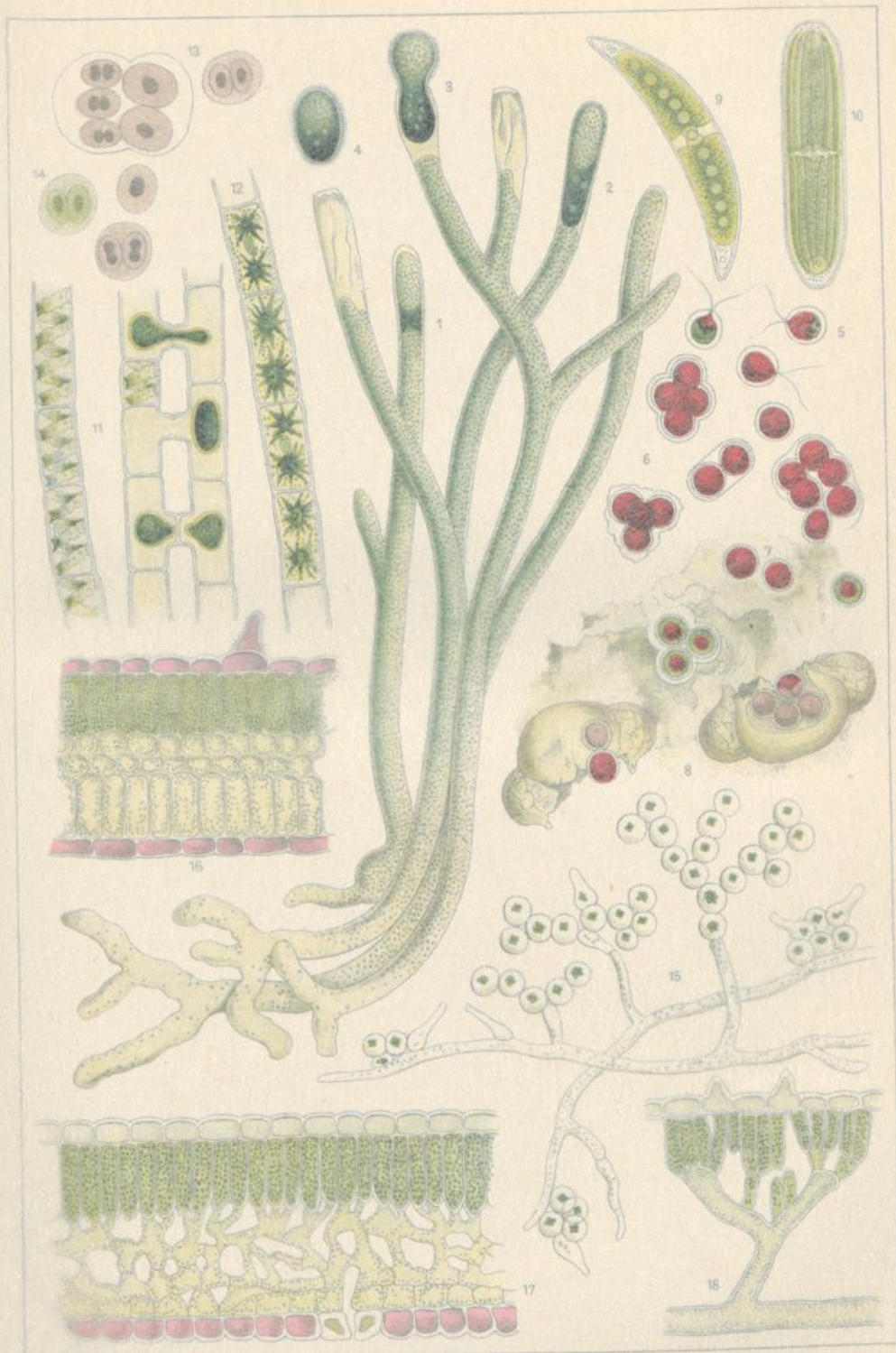
16. Querschnitt durch ein Laubblatt des Pfefferkrautes.

17. Querschnitt durch ein Passiflorenblatt.

18. Verbindung der Milchröhren mit den Palisadenzellen im Blatt einer Wolfsmilch (*Euphorbia Myrsinites*).

(Alle Figuren stark vergrößert.)

Es kommt nun für jeden dieser Schläuche eine Zeit, in der sein Ende keulen- oder kolbenförmig anschwillt und sich durch eine zarte Quertwand von dem Faden abgrenzt. Sobald das geschehen, zieht sich der dunkelgrüne Inhalt von dem stumpfen Ende des durchsichtigen Schlauches etwas zurück. Fast gleichzeitig hellt sich der vordere Teil des Inhaltes in dem Kolben auf, während weiter entfernt von dem Ende des Schlauches die Färbung des Zellinhaltes sehr dunkel wird (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 1). Zwölf Stunden nach Eintritt dieser Veränderung sondert sich der Teil, welcher das kolbenförmige Ende erfüllt, von dem schleimigen Gesamtinhalte des Schlauches ganz ab (Fig. 2), kurz darauf reißt die Zellhaut an Scheitel des Kolbens mit Blüseschnelle auf, die Lappen des Risses stülpen sich nach



Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

ja mitunter sogar noch etwas auffallender, als man es in Wirklichkeit sehen kann, wie das z. B. an der auf S. 21 wiedergegebenen getreuen Kopie von drei Kupferstichen aus dem großen und schönen, im Jahre 1682 veröffentlichten ersten Werke über Pflanzenanatomie von Nehemias Grew der Fall ist. Neben den an Bienenzellen erinnernden Gebilden beobachtet man auch noch Röhrcchen und Fasern, fand diese in der mannigfachsten Weise verteilt und gruppiert, zu Mark und Holz, zu Strängen und Häuten verbunden und sah alle diese Dinge in den wachsenden Pflanzenteilen an Umfang zunehmen und sich vervielfältigen. In welcher Weise dieses Wachstum und diese Vermehrung stattfindet, und wo

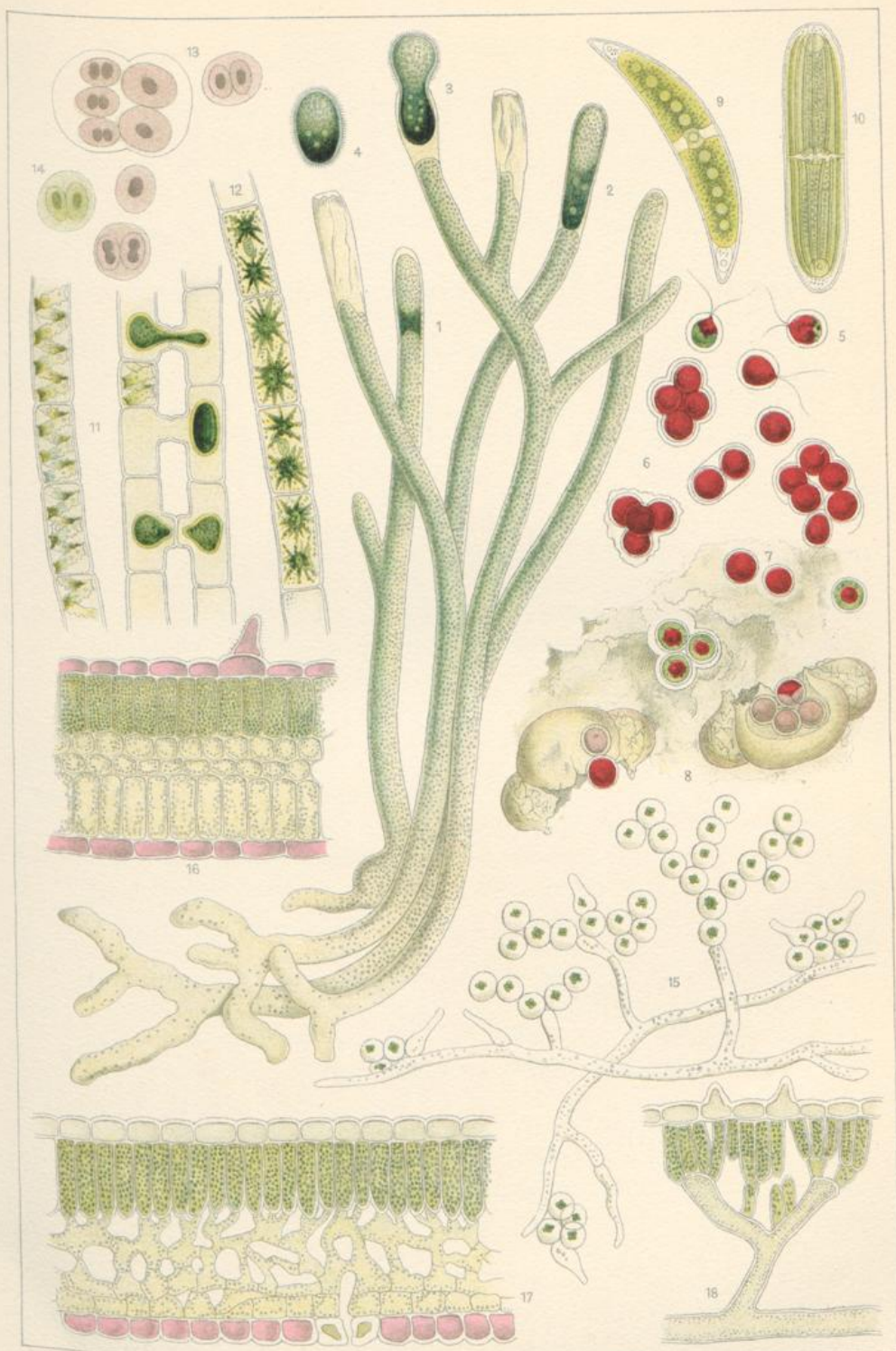
### Schwärmsporen. Zygosporenbildung. Formen des Chlorophylls.

man anzunehmen, daß diese kleinen Zellen den lebendigen Teil, die lebendige Substanz der Pflanzen bilden, und daß ihnen die Fähigkeit zukomme, den aufgezogenen, durch die Höhen aufsteigenden flüssigen Stoffe zu entnehmen und durch diese sich zu ver-

- 1—4. Entwicklung von Schwärmsporen aus den schlauchförmigen Zellen der *Vaucheria clavata*.
- 5—8. Schwärmsporen und ruhende Zellen des „Roten Schnees“ (*Sphaerella cni-valis*), mit Blütenstaubzellen von Nadelhölzern gemengt.
- 9—10. Formen des Blattgrüns in den Zellen der Desmidiaceen (9 *Closterium Leib-leinii*; 10 *Penium interruptum*).
11. Jochsporenbildung und schraubenförmig gewundene Chlorophyllkörper in den Zellen der *Spirogyra arcta*.
12. Sternförmige Chlorophyllkörper in den Zellen von *Zygaema pectinatum*.
- 13—14. *Glococapsa sanguinea*.
15. Vorkeim des Leuchtmooses (*Schistostega osmundacea*).
16. Querschnitt durch ein Laubblatt des Pfefferkrautes.
17. Querschnitt durch ein Passiflorenblatt.
18. Verbindung der Milchröhren mit den Palisadenzellen im Blatt einer Wolfsmilch (*Euphorbia Myrsinites*).

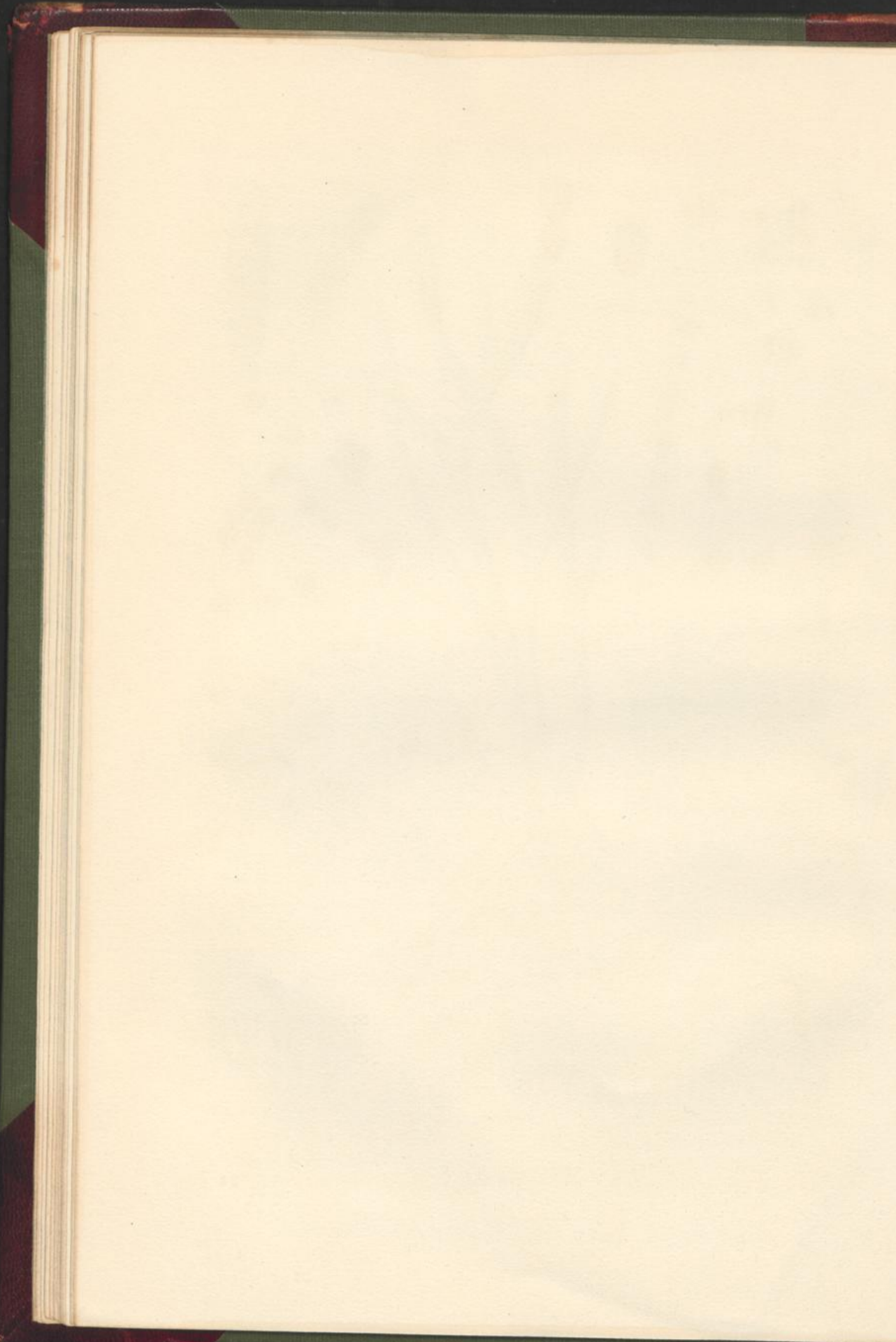
(Alle Figuren stark vergrößert.)

Es kommt nun für jeden dieser Schläuche eine Zeit, in der sein Ende keulen- oder kolbenförmig anschwillt und sich durch eine zarte Quertwand von dem Faden abgrenzt. Sobald das geschehen, zieht sich der dunkelgrüne Inhalt von dem stumpfen Ende des durchsichtigeren Schlauches etwas zurück. Fast gleichzeitig heßt sich der vordere Teil des Inhaltes in zwei Kolben auf, während weiter entfernt von dem Ende des Schlauches die Färbung des Zellinhaltes sehr dunkel wird (s. die beigeheftete Tafel, Fig. 1). In 20 Stunden nach Eintritt dieser Veränderung webert sich der Teil, welcher das kolbenförmige Ende erfüllt, von dem hinteren Schlamminhalte des Schlauches ganz ab (Fig. 2), kurz darauf reißt die Zellhaut am Scheitel des Kolbens mit Vorpostenwelle auf, die Lappen des Rißes stülpen sich nach



Schwärmisporen. Zygoisporenbildung. Formen des Chlorophylls.





auswärts, und der in dem Kolben enthaltene weiche grüne Ballen schiebt sich in diesen Riß vor (Fig. 3). Da der Schleimballen einen größeren Durchmesser besitzt als der Riß, so wird er beim Vordrängen eingeschnürt, erhält eine fast biskuitförmige Gestalt, und es macht auf kurze Zeit den Eindruck, als würde er hier festgeklemmt bleiben. Es erfolgt nun aber eine ganz plötzliche, drehende und zugleich vordrängende Bewegung in der ganzen Masse des grünen Schleimballens, und im nächsten Augenblicke hat er die enge Pforte des Kolbens verlassen und schwimmt jetzt frei in dem umgebenden Wasser herum (Fig. 4). Man bezeichnet ihn jetzt als Schwärmospore.

Dieser ganze Vorgang des Ausschlüpfens spielt sich zwischen 8 und 9 Uhr morgens, und zwar innerhalb zwei Minuten, ab. Die ausgeschlüpfte Schwärmospore hat die Form eines sehr regelmäßigen Ellipsoides angenommen (Fig. 4), ist an dem einen Pole heller, an dem anderen dunkler grün und bewegt sich immer mit der helleren Seite voran. Zunächst steigt der Schwärmer gegen das Licht zur Oberfläche des Wassers empor, senkt sich aber bald darauf wieder in die Tiefe, kehrt dann oft plötzlich auf halbem Wege um, schlägt mitunter auch eine wagerechte Richtung ein, vermeidet aber bei allen diesen Bewegungen das Anstoßen an die seinen Weg etwa kreuzenden festen Gegenstände und weicht auch schwimmenden Körpern, die sich mit und neben ihm im gleichen Wasser herumtreiben, sorgfältig aus. Die Bewegung wird vermittelt durch kurze, wimperartige Fortsätze (Cilien), die ringsum von der Oberfläche der Schwärmospore ausgehen und in lebhafter, schwingender Bewegung sind. Mit Hilfe dieser Wimpern, die durch ihre Schwingungen kleine Wirbel im Wasser hervorbringen, wird die grüne Schwärmospore ziemlich rasch nach einer Richtung hin vorwärts bewegt. Bei diesem Vorwärtsschieben dreht sie sich aber zugleich um ihre Längsachse, und es ist daher die Linie, der sie folgt, unverkennbar eine Schraubenlinie. Die Schnelligkeit des Schwimmens ist zu allen Zeiten nahezu dieselbe. In einer Minute wird eine Wasserschicht von nicht ganz 2 cm (1,76 cm), in einer Stunde also etwa 1 m durchschwommen. Mitunter gönnt sich das schwimmende Ellipsoid allerdings eine kurze Ruhe; sofort aber beginnt wieder das Auf- und Absteigen, Umkehren und Hin- und Herschwanke. Zwei Stunden nach dem Ausschlüpfen werden die Bewegungen auffallend matter, die Ruhepausen, in denen zwar noch eine Drehung, aber kein Vorwärtsbewegen des Körpers mehr stattfindet, werden immer länger und häufiger. Endlich gelangt der Schwimmer zur dauernden Ruhe. Er landet an irgendeiner Stelle, am liebsten an der Schattenseite eines im Wasser schwimmenden oder auch feststehenden Körpers, seine Achsendrehung hat aufgehört, die Wimperfortsätze haben ihre Schwingungen eingestellt und ziehen sich wieder in die Masse des Körpers zurück, der ellipsoide, an dem vorderen Pole hellere Körper des Schwimmers wird zu einer einfarbig dunkelgrünen Kugel.

Solange sich der Schleimballen in Bewegung befindet, fehlt ihm eine besondere Hülle. Die äußerste Schicht seiner schleimigen Masse ist allerdings dichter als die innere, aber eine scharfe Grenze ist nicht festzustellen, und man kann wohl nicht von einer besonderen Haut sprechen. Sobald aber die Spore gestrandet ist und die Kugelgestalt angenommen hat, wird von ihr an der Oberfläche eine feste, farblose, durchsichtige Haut ausgeschieden. Schon 26 Stunden später stülpen sich aus dieser ruhenden Spore sehr kurze, verzweigte Schläuche aus, die zu Haftorganen werden (Fig. 1), und in entgegengesetzter Richtung streckt sich die kugelige Zelle zu einem langen Schlauche, der sich verzweigt und im Wasser flottiert. Nach

kurzer Zeit können die Enden dieses verzweigten Schlauches wieder kolbenförmig anschwellen, von seinem schleimigen Inhalte trennt sich wieder ein Teil ab, der als Schwimmer entlassen wird, und von neuem beginnt das Spiel, welches soeben geschildert wurde.

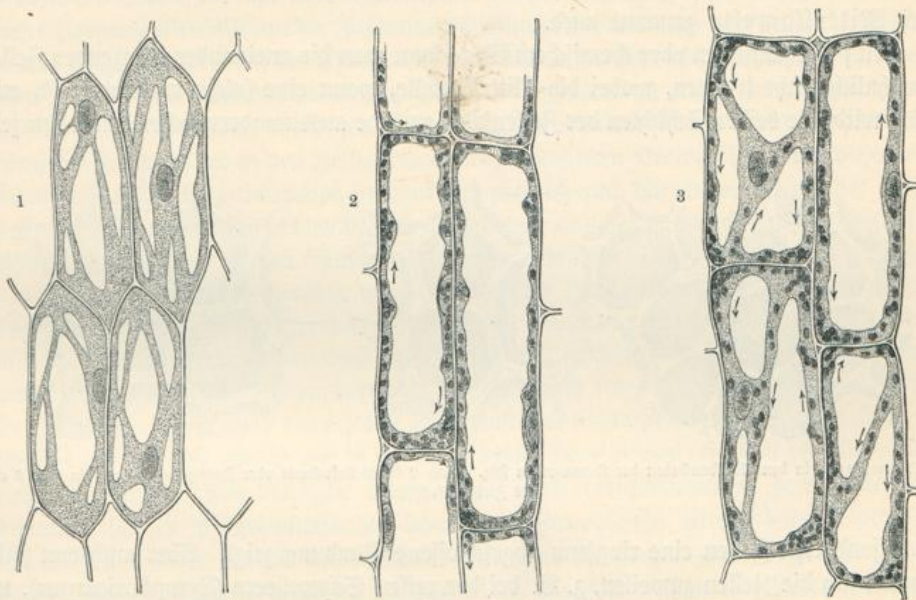
### Die Entdeckung des Protoplasmas.

Wie die oben geschilderte *Vaucheria* offenbaren unzählige andere Algen unserer Teiche und Tümpel dem stillen Beobachter am Mikroskop, daß in den Algenzellen ein lebendiger Inhalt steckt, der zu Fortpflanzungszwecken ins Freie treten kann. Aber diese kryptogamischen Pflänzchen sind so verschieden von der uns nahe umgebenden Pflanzenwelt, daß die Frage nicht müßig erscheint, ob es sich hier um eine allgemeine Tatsache des Pflanzenlebens oder bloß um eine Sonderbarkeit dieser niederen Gewächse handelt. Sehr bald nach Entdeckung des zelligen Aufbaues von Bäumen und Kräutern hatte sich ergeben, daß auch hier die Zellmembranen nicht leer sind, sondern einen flüssigen Inhalt haben. Schleiden machte 1838 die folgenreiche Entdeckung, daß alle Pflanzenzellen außerdem einen kleinen kugelförmigen weichen Körper, den Zellkern, enthalten, den Schwann bald darauf auch in allen tierischen Zellen nachwies. Man kam dann dahinter, daß der Zellinhalt nicht bloß eine wässrige Flüssigkeit ist, sondern daß die Zellen einen Schleim enthalten, welcher der Innenwand der Kammern wie eine Tapete anliegt, aber auch den Innenraum teilweise erfüllt. Dieses Wesen von gallertähnlicher, schleimiger Konsistenz, das in der Zellkammer wie die Muschel oder Schnecke in ihrem Gehäuse wohnt, ist anfänglich ungegliedert und füllt als eine dem Anscheine nach gleichartige Masse die ganze Kammer aus, später aber sondert sie sich in mehrere deutlich erkennbare Teile, namentlich in den erwähnten tapetenartigen Wandbeleg an der Innenseite der Zellhaut und in Falten, Stränge, Fäden und Bänder, die sich durch den Innenraum der Zelle ziehen (s. Abbildung, S. 25).

Die Substanz des Bewohners der Zellkammer bezeichnete 1846 Hugo v. Mohl, der Entdecker dieser Verhältnisse, mit dem Namen Protoplasma, weil sie, obwohl von schleimiger Konsistenz, doch mit keiner bekannten Schleimsubstanz Ähnlichkeit hat. In fast allen Zellen zeigt dieser Protoplasma Körper die gleiche Anordnung, indem ein Teil der Zellkammer anliegt und darum auch Wandprotoplasma genannt wird, während Stränge, Bänder und Falten derselben Substanz, die sich quer durch die Kammer von der einen Seite des Wandprotoplasmas zur anderen hinüberziehen, mit dem Namen Strangprotoplasma belegt wurden. Das Protoplasma kann unter Umständen, wie die Schwärmsporen der *Vaucheria* lehrten, auch ohne besonderen Schutz einige Zeit bestehen; in der Regel aber scheidet es alsbald eine ringsum geschlossene, feste Hülle aus und baut sich so gewissermaßen selbst die kleine Kammer, die es bewohnt. Man kann daher nacktes Protoplasma und solches, das in einer selbstgeschaffenen Zellkammer haust, unterscheiden und ersteres etwa mit einer Nacktschnecke, letzteres dagegen mit einer Schnecke vergleichen, die sich selbst das Haus erzeugt, in dem sie webt und lebt. Noch besser kann man die feste und derbe Zellhaut, mit der sich das Protoplasma umhüllt, mit einem schützenden Kleide, mit einer Gewandung vergleichen, die dem Leib angepaßt ist; und mit Rücksicht auf diesen Vergleich ist dann das Protoplasma als Zellenleib, die ausgesonderte feste Hülle desselben aber als Zellhaut zu bezeichnen. Nicht diese Zellhaut, die man zuerst unter den

Vergößerungsgläsern bemerkte und der Form wegen als Zelle bezeichnete, ist demnach das Schaffende und Bildende, das sich Ernährende und Vermehrende, sondern der Zellenleib ist es, jenes schleimige, farblose Protoplasma, das im Inneren der selbstgeschaffenen Zellhautumhüllung tätig ist, und das daher auch als der lebendige Teil, als der Träger des Lebens aufgefaßt werden muß.

Der Name Zelle hat sich in der Wissenschaft so eingebürgert, daß man später auch die Hauptsache, nämlich das aus der Zellkammer ausgeschlüpfte Protoplasma, als Zelle bezeichnete und dafür den nichts weniger als glücklich gewählten Namen nackte Zelle



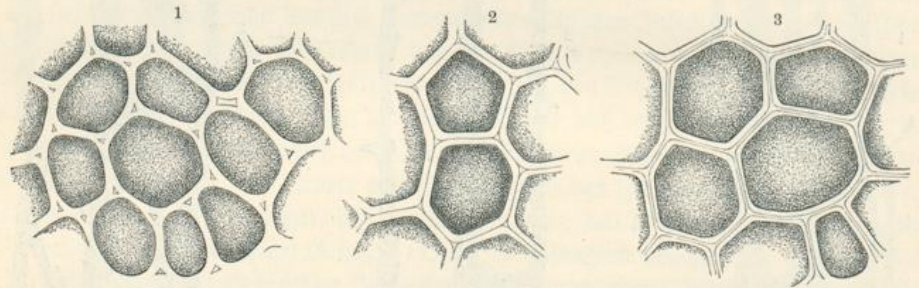
In Zellkammern eingeschlossenes Protoplasma: 1 Protoplasma in den Zellen der Sommerzwiebel; 2 strömendes Protoplasma in den Zellen von Vallisneria; 3 strömendes Protoplasma in den Zellen von Elodea. (Zu S. 24, 27 u. 38.)

anwendete. In neuerer Zeit nennt man jene aus Protoplasma bestehenden lebendigen Einzelwesen, die bei einzelligen Algen und Pilzen die selbstgeschaffenen Kammern als Einsiedler bewohnen, unter Umständen auch ihre Behausungen verlassen und nackt herumswimmen können, in den umfangreichen Pflanzengebäuden dagegen nebeneinander in gefelligem Verband bleiben, Protoplasten.

Nur wenn die Protoplasten kolonienweise in unzähligen kleinen Kammern dicht gedrängt beisammenwohnen, wenn diese Kammern von ebenen Wänden begrenzt und nach allen Richtungen hin ziemlich gleichförmig ausgebildet sind, macht der betreffende Pflanzenteil unter dem Mikroskop den Eindruck einer Bienenwabe und jede Kammer den Eindruck einer Zelle. Aber auch in solchen Fällen äußerer Ähnlichkeit besteht doch ein sehr wesentlicher Unterschied darin, daß in einer Bienenwabe jede der Wände, durch welche die einzelnen Wachszellen gesondert sind, den benachbarten Räumen gemeinschaftlich angehört, daß demnach die Wachszellen Höhlungen in einer einheitlichen Grundmasse darstellen, während in den zelligen Pflanzenteilen jede Zelle ihre besondere selbständige Wand besitzt, weil hier

jede zwischen benachbarte Zellkammern eingeschaltete Scheidewand eigentlich aus zwei Schichten besteht (s. untenstehende Abbildung). Diese zwei Schichten sind an dünnen Zellohäuten, die eben erst von Protoplasten ausgehoben wurden, noch gar nicht oder doch nur teilweise zu erkennen, später lassen sie sich aber immer deutlich unterscheiden (Fig. 2). Häufig heben sich diese Schichten an einzelnen beschränkten Stellen voneinander ab, und es entstehen durch diese Trennung Gänge zwischen den Zellkammern (Fig. 1), die man mit dem Namen Interzellulargänge bezeichnet hat. Manchmal sieht man die Zellen auch in ihrer ganzen Ausdehnung wie durch eine Kittmasse zusammengeleimt. Dies ist die ursprüngliche, aus einem etwas anderen Stoffe wie die inneren Schichten bestehende Scheidewand, die auch Mittellamelle genannt wird.

Auf mechanischem oder chemischem Wege kann man die aneinander grenzenden Zellen gewöhnlich leicht trennen, wobei die Mittellamelle, wenn eine solche vorhanden ist, aufgelöst wird, die beiden Schichten der Zellenscheidewände auseinanderweichen und dann jede



Zellkammern: in den Scheidewänden der Kammern in Fig. 1 und 2 kleine Lufträume oder Interzellulargänge; in Fig. 3 eine feste Zwischensubstanz.

der gesonderten Zellen eine ringsum abgeschlossene Wandung zeigt. Aber auch von selbst trennen sich die Zellen zuweilen, z. B. bei der reifen Schneebere (Symphoricarpus), wo sie auseinanderfallen und im Inneren der Beerenhaut wie ein lockeres Pulver erscheinen. Häufig sind die einzelnen Zellkammern in die Länge gestreckt, schlauchförmig oder röhrenförmig, oder es wird auch die Wand solcher Kammern sehr dick, und zwar auf Kosten des Innenraumes, so daß dieser schließlich kaum mehr zu erkennen ist. Derartige Zellen machen den Eindruck von Fasern und Fäden; Gruppen derselben erscheinen als Bündel und Stränge, haben nicht die entfernteste Ähnlichkeit mit den Zellen einer Bienenwabe, und auf solche Gebilde will dann der Ausdruck Zelle nicht mehr passen. Um sie als wahre Zellen zu erkennen, muß man ihre Entstehung mit dem Mikroskop verfolgen, wo sich dann klar ergibt, daß sie anfangs Zellen sind und sich erst später verändern.

Auch der Ausdruck Zellgewebe, der den ersten anatomischen Werken entstammt und damals als Vergleich verzeihlich war, ist ganz dazu angetan, eine falsche Vorstellung von der Gruppierung und Verbindung der einzelnen Zellkammern zu veranlassen. Unter einem Gewebe denkt man sich doch eine Verbindung fadenförmiger Elemente, derart, daß ein Teil der Fäden nach einer Richtung hin parallel verläuft, und daß dieser Teil der Fäden durch andere ähnliche quer oder schräg durchschossen, gekreuzt und versflochten wird. Bei einem Gewebe, z. B. einem Stück Seidenzeug oder einem Spinnengewebe, werden die Fäden demnach durch Verflechtung und Verschlingung zusammengehalten. Das ist aber

bei den Zellverbindungen, die man Zellgewebe genannt hat, durchaus nicht der Fall. Selbst dann, wenn die Zellen eines sogenannten Zellgewebes eine schlauchförmige, fadenförmige oder faserige Gestalt besitzen, liegen sie nebeneinander, sind wie durch eine Kittmasse miteinander verbunden, niemals aber gekreuzt, umschlungen und verknüpft, wie die Fäden eines textilen Gewebes. Trotzdem hat man den Ausdruck „Zellgewebe“ sowohl in der pflanzlichen wie tierischen Anatomie für einen Verband von Zellen beibehalten, und wir werden ihn sehr oft benutzen müssen.

Man hat die Zellen auch mit Bausteinen verglichen, aber auch dieser Vergleich ist nicht zutreffend. Wenn sich würfelförmige Kristalle aus einer Kochsalzlösung ausscheiden, so kann dieser Vorgang allenfalls mit der Zusammenschichtung, mit dem Auf- und Anlagern von Bausteinen verglichen werden; ein Pflanzenblatt entwickelt sich aber nicht dadurch, daß sich einer schon vorhandenen Schicht eine weitere Schicht von Zellen von außen her zugesellt und anlagert. Die Entwicklung neuer Zellen erfolgt im Inneren der schon vorhandenen, sie erfolgt durch die Tätigkeit der in den Zellkammern eingeschlossenen Protoplasten, und diese liefern daher nicht nur das Baumaterial, sondern sind zugleich auch die tätigen Werkleute. Gerade darin erfassen wir ja einen der wichtigsten Unterschiede zwischen organischen und anorganischen Bildungen, und aus diesem Grunde ist auch der erwähnte Vergleich besser zu vermeiden.

Am anschaulichsten vermag man sich noch die Zellen und Zellverbindungen vorzustellen, wenn man sie mit den Behausungen lebender Wesen vergleicht, wie das in den vorhergehenden Zeilen auch schon wiederholt geschehen ist. Die lebendigen Protoplasten wohnen in den Zellkammern und bilden durch ihre Verbindung zu Geweben ein Gemeinwesen. Innerhalb eines jeden Pflanzenstockes findet gewöhnlich eine Teilung der Arbeit statt, so daß, ähnlich wie in jedem anderen Gemeinwesen, ein Teil der Protoplasten diese, der andere jene Aufgabe übernimmt. Auch verschwinden in den älteren Zellkammern solcher Pflanzenstöcke die lebendigen Protoplasten häufig durch Eintrocknen; erstere dienen dann nur als unbewohnter Unterbau der ganzen weitläufigen Behausung, die mit Luft- und Wasserleitungen durchzogen ist; die Protoplasten aber haben für sich und ihre Nachkommenschaft neue Stockwerke über der alten verlassenen Grundfeste aufgebaut und vollziehen jetzt in den kleinen Kammern dieser oberen Stockwerke ihre unermüdliche Arbeit. So besteht z. B. fast die ganze Holzmasse und Borke des Stammes und der Äste eines mächtigen Baumes aus festen, aber leeren Zellmembranen. Das Protoplasma dieser Gewebemasse hatte seine Aufgabe erfüllt, aber wie jedermann weiß, erzeugt der Baum an seiner Krone jährlich neue Knospen, Triebe und Blätter, die aus lebendigen Zellen bestehen, und auch der Stamm und die Rinde wachsen bekanntlich alljährlich in die Dicke, weil ein dünner Mantel lebendiger protoplasmahaltiger Zellen (das Kambium) zwischen Holz und Rinde erhalten bleibt. Die Arbeit der lebenden Protoplasten besteht in der Aufnahme von Nahrung, Vergrößerung des Körpers, Ausbildung einer Nachkommenschaft, Aufsuchen solcher Plätze, die für eine etwaige Überfiedelung sowie für die Ansiedelung der Nachkommenschaft die günstigsten Bedingungen darbieten, und in der Sicherung des Gebietes, in dem alle diese Arbeiten vor sich gehen sollen, gegen nachteilige äußere Einflüsse. Es erfolgen diese Arbeiten immer sorgfältig geregelt nach Zeit und Ort. Manche sind in ihrem Verlaufe nur schwierig zu beobachten, und man erkennt sie erst an dem fertigen Produkte, andere sind von sehr auffallenden Erscheinungen begleitet und in ihrer Aufeinanderfolge leicht zu übersehen.

## 2. Die Bewegungen der Protoplasten.

### Die Ortsveränderungen der Protoplasten durch Vermittelung von Wimpern, Geißeln und Fortsätzen.

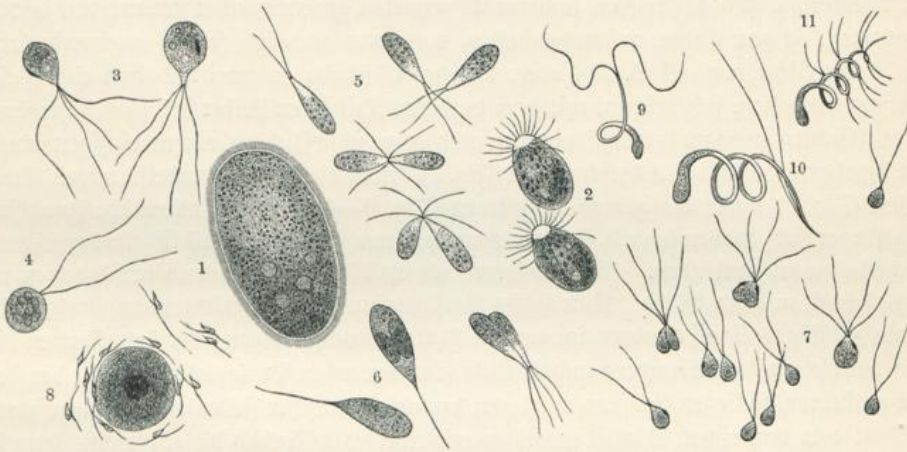
Eine der auffallendsten Erscheinungen, die bei den Arbeitsleistungen der lebenden Protoplasten beobachtet wird, ist die zeitweilige Ortsveränderung, welche der ganze Protoplast, sowie die Verschiebung und Umlagerung, welche die einzelnen Teilchen des Protoplasten erfahren. Am freiesten bewegen sich begreiflicherweise jene Protoplasten, die nicht in Zellkammern eingeschlossen sind, sondern ihre Wohnung verlassen haben und sich im Wasser herumtummeln. Ihre Zahl sowie die Mannigfaltigkeit ihrer Gestalt ist überaus groß. Mehrere tausend Arten von Sporenpflanzen entwickeln bei Gelegenheit ihrer Fortpflanzung, möge diese nun auf geschlechtlichem oder ungeschlechtlichem Wege erfolgen, solche bewegliche Protoplasten, und schon deren Aus schlüpfen aus der Zellhülle findet in unzähligen Variationen statt, wenn sich auch dieser Vorgang im großen und ganzen in ähnlicher Weise abspielt, wie er im vorhergehenden bei *Vaucheria clavata* geschildert wurde. Bald entgleitet nur ein einziger, verhältnismäßig großer Protoplast der geöffneten Zellkammer, bald wieder zerfällt der Zellenleib, bevor die Kammer sich öffnet, in mehrere, oft in sehr viele, sich abrundende Teile, und es drängt sich dann ein ganzer Schwarm kleiner Protoplasten hervor.

Der Form nach weichen diese ausschwärmenden Protoplasten sehr voneinander ab. Bei den Schwärmsporen der Algen, die schön grün gefärbt sind, aber vielfach ein farbloses, mit einem orangeroten Fleck (Augenpunkt) versehenes Vorderende zeigen, nähert sich der Umriß dem eines Ellipsoides oder eines Vogeleies, auch birnförmige, keiselförmige und spindelförmige Gestalten kommen vor; bei den farblosen Spermatozoiden, den männlichen Befruchtungskörpern der Algen, Moose und Farne, ist der Körper der Protoplasten auch schraubig gedreht oder fortkzieherartig gewunden und dabei an dem einen Ende spatelförmig verbreitert oder keulensförmig verdickt (s. Abbildung, S. 29, Fig. 9—11). Sowohl die grünen wie die farblosen Schwärmer enthalten den in Zellen regelmäßig vorhandenen kugelförmigen Zellkern, von dem später noch die Rede sein wird. Von der Oberfläche dieser Schwärmer strecken sich gewöhnlich fadenförmige Fortsätze aus, die bei jeder Art ganz besonders angeordnet und auch nach Zahl und Maß genau bestimmt sind. In dem einen Fall ist die ganze Oberfläche dicht mit solchen kurzen Wimperfäden besetzt wie bei *Vaucheria* (Fig. 1); in einem anderen Falle bilden die Fäden einen Kranz dicht hinter dem kegelförmigen oder schnabelförmigen Ende des birnförmigen Protoplasten, wie bei *Oedogonium* (Fig. 2), oder aber es sind von irgendeiner Stelle, am häufigsten von dem verschmälerten Ende, zwei oder vier lange, unendlich dünne Fäden wie Fühlhörner vorgestreckt (Fig. 3 u. 4). Manche Formen sind an ihrem einen Ende mit einer einzigen langen Geißel versehen, wie die Schwärmsporen von *Botrydium* (Fig. 6), und wieder andere sind an dem schraubig gedrehten Teile mit nach allen Seiten abstehenden Wimpern besetzt, so daß sie ein struppiges, borstiges Ansehen erhalten (Fig. 11).

Mit Hilfe dieser Wimperfäden, die schwingende und zugleich kreisende Bewegungen machen, schwimmen die Protoplasten im Wasser umher. Für viele derselben ist übrigens Schwimmen nicht der zutreffende Ausdruck, namentlich dann nicht, wenn man an das

Schwimmen der Fische durch Vermittelung der Flossen denkt. Tatsächlich ist mit der Fortbewegung nach einer bestimmten Richtung eine fortwährende Drehung des Protoplasten um seine längere Achse verbunden, und man hat daher diese Bewegung mit dem Fortrollen einer Kugel verglichen, obschon auch dieser Vergleich nicht ganz genau ist, da ja bei den schwärmenden Protoplasten die Fortbewegung in der Richtung jener Achse erfolgt, um die sich der ganze Körper dreht. Am besten würde noch die in Frage stehende Bewegung mit dem Einbohren eines Körpers in einen anderen Körper verglichen werden können, und das Richtige ist, sich vorzustellen, daß sich die weichen Protoplasten in das noch weichere Wasser bohren und sich daselbst bohrend fortbewegen, etwa wie ein Torpedogeschöß.

Bei den meisten hier in Betracht kommenden Protoplasten ist die Fortbewegung sehr



Schwärmende Protoplasten. a) Schwärmersporen von Algen: 1 Vaucheria; 2 Oedogonium; 3 Draparnaldia; 4 Coleochaete; 5 Pandorina; 6 Botrydium; 7 Ulothrix. b) Spermatozooiden von Algen, Moosen und Farne: 8 Fucus; 9 Funaria; 10 Sphagnum; 11 Adiantum. (Zu S. 28.)

gleichmäßig; unter den mit einer einzigen Geißel versehenen Formen, zumal denen, die dem Stamme der Spaltpilze angehören, finden sich aber auch solche, die sehr ungleichmäßige Bewegungen ausführen. Nachdem sie längere Zeit hindurch ruhig an einer Stelle verharren, schnellen sie plötzlich in einem Bogen vorwärts, kommen dann zeitweilig wieder zur Ruhe, um darauf neuerdings fortzuschellen.

Unter dem Mikroskop erscheint nicht nur der sich bewegende Körper, sondern auch der Weg, den er zurücklegt, vergrößert; und wenn man z. B. einen sich fortbohrenden Protoplasten bei dreihundertmaliger Vergrößerung betrachtet, so erscheint seine Bewegung dreihundertmal rascher, als sie wirklich ist. In der Tat ist die Bewegung dieser Protoplasten ziemlich langsam. Die früher geschilderten Schwärmer von Vaucheria, die in einer Minute einen Weg von 17 mm zurücklegen, gehören jedenfalls zu den schnellsten. Die meisten kommen in einer Minute um nicht mehr als 5 mm, ja viele nur um 1 mm vorwärts.

Wie schon bei der Schilderung der Vaucheria (vgl. S. 23) erwähnt wurde, dauert die Fortbewegung der bewimperten Protoplasten nur verhältnismäßig kurze Zeit. Sie macht ganz den Eindruck einer zielbewußten Reise, eines Aufsuchens günstiger Plätze zur Ansiedelung und weiteren Entwicklung oder aber eines Hafchens anderer



Protoplasten, die sich in derselben Flüssigkeit herumtreiben. Die grünen Protoplasten suchen zunächst immer das Licht auf und sonnen sich an der Oberfläche des Wassers, dann aber wirbeln sie nach einiger Zeit wieder in die dunklere Tiefe hinab. Manche unter ihnen, zumal die größeren, vermeiden es hierbei, aufeinander zu treffen und weichen sich sorgfältig aus. Sind ihrer viele auf engem Raume zusammengedrängt, und stoßen zwei gegeneinander oder berühren sich allenfalls mit den Wimpern, so hört für einen Augenblick ihre Bewegung auf, aber schon nach einigen Sekunden rücken sie wieder auseinander und entfernen sich in umgekehrten Richtungen.

Im Gegensatz zu diesen ungeselligen Protoplasten haben andere das Bestreben, sich aufzusuchen und sich zu vereinigen. Es macht einen geradezu verblüffenden Eindruck, wenn man sieht, wie z. B. die kleinen, birnförmigen, im Wasser herumwirbelnden Protoplasten von *Pandorina* und zahlreichen anderen Arten gegeneinander steuern, mit den bewimperten, spitzen Enden zusammenstoßen, umkippen und sich seitlich aneinanderlegen (Fig. 5 der Abbildung auf S. 29), oder, wie bei *Ulothrix*, zu zwei und drei eine gleiche Richtung einhalten, sich haschen, mit dem vorderen Teil ihrer Leiber sich seitlich berühren, einige Minuten gepaart herumschwimmen und dann schließlich zu einem einzigen ovalen oder kugelförmigen Protoplasten verschmelzen (Fig. 7). Auch die kleinen spindelförmigen Protoplasten (Fig. 8) sowie die gedrehten Formen (Fig. 9–11), welche männliche Fortpflanzungskörper sind, streben danach, sich mit einem anderen, weiblichen, als Eizelle bezeichneten Protoplasten zu verbinden. Sie schmiegen sich an diese dicht an und verschmelzen mit ihr schließlich zu einer Masse. Eine solche Verschmelzung der schwärmenden Protoplasten ist kein zufälliges Spiel, sondern immer ein Fortpflanzungsvorgang der betreffenden Art.

An diese mittels Wimpern und Geißeln schwimmenden Protoplasten, welche der Zellhaut entbehren, schließen sich jene an, deren protoplasmatischer Zellenleib mit einer zarten Zellhaut wie von einem Mantel umgeben erscheint. Als Vorbild dieser Gruppe kann die *Alge Sphaerella nivalis* gelten, die man seinerzeit „Blume des Schnees“ genannt hat, und die nicht nur mit Rücksicht auf die merkwürdigen Bewegungsercheinungen, sondern auch im Hinblick auf das eigentümliche Vorkommen an Stellen, wo man alle Lebenstätigkeit für erloschen halten möchte, das Erstaunen der Laien und Gelehrten von jeher hervorgerufen hat. Es war im Jahre 1760, als *Saussure* zum erstenmal die Schneefelder in den savoyischen Hochgebirgen lebhaft rot gefärbt sah und die Erscheinung als *Roten Schnee* beschrieb. Einmal aufmerksam gemacht, fand man dann diesen Roten Schnee auch auf den Schweizer, Tiroler und Salzburger Alpen, auf den Pyrenäen, in den Karpathen, im nordöstlichen Teile des Uralgebirges, im arktischen Teile Skandinaviens und in der Sierra Nevada in Kalifornien. In großartigster Entwicklung wurde der Rote Schnee aber in Grönland beobachtet. Als Kapitän *John Ross* im Jahre 1818 auf seiner Entdeckungsexpedition im arktischen Amerika das Kap York umschiffte, sah er alle Schneefelder, die in den Schluchten und Runsen der Eisklippen eingelagert waren, lebhaft karmesinrot gefärbt, und dieser Anblick war so überraschend, daß *John Ross* diese felsigen Steilufer als *Crimson Cliffs* (Karmesin Klippen) bezeichnete. Bei Gelegenheiten späterer Expeditionen in die arktischen Regionen wurde dann der Rote Schnee auch noch nördlich von Spitzbergen, im russischen Lappland und in Ostibirien beobachtet, nirgends aber in so staunenswerter Entwicklung wie auf den *Crimson Cliffs* in Grönland, von denen die beigeheftete Tafel „*Roter Schnee in der Baffinbai*“ ein naturgetreues Bild liefert.



Roter Schnee in der Baffinshai.  
Nach Aquarell von Frh v. Heerne.

Protoplasten, die sich in derselben Flüssigkeit herumtreiben. Die grünen Protoplasten suchen zunächst immer das Licht auf und sonnen sich an der Oberfläche des Wassers, dann aber wirbeln sie nach einiger Zeit wieder in die dunklere Tiefe hinab. Manche unter ihnen, zumal die größeren, vermeiden es hierbei, aufeinander zu treffen und weichen sich sorgfältig aus. Sind ihrer viele auf engem Raume zusammengedrängt, und stoßen zwei gegeneinander oder berühren sich allenfalls mit den Wimpern, so hört für einen Augenblick ihre Bewegung auf, aber schon nach einigen Sekunden rücken sie wieder auseinander und entfernen sich in umgekehrten Richtungen.

Im Gegensatz zu diesen ungeselligen Protoplasten haben andere das Bestreben, sich aufzusuchen und sich zu vereinigen. Es macht einen geradezu verblüffenden Eindruck, wenn man sieht, wie z. B. die kleinen, birnförmigen, im Wasser herumwirbelnden Protoplasten von *Pandorina* und zahlreichen anderen Algenarten gegeneinander steuern, mit den bewimperten, spitzen Enden zusammenstoßen, umkippen und sich seitlich aneinanderlegen (Fig. 5 der Abbildung auf S. 29), oder, wie bei *Ulothrix*, zu zwei und drei eine gleiche Richtung einhalten, sich haschen, mit dem vorderen Teil ihrer Leiber sich seitlich berühren, einige Minuten gepaart herumschwimmen und dann schließlich zu einem einzigen ovalen oder kugelförmigen Protoplasten verschmelzen (Fig. 7). Auch die kleinen spindelförmigen Protoplasten (Fig. 8) sowie die gedrehten Formen (Fig. 9—11), welche männliche Fortpflanzungskörper sind, streben danach, sich mit einem anderen, weiblichen, als Zelle bezeichneten Protoplasten zu verbinden. Sie schmiegen sich an diese dicht an und verschmelzen mit ihr schließlich zu einer Masse. Eine solche Verschmelzung der schwärmenden Protoplasten ist kein zufälliges Spiel, sondern immer ein Fortpflanzungsvorgang der betreffenden Art.

An diese mittels Wimpern und Geißeln schwimmenden Protoplasten, welche der Zellhaut entbehren, schließen sich jene an, deren protoplasmatischer Zellenleib mit einer zarten Zellhaut wie von einem Mantel umgeben erscheint. Als Vorbild dieser Gruppe kann die *Alge Sphaerella nivalis* gelten, die man seinerzeit „Blume des Schnees“ genannt hat, und die nicht nur mit Rücksicht auf die merkwürdigen Bewegungserscheinungen, sondern auch im Hinblick auf das eigentümliche Vorkommen an Stellen, wo man alle Lebenstätigkeit für erloschen halten möchte, das Erstaunen der Laien und Gelehrten von jeher hervorgerufen hat. Es war im Jahre 1760, als Saussure zum erstenmal die Schneefelder in den savoyischen Hochgebirgen lebhaft rot gefärbt sah und die Erscheinung als Roter Schnee beschrieb. Einmal aufmerksam gemacht, fand man dann diesen Roten Schnee auch auf den Schweizer, Tiroler und Salzburger Alpen, auf den Pyrenäen, in den Karpathen, im nordöstlichen Teile des Uralgebirges, im arktischen Teile Scandinaviens und in der Sierra Nevada in Kalifornien. In großartigster Entwicklung wurde der Rote Schnee aber in Grönland beobachtet. Als Kapitän John Ross im Jahre 1818 auf seiner Entdeckungsreise im arktischen Amerika das Kap York umschiffte hatte, sah er alle Schneefelder, die in den Schluchten und Runsen der Uferklippen eingelagert waren, lebhaft karminrot gefärbt, und dieser Anblick war so überraschend, daß John Ross diese felsigen Steilufer als Crimson Cliffs (Karmesinklippen) bezeichnete. Bei Gelegenheit späterer Expeditionen in die arktischen Regionen wurde dann der Rote Schnee auch noch nördlich von Spitzbergen, im russischen Lappland und in Ostsibirien beobachtet, nirgends aber in so staunenswerter Entwicklung wie auf den Crimson Cliffs in Grönland, von denen die beigeheftete Tafel „Roter Schnee in der Baffinbai“ ein naturgetreues Bild liefert.



Roter Schnee in der Baffinsbai.  
Nach Aquarell von Fritz v. Kerner.



Besieht man eines der Schneefelder, das von der Blume des Schnees gerötet ist, in der Nähe, so findet man, daß nur die oberflächlichste Schicht des Schnees, ungefähr 50 mm tief, die rotfärbende Substanz enthält, und daß sich die Erscheinung vorzüglich an den Stellen ausgebildet hat, wo der Schnee unter dem Einflusse der Sommerwärme teilweise abgeschmolzen ist, besonders also in den großen und kleinen Mulden und gegen den Rand der Schneefelder, wo sich regelmäßig auch der sogenannte Schneestaub oder Kryokonit in Gestalt von schwärzlichen, graphitartigen, schmierigen Streifen hinzieht. Unter dem Mikroskop betrachtet, stellt sich die den Schnee rotfärbende Masse als eine Anzahl kugeligter Zellen dar, die eine ziemlich derbe, farblose Zellhaut und ein mit Chlorophyll durchsetztes Protoplasma besitzen. Die grüne Farbe des Chlorophylls wird aber durch einen blutroten Farbstoff so verdeckt, daß man sie erst zu erkennen vermag, wenn der rote Farbstoff ausgezogen wird oder sich von selbst in der Zelle auf einige wenige beschränkte Stellen zurückzieht. Die vollkommen kugeligen Zellen rühren sich nicht von der Stelle und geben auch, solange der Schnee erstarrt ist, kein Lebenszeichen von sich. Sobald aber die Wärme der Hochsommermonate den Schnee zum Schmelzen bringt, werden auch diese Zellen lebendig; sie vergrößern sich zusehends und bereiten sich, wenn sie einmal eine gewisse Größe erreicht haben, zur Teilung und Vermehrung vor. Die Ernährung und Vergrößerung erfolgt auf Kosten des von dem Schmelzwasser des Schnees aus der atmosphärischen Luft absorbierten Kohlendioxyds und auf Rechnung der den Schneestaub bildenden anorganischen Bestandteile. Was den Schneestaub anbetrifft, so sei hier nur zum Verständnis der mikroskopischen Abbildung des Roten Schnees auf der Tafel bei S. 22, Fig. 5—8, bemerkt, daß sich in den Alpen unter den organischen Bestandteilen des Schneestaubes besonders häufig die durch Stürme in die Hochgebirgsregion hinaufgetragenen, teilweise schon in Verwesung begriffenen Blütenstaubzellen von Nadelhölzern, zumal von Fichten, Zirben und Lärchen, finden, und daß fast in allen untersuchten Proben die Zellen des Roten Schnees mit den quereovalen, an beiden Seiten halbkugelig aufgetriebenen, schmutzig-gelblichen Blütenstaubzellen der genannten Koniferen in der Weise gemengt sind, wie es die Figuren 5—8 auf der Tafel bei S. 22 veranschaulichen.

Mit Hilfe der im Schmelzwasser des Schnees sich lösenden Bestandteile des Schneestaubes ernähren sich nun, wie gesagt, die roten Zellen, vergrößern sich und teilen sich schließlich in vier, manchmal aber auch in sechs und acht, seltener nur in zwei Tochterzellen (s. die Tafel „Schwärmisporen. Zochfrüchte. Formen des Chlorophylls“ bei S. 22, Fig. 6 u. 7). Als bald, nachdem sich die Teilung vollzogen hat, isolieren sich die gebildeten Tochterzellen, nehmen eine eiförmige Gestalt an und zeigen an dem schmälern Ende zwei lange, wirbelnde Wimperfäden, mit deren Hilfe sie sich ziemlich lebhaft im Schmelzwasser des Schnees bewegen, fortzuschwimmen und so ohne Zweifel zur Verbreitung über das Schneefeld beitragen. Im Augenblicke des Freiwerdens und der ersten Bewegungen, welche die kleinen Schwimmer ausführen, erscheint ihr Zellenleib nackt; bald aber umgibt sich jeder derselben mit einer sehr zarten, aber deutlich erkennbaren Haut, die jedoch merkwürdigerweise dem Protoplasma nicht dicht anliegt, sondern sich abhebt und den roten Körper wie ein weiter Sack umhüllt (Fig. 5). Nur vorn, wo sich die beiden Wimpern wirbelnd bewegen, liegt die Haut dem Zellenleibe dicht an, und man muß annehmen, daß hier die Wimpern, die nichts anderes als Fortsätze der Substanz des Protoplasmas sind, durch die Zellhaut durchgesteckt sind. Diese Schwärmer bilden das seltene Beispiel von Protoplasten, die sich

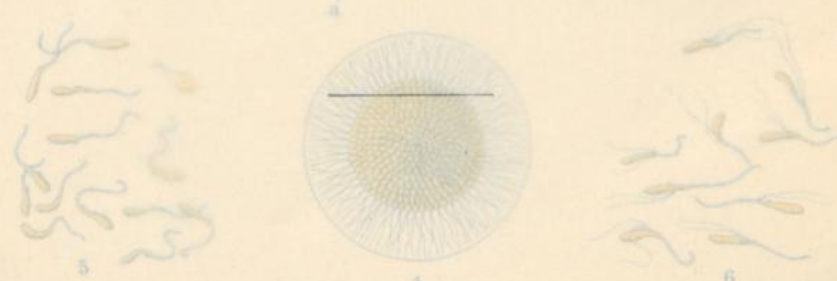
einzeln durch Vermittelung von Wimpern im Wasser bewegen und dabei die selbstgeschaffene Zellhaut mit herumschleppen.

Wie lange das Herumschwimmen in der freien Natur dauert, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. In unseren mittel- und südeuropäischen Hochgebirgen, wo auf die warmen Tage selbst im Hochsommer bitterkalte Nächte folgen, und das nicht abgeflossene Schmelzwasser in den Mulden der Schneefelder über Nacht wieder zu Eis erstarrt, wird die Bewegung ohne Zweifel oftmals unterbrochen; im hohen Norden, wo die Sonne im Hochsommer wochenlang nicht untergeht, dürfte dagegen eine solche Unterbrechung zu den Seltenheiten gehören. Auf keinen Fall ist übrigens die Beweglichkeit der roten Schwärmer auf so kurze Zeit beschränkt wie bei den gewöhnlichen Schwärmsporen. Sie vermögen sich auch zu ernähren und zu vergrößern, und man hat beobachtet, daß sie in der Kultur innerhalb zweier Tage einen viermal größeren Umfang angenommen haben. Sind sie endlich zur Ruhe gekommen, so ziehen sie ihre Wimpern ein, nehmen eine kugelförmige Gestalt an, verdicken ihre Zellhaut, die jetzt wieder dem Zellenseibe dicht anliegt, und teilen sich wieder in zwei, vier oder acht Zellen (Fig. 6 u. 7 der Tafel bei S. 22).

Mit dieser merkwürdigen Sphaerella nivalis sehr nahe verwandt und sowohl in der Form und Farbe als auch der Bewegung durch Wimpern übereinstimmend, ist Sphaerella pluvialis, die sogenannte Blutalge, die sich im mittleren Europa in kleinen, mit Regenwasser zeitweilig erfüllten Vertiefungen der Felsplatten, in Aushöhungen der Gesteine und auch in den im Freien aufgestellten Schalen und Becken einstellt, sich dort rasch vermehrt und dann den Eindruck hervorbringt, als ob das Regenwasser durch Blut rot gefärbt worden sei. Auch reiht sich an diese Sphaerella der im Süßwasser lebende, bei den Mikroskopikern berühmte *Volvox Globator* an, der schon Leeuwenhoek bekannt war, von ihm auch schon als Pflanzentwesen angesprochen, aber später von Linné der auffallenden Ortsveränderung wegen für ein Tier gehalten und Kugeltier genannt wurde. Eine solche *Volvox*-Kugel (vgl. die beigeheftete Tafel, Fig. 1) besteht aus einer ungemein großen Zahl (ca. 12000) von Zellen, die alle eine durchsichtige Gallertthülle und einen sternförmigen grünen Protoplasten besitzen und familienweise zusammenleben. Sie sind miteinander zu einer Hohlkugel verbunden, aber da die Gallertthüllen der Zellen glashell sind, so sieht man von außen nur die grünen, sternförmigen Protoplasten, die ein grünes Netz zu bilden scheinen. Von dem der Peripherie zugewendeten, durch einen glänzenden roten Punkt bezeichneten Ende jedes Protoplasten gehen ein paar Wimperfäden aus, die durch die zarte gallertartige Hülle der ganzen Kugel durchgesteckt sind, in das umgebende Wasser hinausragen und sich dort rhythmisch bewegen (Fig. 7). Ähnlich wie eine mit mehreren Rudern bemannte Barke durch die gleichmäßigen Ruderschläge im Wasser dahingleitet, bewegt sich nun auch der kugelige *Volvox Globator* fort, sobald die Protoplasten, welche die Besatzung dieses sonderbaren sphärischen Fahrzeuges bilden, mit ihren wimperförmigen Rudern zu pendeln und herumzuwirbeln beginnen, ein ungemein zierliches Schauspiel, das die Beobachter aller Zeiten in gerechtes Erstaunen versetzte und auch niemals verfehlen wird, bei jedem, der solche *Volvox*-Kugeln zum erstenmal langsam dahinvrollen sieht, freudiges Entzücken hervorzurufen. Zwischen den Zellen der Kugeloberfläche sieht man große grüne Plasmafugeln. Es sind die weiblichen Zellen, die von in anderen Räumen liegenden männlichen gelbgefärbten beweglichen Spermatozoiden (Fig. 4—6) befruchtet werden (Fig. 2), um dann durch Teilung junge *Volvox*-Kugeln zu bilden. Gleich reizend sind die einfacher gebauten, mit dem *Volvox* verwandten

## Die Entwicklung von Volvox globator.

1. Eine kugelförmige Kolonie mit männlichen (gelben) und weiblichen (grünen) Geschlechtszellen. In a, a sind die Spermatozoen in verschiedener Lage zu sehen; bei dem untersten a sind sie schon auseinandergefallen, um herauszuschwimmen und eine grüne weibliche Zelle zu befruchten. 250mal vergrößert.
2. Eine weibliche Zelle, in deren Gallertkapsel die Spermatozoen eingehämmert sind, 400mal vergrößert.
3. Eine nach der Befruchtung mit einer stacheligen feinen Membran umgebene, zur Spore gewordene weibliche Zelle, 400mal vergrößert.
4. Ein vereinigtes Spermatozoenbündel, noch von der Zellhaut umschlossen, 800mal vergrößert.
5. Freie Spermatozoen in Bewegung, die Geißeln sind wegen ihrer Feinheit unsichtbar.
6. Spermatozoen, mit Jod getötet, um die Anheftung der Geißeln zu sehen.
7. Durchschnitt durch die kleinen Zellen, welche die Oberfläche der Kugel bilden. Die grünen bewimperten Protoplasten stecken in einer Gallertmembran, durch welche die Wimpern hindurchtreten.



## Die Entwicklung von Volvox globator.

Nach Veró, Cohn, Die Entwicklungsgeschichte der Gattung Volvox.

Abdruck aus der Zeitschrift vom 1889. Doppeljahrgang des Geheimen Medicinalrats Professor Dr. Osseppert am 23. Jan. 1873.



einzelnen durch Vermittlung von Wimpern im Wasser bewegen und dabei die selbstgeschaffene Zellhaut mit herumschleppen.

Wie lange das Perumschwimmen in der freien Natur dauert, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. In weiteren mittel- und südeuropäischen Hochgebirgen, wo auf die warmen Tage selbst im Hochsommer bitterkalte Nächte folgen, und das nicht abgestossene Schmelzwasser in den Mulden der Schneefelder über Nacht wieder zu Eis erstarrt, wird die Bewegung ohne Zweifel oftmals unterbrochen; im hohen Norden, wo die Sonne im Hochsommer wochenlang nicht untergeht, dürfte dagegen eine solche Unterbrechung zu den Seltenheiten gehören.

### Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Schwärmer auf so kurze Zeit beschränkt wie bei den geoböhmischen Schwärmsporen. Sie vermögen sich auch zu ernähren und zu vergrößern, und man hat beobachtet, daß sie in der Kultur innerhalb zweier Tage einen viermal größeren Umfang angenommen haben. Sind sie endlich zur Ruhe gekommen, so ziehen sie ihre Wimpern ein, nehmen eine kugelförmige Gestalt an, verdrängen ihre Zellhaut, die jetzt wieder dem Gelenkewebe dicht anliegt, und teilen sich wieder in zwei, drei oder fünf Zellen (vgl. Fig. 6 u. 7 der Tafel der S. 22).

1. Eine kugelförmige Kolonie mit männlichen (gelben) und weiblichen (grünen) Geschlechtszellen. In a, a, a sind die Spermatozoiden in verschiedener Lage zu sehen; bei dem untersten a sind sie schon auseinandergefallen, um herauszuschwärmen und eine grüne weibliche Zelle zu befruchten. 250mal vergrößert.

2. Eine weibliche Zelle, in deren Gallerthülle die Spermatozoiden eingedrungen sind, 400mal vergrößert.

3. Eine nach der Befruchtung mit einer stacheligen feinen Membran umgebene, zur Spore gewordene weibliche Zelle, 400mal vergrößert, bei den Mikroskopikern berühmt.

4. Ein vereinigt Spermatozoidenbündel, noch von der Zellhaut umschlossen, 800mal vergrößert.

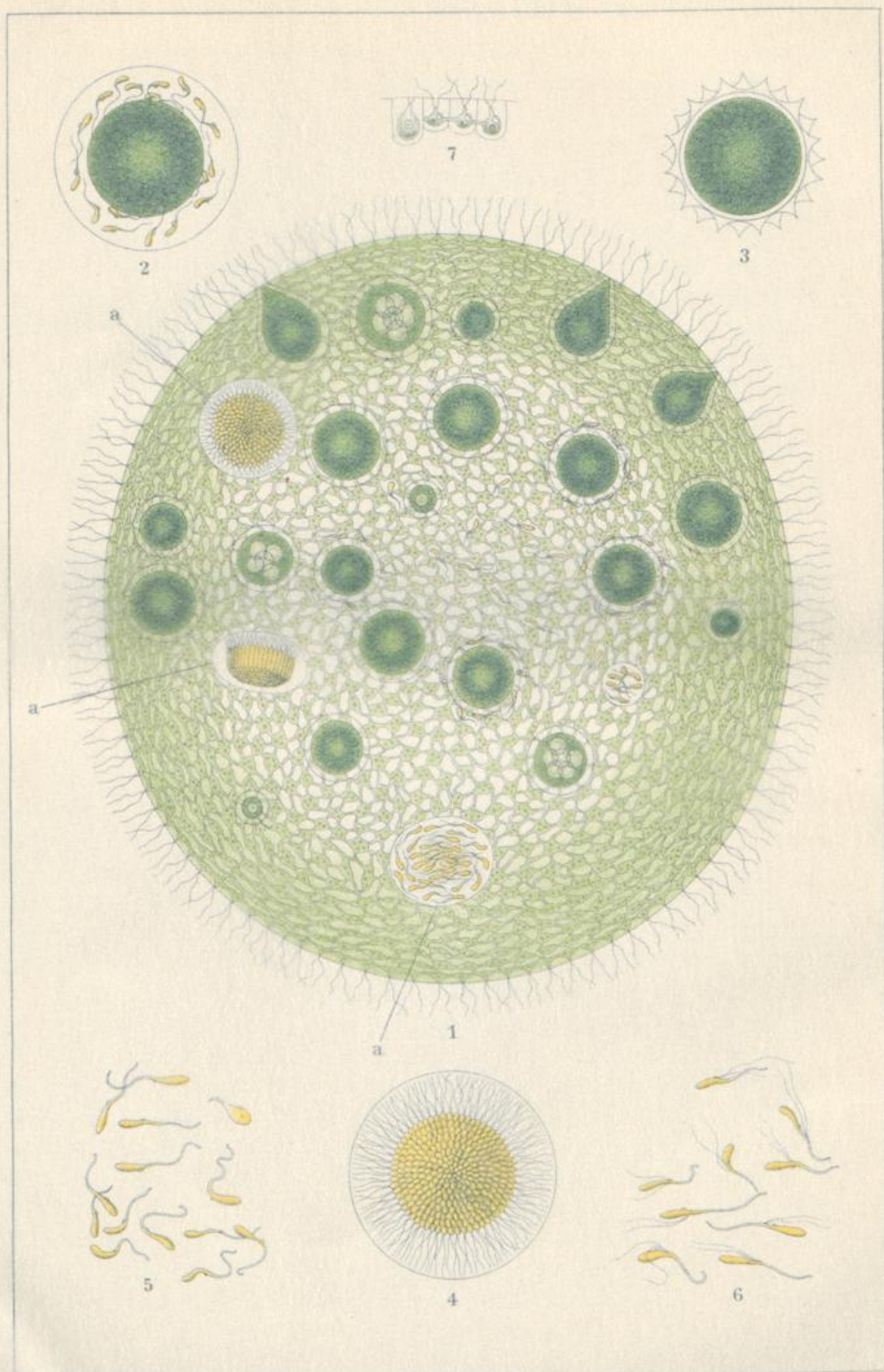
5. Freie Spermatozoiden in Bewegung, die Geißeln sind wegen ihrer Feinheit unsichtbar.

6. Spermatozoiden, mit Jod getötet, um die Anheftung der Geißeln zu sehen.

7. Durchschnitt durch die kleinen Zellen, welche die Oberfläche der Kugel bilden.

Die grünen bewimperten Protoplasten stecken in einer Gallertmembran, durch welche die Wimpern hindurchtreten.

durch die zarte gallertartige Hülle der ganzen Kugel durchgesteckt sind, in das umgebende Wasser hinaustragen und sich dort rhythmisch bewegen (Fig. 7). Ähnlich wie eine mit mehreren Rudern bemannte Barke durch die gleichmäßigen Ruderschläge im Wasser dahingleitet, bewegt sich nun auch der kugelige *Volvox Globator* fort, sobald die Protoplasten, welche die Befahrung dieses sonderbaren sphärischen Fahrzeuges bilden, mit ihren wimperförmigen Rudern zu pendeln und herumzuwirbeln beginnen, ein ungemein zierliches Schauspiel, das die Beobachter aller Zeiten in gerechtes Entzücken versetzte und auch niemals verfehlen wird, bei jedem, der solche *Volvox*-Kugeln zum erstenmal langsam dahintrollen sieht, freudiges Entzücken hervorzurufen. Zwischen den Zellen der Kugeloberfläche sieht man große grüne Plasmatropfen. Es sind die weiblichen Zellen, die von in anderen Räumen liegenden männlichen gelbgefärbten beweglichen Spermatozoiden (Fig. 4—6) befruchtet werden (Fig. 2), um dann durch Teilung junge *Volvox*-Kugeln zu bilden. Gleich reizend sind die einfacher gebauten, mit dem *Volvox* verwandten



Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Nach Ferd. Cohn, Die Entwicklungsgeschichte der Gattung *Volvox*.

(Sonderabdruck aus der Festschrift zum 50jähr. Doktorjubiläum des Geheimen Medizinalrats Professor Dr. Göppert am 11. Jan. 1873.)

einzelnen durch Vermittelung von Wimpern im Wasser bewegen und dabei die selbstgeschaffene Zellhaut mit herumschleppen.

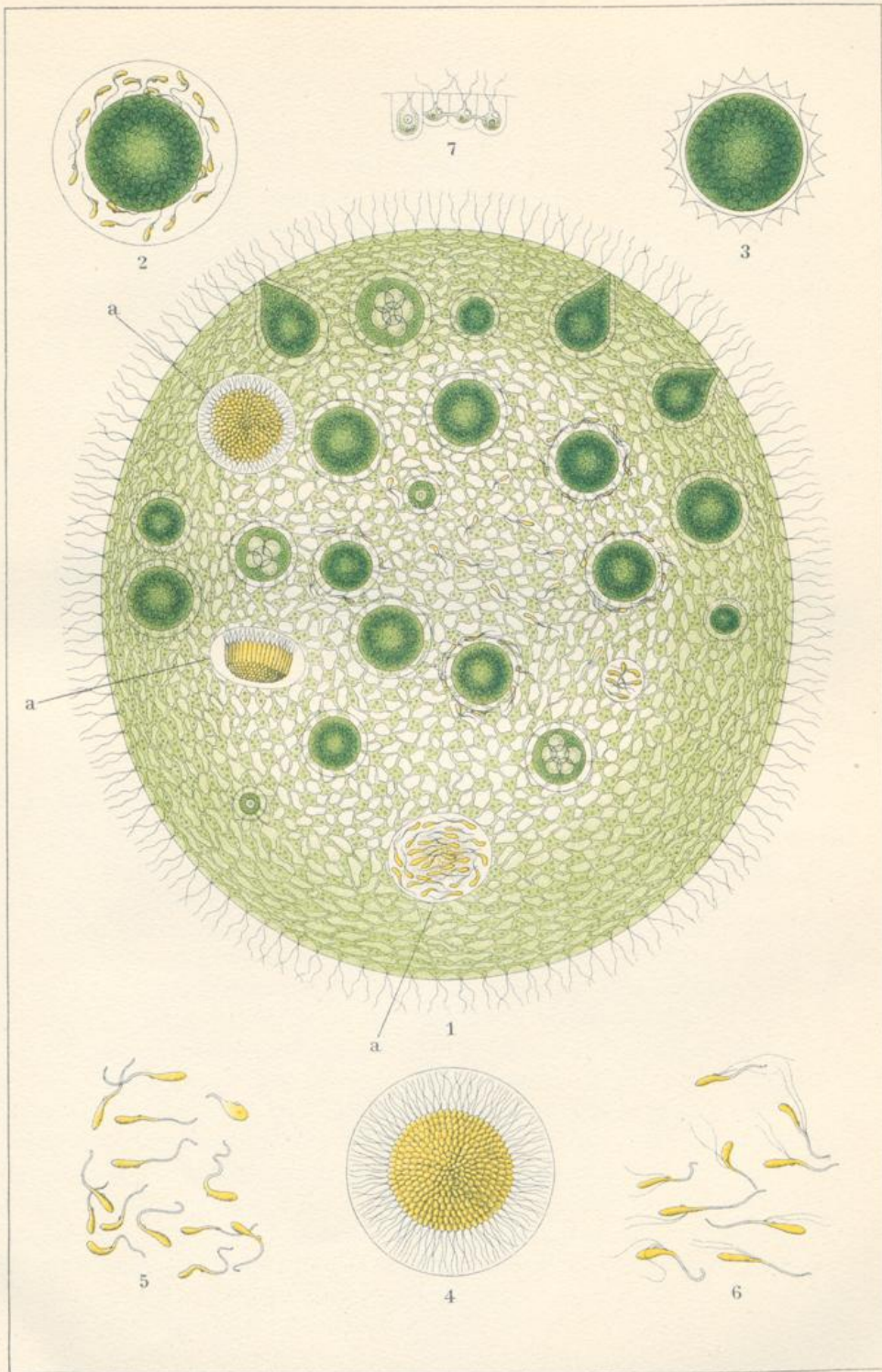
Wie lange das Herumschwimmen in der freien Natur dauert, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. In unseren mittel- und südeuropäischen Hochgebirgen, wo auf die warmen Tage bald im Hochsommer bitterkalte Nächte folgen, und das nicht abgeflossene Schmelzwasser in den Mulden der Schneefelder über Nacht wieder zu Eis erstarrt, wird die Bewegung ohne Zweifel oftmals unterbrochen; im hohen Norden, wo die Sonne im Hochsommer wochenlang nicht untergeht, dürfte dagegen eine solche Unterbrechung zu den Seltenheiten gehören.

### Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Die Entwicklung der *Volvox globator* ist auf so kurze Zeit beschränkt wie bei den gewöhnlichen Schwärmersporen. Sie vermögen sich auch zu ernähren und zu vergrößern, und man hat beobachtet, daß sie in der Kultur innerhalb zweier Tage einen viermal größeren Umfang angenommen haben. Sind sie endlich

1. Eine kugelförmige Kolonie mit männlichen (gelben) und weiblichen (grünen) Geschlechtszellen. In a, a, a sind die Spermatozoiden in verschiedener Lage zu sehen; bei dem untersten a sind sie schon auseinandergefallen, um herauszuschwärmen und eine grüne weibliche Zelle zu befruchten. 250mal vergrößert.
2. Eine weibliche Zelle, in deren Gallertkapsel die Spermatozoiden eingedrungen sind, 400mal vergrößert.
3. Eine nach der Befruchtung mit einer stacheligen feinen Membran umgebene, zur Spore gewordene weibliche Zelle, 400mal vergrößert, bei den Mikroskopikern befruchtete Spore.
4. Ein vereinigtes Spermatozoidenbündel, noch von der Zellhaut umschlossen, 800mal vergrößert.
5. Freie Spermatozoiden in Bewegung, die Geißeln sind wegen ihrer Feinheit unsichtbar.
6. Spermatozoiden, mit Jod getötet, um die Anheftung der Geißeln zu sehen.
7. Durchschnitt durch die kleinen Zellen, welche die Oberfläche der Kugel bilden.

Die grünen bewimperten Protoplasten stecken in einer Gallertmembran, durch welche die Wimpern hindurchtreten. durch die zarte gallertartige Hülle der ganzen Kugel durchgesteckt sind, in das umgebende Wasser hinausstagen und sich dort rhythmisch bewegen (Fig. 7). Ähnlich wie eine mit mehreren Rudern bemannte Barke durch die gleichmäßigen Ruderschläge im Wasser dahingleitet, bewegt sich nun auch der kugelige *Volvox Globator* fort, sobald die Protoplasten, welche die Besatzung dieses sonderbaren sphärischen Fahrzeuges bilden, mit ihren wimperförmigen Rudern zu pendeln und herumzuwirbeln beginnen, ein ungemein zierliches Schauspiel, das die Beobachter aller Zeiten in gerechtem Erstaunen versetzte und auch niemals verfehlen wird, bei jedem, der solche *Volvox*-Kugeln zum erstenmal langsam dahintrollen sieht, freudiges Entzücken hervorzurufen. Zwischen den Zellen der Oberfläche sieht man große grüne Plasmalugeln. Es sind die weiblichen Zellen, die von den zwischen ihnen liegenden männlichen gelbgefärbten beweglichen Spermatozoiden (Fig. 4) befruchtet werden (Fig. 2), um dann durch Teilung junge *Volvox*-Kugeln zu bilden. Dieselben sind die einfacher gebauten, mit dem *Volvox* verwandten



Die Entwicklung von *Volvox globator*.

Nach Serd. Cohn, Die Entwicklungsgeschichte der Gattung *Volvox*.

(Sonderabdruck aus der Festschrift zum 50jähr. Doktorjubiläum des Geheimen Medizinalrats Professor Dr. Göppert am 11. Jan. 1875.)

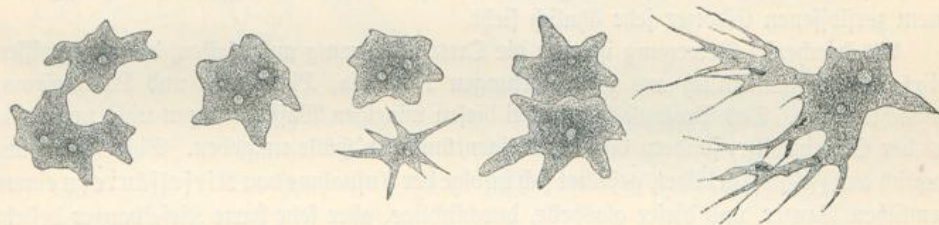


*Amöben!*

beweglichen Kolonien von *Pandorina* und *Gonium*, die gelegentlich in kleinen Wasseransammlungen in Menge auftreten. (Vgl. die Tafel „Algenformen“ in Bd. II.)

Alle mit Hilfe von Wimpern und Geißeln sich fortbewegenden Protoplasten bedürfen, sobald sie am Ziel ihrer Reise angelangt sind, ihrer wirbelnden Bewegungsorgane nicht weiter. Die Wimpern, ob zahlreich oder vereinzelt, ob kurz oder lang, werden zunächst starr und sind dann auf einmal nicht mehr zu unterscheiden. Entweder werden sie eingezogen, oder sie zerfließen in der umgebenden Flüssigkeit. Mögen sich nun die zur Ruhe gekommenen Schwärmer irgendwo geeignete Stellen zur weiteren Entwicklung ausgewählt haben, wie bei *Vaucheria*, oder mögen sie sich mit ihresgleichen zu einer neuen Zelle vereinigt haben, immer nimmt der am Ziel angelangte und zur Ruhe gekommene Protoplast die Kugelgestalt an und umgibt sich für den Fall, daß er nicht schon mit einem Mantel aus Zellstoff versehen ist, mit einer festen Hülle, welche die weiche, schleimige Masse seines Körpers nach außen zu schützen vermag.

Wesentlich anders als die eben geschilderte ist die Bewegung anderer Protoplasten, die nicht mit Geißeln oder kreisend schwingenden Wimperfäden versehen sind, sondern die nach



Kriechendes Protoplasma (Amöben).

dieser oder jener Richtung hin Teile ihres Leibes vorstrecken, gleichzeitig andere Teile derselben zurückziehen und dadurch den Umriss ihres äußerst zarten, gallertigen Körpers fort und fort verändern. Man nennt solche kleine Protoplasten *Amöben*. Sie sind, von ähnlichen, zu den Protozoen, also zum Tierreich gehörigen Formen abgesehen, meist aus den Sporen von Schleimpilzen (*Myxomyzeten*) entstanden. In dem einen Augenblick erscheinen sie unregelmäßig eckig, kurz danach sternförmig, dann wieder in die Länge gezogen, spindelförmig, allmählich wieder rundlich (s. obenstehende Abbildung). Die vorgestreckten Teile sind bald zart und laufen in einen Faden aus, bald sind sie verhältnismäßig dick und haben im Vergleiche zur Hauptmasse des Leibes fast das Ansehen von Armen und Füßen. Auch die *Amöben* lassen einen Zellkern erkennen. Die Bewegung ist hier nicht bohrend, sondern kriechend. Indem sich die fußartigen Fortsätze, die man *Pseudopodien* (Scheinfüßchen) genannt hat, nach einer bestimmten Richtung stark vorstrecken, andere gegenüberliegende dagegen zurückziehen, gleitet der ganze Protoplast über die Unterlage dahin wie eine Rachtschnecke. Die aus den Sporen gleichartiger Schleimpilze stammenden *Amöben* zeigen unter dem Mikroskop ein ganz überraschendes Verhalten. Wenn zwei oder mehrere dieser kriechenden Protoplasten zusammentreffen, so verschmelzen sie miteinander und fließen zusammen, wie etwa zwei auf dem Wasser schwimmende Öltropfen, die sich zu einem einzigen Tropfen verbinden, ohne daß man die Grenzen der verbundenen Körper weiterhin noch zu erkennen vermöchte. Auf diese Weise können durch Zusammenkriechen und Verschmelzen zahlreicher

*Pro. ohne Wimpern = Amöben.*

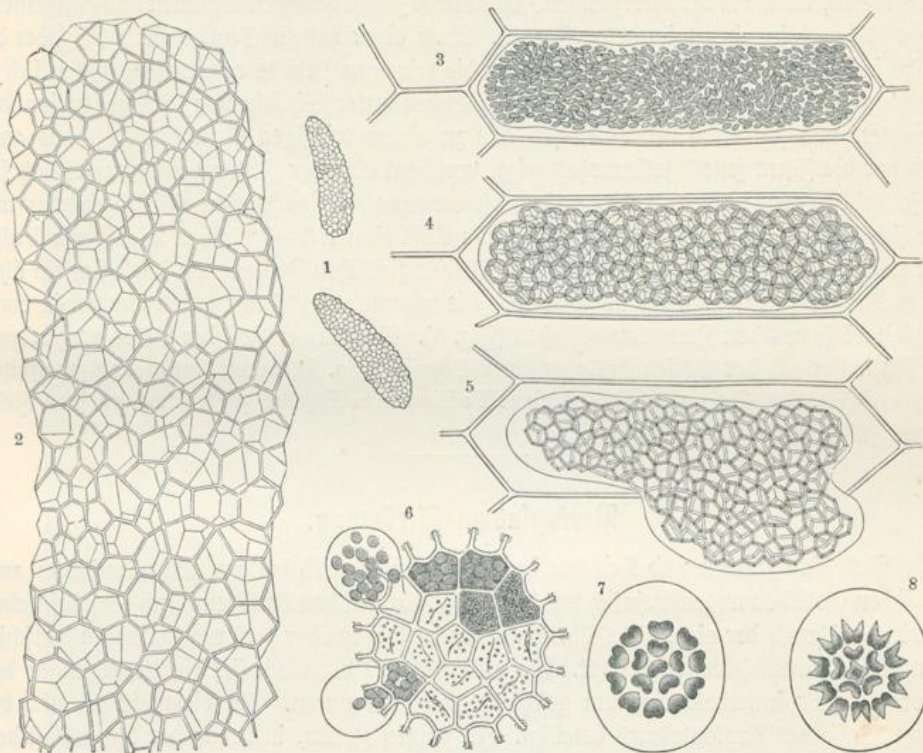
kleiner Protoplasten schleimige Klumpen aus Protoplasma entstehen, welche die Größe einer Hand oder Faust erreichen. Und, was sehr merkwürdig ist, diese schleimigen Massen können selbst wieder ihre Gestalt verändern, Lappen und Stränge wie Arme und Füße ausstrecken und herumkriechen wie die einzelnen Protoplasten, aus deren Vereinigung sie entstanden sind.

Bald bewegen sich diese kriechenden Schleimmassen in der Richtung des einfallenden Lichtes, bald wieder weichen sie dem Licht aus und verbergen sich in dunkeln Räumen, ziehen und spinnen sich durch die Zwischenräume aufgehäufter Rindenstücke oder durch die Hohlräume morscher Baumstrünke, kriechen an Pflanzenstengeln empor oder schleichen als zerflossene Fladen über die schwarze Erde dahin. Sie lösen sich dann nicht selten in Bänder, Schnüre und Fäden auf, welche feste Körper umwallen, sich teilen und wieder vereinigen und vielmaschige Netze oder auch dem „Kuckucksspeichel“ ähnliche schaumige Massen bilden. Die von den Schleimsträngen des Netzes umspinnenen fremden Körper können, wenn sie einen geringen Umfang haben, von dem vorwärts kriechenden Protoplasma mitgeschleppt und, wenn sie Nährstoffe enthalten, auch ausgezogen und aufgezehrt werden. Diese kriechenden Gebilde sind zum Teil farblos, einige aber auch lebhaft gefärbt, zumal der bekannteste aller Schleimpilze, die sogenannte Lohblüte, der eine gelbe Farbe besitzt und einem zerflossenen Eidotter sehr ähnlich sieht.

Als kriechende Bewegung ist auch die Ortsveränderung aufzufassen, die an gewissen Diatomeen, namentlich aus den Gattungen *Navicula*, *Pinnularia* und *Pleurosigma*, beobachtet wird. Das Protoplasma ist bei diesen winzigen Wasserpflanzen nicht nackt, wie das der Schleimpilze, sondern von einer eigentümlichen Hülle umgeben. Diese Hülle, anfänglich aus Zellstoff gebildet, gestaltet sich infolge der Aufnahme von Kieselsäure zu einem förmlichen Panzer, und dieser glashelle, durchsichtige, aber sehr harte Kieselpanzer besteht aus zwei Hälften, die ähnlich wie die beiden Teile einer Schachtel zusammenschließen. Die ganze gepanzerte Zelle hat häufig die Form einer Gondel oder eines Schiffchens mit geschweiftem oder geradlinigem Kiel und mit den mannigfachen Leisten, Rippen und sonstigen Zeichnungen der gepanzerten Wände (vgl. Abbildung, S. 58). Von inneren Kräften getrieben, ziehen diese gepanzerten Schiffchen am Grunde des Wassers oder über feste Körper, die sich im Wasser befinden, ihre Bahnen, langsam und gleichmäßig über die Unterlage hinschleifend oder auch ruckweise und mit ziemlich langen Unterbrechungen sich scheinbar mühsam fortschleppend, einige Zeit eine gerade Richtung einhaltend, nicht selten ohne sichtbaren Grund seitlich abschwenkend und auf einen anderen Weg einlenkend, manchmal auch sich zurückschiebend, vorspringende Gegenstände umfahrend oder diese mit einer ihrer festen, häufig knotenförmig verdickten Spitzen berührend und aus dem Wege stoßend, so daß sie längs des Kieles der kleinen Panzerschiffe vorbeigleiten. Und doch sieht man keine Ruder oder Wimpern aus dem Gefährte vorgestreckt; auch der Kieselpanzer zeigt keinerlei bewegliche Fortsätze, aus denen man diese Bewegungen zu erklären vermöchte. Man glaubt sich aber zu der Annahme berechtigt, daß der in den Kieselshalen der Diatomeen wohnende Protoplast durch Spalten und Poren der Schale doch äußerst feine Fortsätze hervorstreckt, welche die kleine Alge über die Unterlage fortschieben. Andere Forscher glauben, daß Wasserströme aus der Zelle in das Wasser treten und die Zellen vorwärts treiben. Doch bedarf die Aufklärung der Diatomeenbewegung noch weiterer Untersuchungen.

Noch schwerer sind die Bewegungen, welche die Fäden der *Beggiatoa*-, *Oscillaria*- und *Zonotrichia*-Arten vollziehen, zu erklären. An den spangrünen Fäden von *Oscillaria*,

welche aus zahlreichen, kurz-zylindrischen oder scheibenförmigen Zellen zusammengesetzt sind und die, an dem einen Ende festsetzend, mit dem anderen Ende die auffallendsten Bewegungen ausführen, sich bald vorstrecken, bald zurückziehen, sich jetzt schlängelförmig krümmen, dann wieder geradestrecken, vor allem aber kreisend im Wasser herumschwingen, kann man keinerlei äußere Bewegungsorgane beobachten und auch nicht einmal voraussetzen, da die Zellwände von einer Schleimmembran ganz überzogen sind.



Koloniebildung in den Zellen des Wassernezes und in denen von Pedastrum: 1 Wassernez (Hydrodictyon), in natürl. Größe; 2 ein Stück eines Wassernezes, 50fach vergrößert; 3—5 Entwicklung und Ausschleppen einer netzförmigen Kolonie, 300fach vergrößert; 6 Pedastrum granulatum, Entwicklung und Austreten von Kolonien, die punktierten Zellkammern bereits entleert; 7, 8 freigewordene Kolonien von Pedastrum in zwei Entwicklungsstadien, 240fach vergrößert. (Zu S. 36.)

Eine merkwürdige, gleitende Bewegung der Protoplasten innerhalb der Zelle läßt sich bei der Befruchtung einer bei uns häufigen Süßwasseralge beobachten. Wegen ihres schraubenförmigen Chlorophyllbandes heißt sie Spirogyra. Fig. 11 der Tafel bei S. 22 stellt eine Spirogyra-Art bei 300facher Vergrößerung dar. Bei der Befruchtung treiben die Zellen nebeneinander im Wasser schwimmender Fäden kurze Ausstülpungen, die sich endlich berühren. Es entsteht darauf ein offener Verbindungskanal, durch welchen der grüne Protoplast der einen Zelle, der sich von der Wand gelöst und zur Kugel abgerundet hat, zur Nachbarzelle hinübergleitet, um mit dem dort seiner harrenden Protoplasten zu einer kugelförmigen Spore zu verschmelzen. Die Spore bedeckt sich mit einer Membran und kann einen neuen Algenfaden liefern.

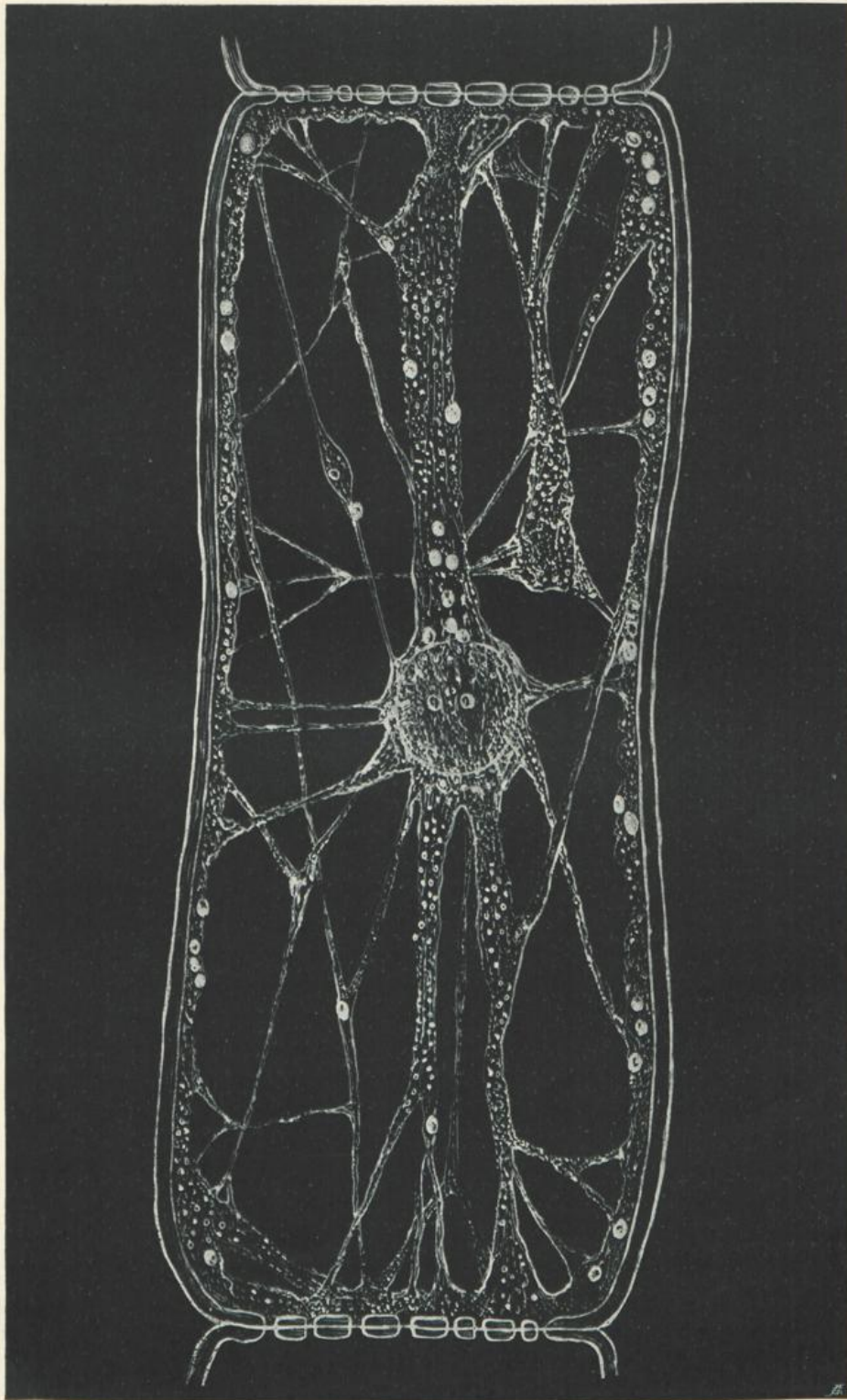
Eine wimmelnde Bewegung des Protoplasmas beobachtet man bei mehreren unter dem Namen Protofokazeen zusammengefaßten Algen, namentlich bei dem sogenannten



Wasserneze, *Hydrodictyon utriculatum*. Das Wasserneze sieht einem aus grünen Fäden gewobenen Fischerneze ähnlich (s. Abbildung, S. 35, Fig. 1). Die meist sechseckigen Maschen dieses Netzes werden aber nicht aus Fäden, sondern aus dünnen, zylinderförmigen Zellen gebildet, die zu drei und drei an ihren Enden verbunden sind, etwa so wie die Bleifassung der sechseckigen, kleinen Glastafeln an gotischen Fenstern (Fig. 2). Der Zellenleib einer dieser Zellen zerfällt nun zur gelegenen Zeit in eine große Menge (7000—20000) winziger Körperchen, welche in der betreffenden Zellkammer sich zu bewegen beginnen und anscheinend regellos durcheinander wimmeln (Fig. 3). Nach einer halben Stunde stellt sich aber die Ruhe in der aufgeregten Masse wieder her; die winzigen Gebilde ordnen sich, stellen sich in Reih' und Glied, je drei und drei mit ihren Enden unter Winkeln von  $120^\circ$  gegeneinander gerichtet, und schließlich verbinden sich alle zu einem winzigen Netze (Fig. 4), das ganz und gar die Form jenes Zellenetzes zeigt, von dem eine der Zellen den Zummelplatz für diese Gebilde abgegeben hatte. Das so gebildete neue winzige Wasserneze schlüpft dann aus der sich öffnenden Zelle heraus (Fig. 5) und wächst binnen 3—4 Wochen wieder zur Größe der mütterlichen Pflanze heran. Bei dem kleinen zierlichen *Pediastrum* spielt sich ein ähnlicher Vorgang in kleinerem Maßstabe ab. Die wimmelnden Protoplasten werden in einer Schleimblase aus den Zellen ausgestoßen (Fig. 6). Nach kurzer Zeit der Bewegung ordnen sie sich außerhalb der Schleimhülle zu einer Scheibe (Fig. 7), deren Randzellen zweispitzig werden (Fig. 8). So entstehen aus einer *Pediastrum*-Scheibe zahlreiche, da jede Zelle ihren Inhalt entleeren kann.

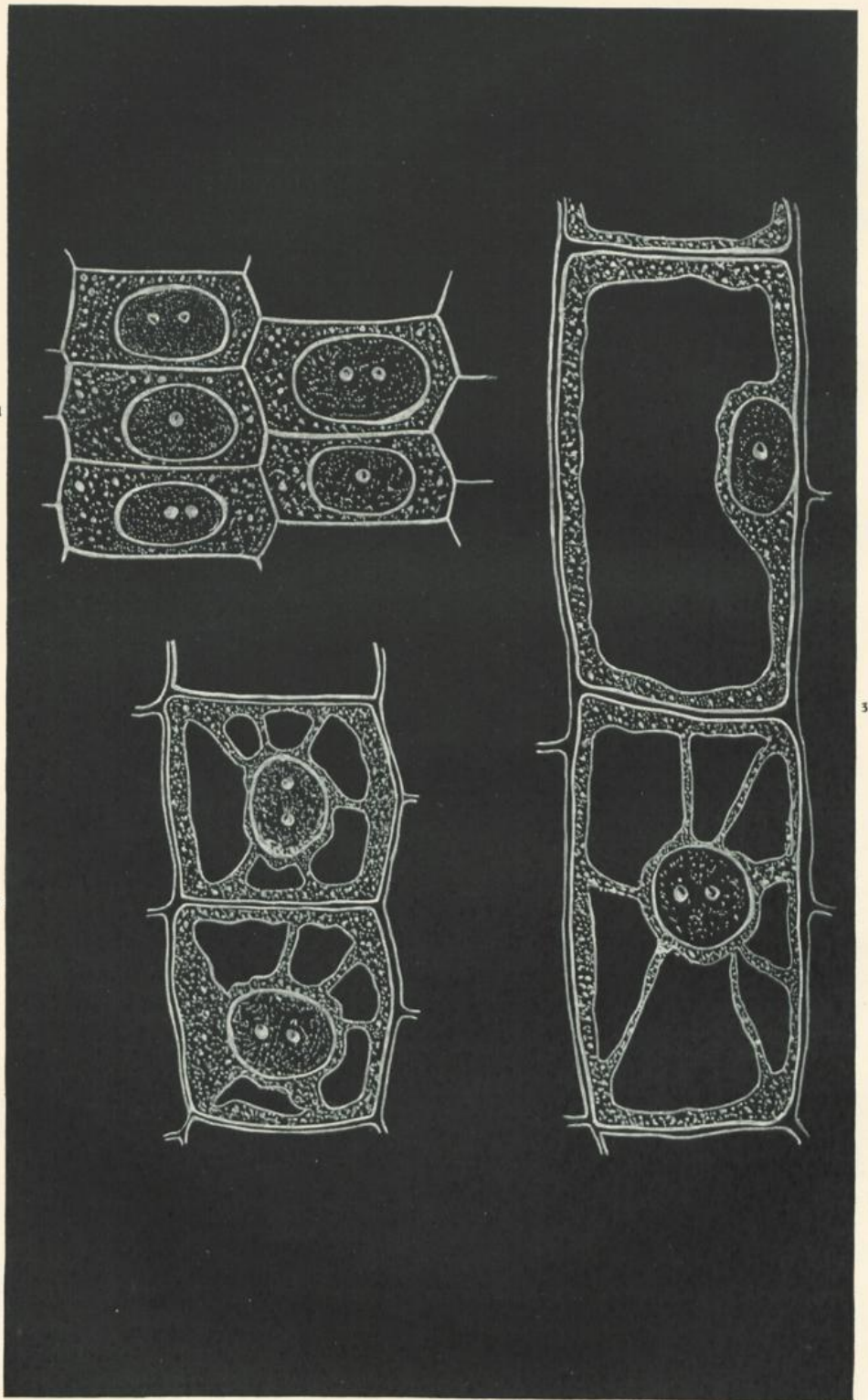
### Protoplasma-Strömung.

Das Schwimmen und Kriechen der Protoplasten wird bei den Schwärmersporen und ähnlichen Gebilden augenscheinlich nur durch Geißeln, bei den Amöben durch Scheinfüßchen bewirkt, während der eigentliche Plasmakörper untätig ist oder doch nur geringere Verschiebungen in seinem Inneren erfährt. Wesentlich anders verhalten sich die Bewegungen des Protoplasmas innerhalb ringsum geschlossener Zellkammern. An diesen ist nämlich die ganze Masse des Protoplasmas beteiligt. In jungen Zellen, in denen der Protoplast den Innenraum der Zellkammer ganz ausfüllt, kann freilich von einer lebhafteren Bewegung keine Rede sein; aber späterhin, wenn die Zellkammer sich vergrößert, hält der Protoplast in der Zunahme seiner Körpermasse mit der Vergrößerung seiner Wohnstätte nicht mehr gleichen Schritt. Wohl bleibt er der Innenwand der wachsenden Zellkammer als Wandprotoplasma dicht angeschmiegt, aber der mittlere Teil seines Körpers hat sich durch die erlittene Dehnung gelockert, es bilden sich dort Hohlräume, in denen sich wässrige Flüssigkeit, der sogenannte Zellsaft, ansammelt, und die als Vakuolen bezeichnet werden. Die Protoplastenteile, die zwischen diesen Vakuolen liegen, werden allmählich zu dünnen Scheidewänden derselben ausgedehnt, und schließlich zerreißen auch diese Scheidewände in Stränge, Bänder und Fäden, welche von dem Wandprotoplasma der einen Seite zu jenem der anderen Seite quer durch die Zellkammer gespannt und an den Kreuzungspunkten stellenweise netzartig verbunden sind, und die wir bereits als „Strangprotoplasma“ kennen gelernt haben. Der Zellkern, der in jungen Zellen als eine mit einem punktförmigen Kernkörperchen versehene Kugel mitten im Protoplasma eingebettet lag, erscheint nun, von einer Plasmahülle umgeben, an diesen Fäden in der Zelle aufgehängt.



Protoplasmaströmung in der Zelle eines Kürbishaares.

360fach vergrößert. Nach einer Zeichnung von R. Hansen.



Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

Nach Zeichnungen von R. Hanfen.

Indem sich aber das Protoplasma im Inneren der wachsenden Zellen in der geschilderten Weise lockert und gliedert, wird es auch beweglich, gerät bei dem Eintritt bestimmter Temperaturen in Fluß, und man erhält nun ein ganz ähnliches Bild wie beim Zerfließen einer durch Erhitzung zum Schmelzen gebrachten Wachsmasse. In größeren Zellen mit dünner und sehr durchsichtiger Zellhaut kann man diese Bewegungen wie durch eine Glaswand sehr schön und deutlich unter dem Mikroskop beobachten, so besonders in den großen Zellen der Blatthaare einer Kürbispflanze, in den Staubsadenhaaren von *Tradescantia*-Blüten, in den Wurzelhaaren von *Trianea bogotensis*, einer südamerikanischen Wasserpflanze. Auch die Blattzellen der Wasserpest, *Elodea canadensis*, und die Stengelzellen von *Nitella* sind gute und interessante Objekte. Zumal dann ist die Strömung gut zu sehen, wenn das Protoplasma von winzigen Körnchen, den sogenannten Mikrosomen, durchsetzt ist. Diese Körnchen werden nämlich ganz ähnlich wie Schlammteilchen, die das Wasser trüben, mit der Strömung fortgeführt und fortgetrieben, und ihre Bewegung zeigt auch die Bewegung des Protoplasmas an, in dem sie eingebettet sind. Das Bild der Gewebezelle auf der Vorderseite der Tafel, welches als allgemeines Bild einer Pflanzenzelle gelten kann, kommt erst langsam beim Heranwachsen der Zellen zustande. Die auf der Rückseite der Tafel stehenden Abbildungen sollen das erläutern. Fig. 1 ist ein Stück ganz jungen Zellgewebes, dessen Zellen immer gänzlich vom Protoplasma und dem Zellkern erfüllt sind und noch keine Hohlräume aufweisen. Es entstehen dann zunächst kleine kugelförmige, mit Zellsaft gefüllte Vakuolen, die durch das Wachstum der Zellen erweitert werden, wie es Fig. 2 darstellt. Entweder verschmelzen die Vakuolen bei weiterem Wachstum zu einem einzigen mit Zellsaft erfüllten Raum (obere Zelle in Fig. 3), oder die Vakuolenwände werden zu dünnen Strängen auseinandergezogen (untere Zelle in Fig. 3). So kann bei der Streckung der Zelle endlich der auf der Vorderseite der Tafel dargestellte verwickelte Aufbau des Protoplasten auf vorwiegend mechanischem Wege zustande kommen.

Größere Körper, wie namentlich die grün gefärbten Ballen, die man Chlorophyllkörper genannt hat, werden in vielen Fällen nicht vorwärts gebracht, sondern bleiben ruhig liegen, und der Protoplasmaströmung gleitet an ihnen vorüber, ohne die geringste Veränderung zu veranlassen. Die äußerste der Zellhaut anliegende Schicht des Protoplasten wird in den meisten Pflanzenzellen in keine sichtbare Bewegung versetzt. In anderen Fällen dagegen kommt aber auch der ganze Protoplast in eine rotierende Bewegung, und es werden dann auch die in seinen Leib eingelagerten größeren Körper, namentlich die Chlorophyllkörper, ähnlich wie Treibholz von einem Wildbache, mit fortgerissen (s. Abbildung, S. 25, Fig. 2 und 3). Das ist dann ein wunderliches Kreisen und Wogen in der ganzen Masse; die Chlorophyllballen jagen bald beschleunigt, bald verlangsamt hintereinander her, als wenn

## Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

Das Bild der Gewebekelle auf der Vorderseite der Tafel, welches als allgemeines Bild einer Pflanzenzelle gelten kann, kommt erst langsam beim Herauwachsen der Zellen zustande. Die auf der Rückseite der Tafel stehenden Abbildungen sollen das erläutern. Fig. 1 ist ein Stück ganz jungen Zellgewebes, dessen Zellen immer gänzlich vom Protoplasma und dem Zellkern erfüllt sind und noch keine Hohlräume aufweisen. Es entstehen dann zunächst kleine kugelförmige, mit Zellsaft gefüllte Vakuolen, die durch das Wachstum der Zellen erweitert werden, wie es Fig. 2 darstellt. Entweder verschmelzen die Vakuolen bei weiterem Wachstum zu einem einzigen mit Zellsaft erfüllten Raum (obere Zelle in Fig. 3), oder die Vakuolenwände werden zu dünnen Strängen auseinandergezogen (untere Zelle in Fig. 3). So kann bei der Streckung der Zelle endlich der auf der Vorderseite der Tafel dargestellte verwickelte Aufbau des Protoplasmas auf vorwiegend mechanischem Wege zustande kommen.

Bildung der Vakuolen und des Strangprotoplasmas in der Zelle.

Nach Zeichnungen von R. Hanen.

Indem sich aber das Protoplasma im Inneren der wachsenden Zellen in der geschilderten Weise lockert und gliedert, wird es auch beweglich, gerät bei dem Eintritt bestimmter Temperaturen in Fluß, und man erhält nun ein ganz ähnliches Bild wie beim Zerfließen einer durch Erhitzung zum Schmelzen gebrachten Wachsmasse. In größeren Zellen mit dünner und sehr durchsichtiger Zellhaut kann man diese Bewegungen wie durch eine Glaswand sehr schön und deutlich unter dem Mikroskop beobachten, so besonders in den großen Zellen der Blatthaare einer Kürbis-pflanze, in den Staubfadenhaaren von *Tradescantia*-Blüten, in den Wurzelhaaren von *Trianea bogotensis*, einer südamerikanischen Wasserpflanze. Auch die Blattzellen der Wasserpest, *Elodea canadensis*, und die Stengelzellen von *Nitella* sind gute und interessante Objekte. Zumal dann ist die Strömung gut zu sehen, wenn die an und für sich farblose, durchscheinende und gallertige, in ihren Umrissen nicht immer scharf erkennbare Substanz des Protoplasmas von winzigen Körnchen, den sogenannten Mikrosomen, durchsetzt ist. Diese Körnchen werden nämlich ganz ähnlich wie Schlammteilchen, die das Wasser trüben, mit der Strömung fortgeführt und fortgetrieben, und ihre Bewegung zeigt auch die Bewegung des Protoplasmas an, in dem sie eingebettet sind. Man sieht da die Körnchen in unregelmäßigen Ketten, Reihen und Schwärmen in den Strängen des Protoplasmas kreuz und quer durch den Zellraum gleiten und ist wohl zu dem Schlusse berechtigt, daß sich diese Bewegung in der Substanz des Stranges selbst vollzieht. Die Bewegung ist übrigens nicht etwa nur auf vereinzelte Stränge beschränkt; in allen Strängen und Bändern rührt und bewegt sich's, hierhin, dorthin laufen die Körnchenzüge, bald sich vereinigend, bald wieder sich trennend, oft in geringer Entfernung entgegengesetzte Richtungen einschlagend, mitunter sogar in einem und demselben Strang oder Band als zwei Ketten dicht nebeneinander dahinziehend. Die Ströme ergießen sich über das Wandprotoplasma, teilen sich hier in zahlreiche Arme, begegnen und stauen sich, bilden kleine Wirbel, sammeln sich auch wieder und lenken in einen anderen Strang des Protoplasmas ein. Dabei sieht man die einzelnen Körnchen der Züge nach ihrer Größe mit ungleicher Schnelligkeit bewegt; die kleineren gleiten rascher, die größeren langsamer vorwärts; letztere werden häufig von den ersteren überholt, und manchmal stockt dann der ganze Strom. Plötzlich aber werden die gehäuften Körnchen wieder rascher vorwärts gerollt, ganz ähnlich wie die Geröllstücke im Bett eines Flusses, der bald durch eine Enge, bald durch einen flachen Talboden dahinströmt. Dabei bleiben die Bahnen gegen den wässerigen Saft der Zellkammer, durch den sich das Strangprotoplasma hindurchzieht, scharf abgegrenzt, und keins der Körnchen geht jemals aus dem Protoplasmastrang in den wässerigen Zellsaft über (vgl. die beigeheftete Tafel).

Größere Körper, wie namentlich die grün gefärbten Ballen, die man Chlorophyllkörper genannt hat, werden in vielen Fällen nicht vorwärts gebracht, sondern bleiben ruhig liegen, und der Protoplasmaström gleitet an ihnen vorüber, ohne die geringste Veränderung zu veranlassen. Die äußerste der Zellhaut anliegende Schicht des Protoplasten wird in den meisten Pflanzenzellen in keine sichtbare Bewegung versetzt. In anderen Fällen dagegen kommt aber auch der ganze Protoplast in eine rotierende Bewegung, und es werden dann auch die in seinen Leib eingelagerten größeren Körper, namentlich die Chlorophyllkörper, ähnlich wie Treibholz von einem Wildbache, mit fortgerissen (s. Abbildung, S. 25, Fig. 2 und 3). Das ist dann ein wunderliches Kreisen und Wogen in der ganzen Masse; die Chlorophyllballen jagen bald beschleunigt, bald verlangsamt hintereinander her, als wenn

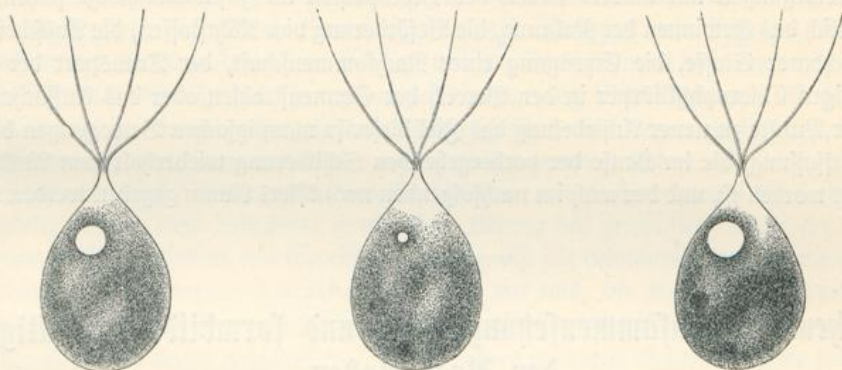
sie sich haschen wollten, und auch ein anderes Gebilde, nämlich der später noch zu besprechende Zellkern, kann dem Andrängen nicht widerstehen, wird von der Strömung mitgerissen, folgt den mannigfaltigen Verschiebungen des verschränkten Netzwerkes aus Protoplasmasträngen, in dem er eingelagert ist, und wird bald längs der Zellwand fortgeschleift, bald wieder von einem Strang ins Schlepptau genommen und quer durch den Innenraum der Zellkammer gezerrt (s. Abbildung, S. 25, Fig. 3).

Wenn man aus der scheinbaren Schnelligkeit, mit der das Forttreiben der Körnchenzüge bei 360facher Vergrößerung stattfindet, die wirkliche Schnelligkeit der Strömung selbst berechnet, so ergeben sich sehr abweichende Werte, die zunächst wohl von der Eigenart des Protoplasmas, dann aber auch von der Temperatur und anderen äußeren Verhältnissen abhängig sind. Die Erhöhung der Temperatur bis zu einem gewissen Grade beschleunigt im allgemeinen die Strömung. In besonders raschem Flusse befindliches Protoplasma legt in der Minute einen Weg von 10 mm zurück, anderes in derselben Zeit den Weg von 1—2 mm, und wieder anderes, das es nicht so eilig hat, kommt in einer Minute nur um ein Hundertstel eines Millimeters vorwärts. Größere Körper, zumal größere Chlorophyllkörper, werden am langsamsten bewegt. So dauert es oft Stunden, bis die der Seitenwand einer Zelle angeschmiegtene Chlorophyllkörper auf die gegenüberliegende Seite derselben Zelle durch das Protoplasma hinübergeschoben werden, obschon dieser Weg nur einen kleinen Bruchteil eines Millimeters beträgt.

Sowohl die kleinen Körnchen als auch die größeren Chlorophyllkörper und der Zellkern sind von dem Protoplasma rings eingehüllt, und man muß sich das Protoplasma, mag es als ein Strang, Band oder Faden erscheinen, einen Wandbeleg bilden oder aber eine ungegliederte Masse darstellen, immer zusammengesetzt denken aus einer äußeren zäheren und dichteren und einer inneren weicheren und flüssigeren Schicht. Die erstere erscheint ohne Einlagerungen, ist ungefört und daher durchsichtiger und macht demzufolge auch den Eindruck einer Haut, von welcher die innere weichere, mit Körnchen durchsetzte und trübe Schicht umkleidet wird. Man bezeichnet diese äußere Schicht besonders als Hyaloplasma. Es wäre aber unrichtig, sich diesen Gegensatz deutlich ausgeprägt zu denken, etwa so, daß die äußerste Schicht von der inneren scharf abgesetzt ist. In Wirklichkeit besteht keine solche scharfe Grenze, und die zähere Hautschicht geht ganz allmählich in das innere weichere, beweglichere und flüssigere Protoplasma über. Daß nun die Körnchen und Ballen, die man in dem strömenden Protoplasma fortgeschoben sieht, sich innerhalb der weicheren Innenschicht bewegen, ist wohl selbstverständlich. Manchmal macht es allerdings den Eindruck, als ob die kleinen Körnchen über einen dünnen Strang des Protoplasmas wie über ein gespanntes Seil von einer Seite auf die andere gleiten würden; bei sorgfältiger Untersuchung aber zeigt sich, daß auch in solchen Fällen die scheinbar auf dem Protoplasmafaden sich fortziehenden Körnchen von der feinen, durchsichtigen Hautschicht des Protoplasmas überzogen sind, daß also auch diese Körnchen, in die Substanz der Protoplasten eingelagert, keine selbständige Bewegung ausführen, sondern von dem sich streckenden Protoplasma fortgeschoben werden.

Jede Strombahn des Protoplasmas ist demnach gegen ihre Umgebung durch eine zähere Schicht abgeschlossen und abgegrenzt. Das schließt aber nicht aus, daß sich die Richtung dieser Strombahnen, in welcher die Körnchenschwärme dahinziehen, verändern kann. Verfolgt man den Lauf eines solchen körnchenführenden Stromes nur ganz kurze Zeit, so

bemerkt man in der Tat fortwährende Wandlungen; der bisher geradlinige Strom biegt plötzlich seitab, wird breiter, dann wieder schmaler, legt sich an einen anderen an, trennt sich wieder ab, spaltet sich in zwei kleine Arme und verliert sich endlich im Wandprotoplasma. Andererseits erheben sich von dem Wandprotoplasma neue Falten, die sich dehnen und als Bänder durch den Zellenraum auf die andere Seite hinüberschieben, oder es strecken sich Fäden vor, die sich so weit verlängern, bis sie mit anderen Fäden zusammentreffen und sich mit diesen netzförmig vereinigen. Es spielen sich demnach hier teilweise dieselben Vorgänge ab, wie sie an den freien kriechenden Protoplasten beobachtet werden. Denkt man sich einen Protoplasten, welcher, frei über einen ebenen Boden hinkriechend, auf der Wanderschaft begriffen war, eingefangen und in ein ringsum geschlossenes Gefäß eingekerkert, so würde derselbe, über die Innenfläche dieses Gefäßes sich ausbreitend, auszweigend und herumkriechend, ganz denselben Eindruck machen wie die zuletzt geschilderten Protoplasten,



Pulsierende Vakuole im Protoplasma der großen Schwärmsporen von *Ulothrix*.

die schon von ihrer ersten Jugend her eine Zellkammer bewohnen, so wie umgekehrt ein aus seiner Behausung ausgeschlüpfter Protoplast durch das Verschieben, Strecken und Einziehen seiner einzelnen Teile eine Ortsveränderung vorzunehmen imstande sein würde.

Auf Verschiebungen im Inneren der Substanz ist auch das Pulsieren des Protoplasmas zurückzuführen, das man an den schwärmenden Protoplasten gewisser Algen, namentlich der Gattungen *Ulothrix*, *Chlamydomonas* und *Draparnaldia*, beobachtet. In den eiförmigen nackten Protoplasten der erstgenannten Pflanze findet sich nahe dem mit vier Wimpern besetzten kegelförmigen Ende eine Vakuole (s. obenstehende Abbildung), die sich innerhalb 12–15 Sekunden zusammenzieht und dann in den darauffolgenden 12–15 Sekunden wieder erweitert; in den Schwärmern von *Chlamydomonas* sowie in denen von *Draparnaldia* bemerkt man nebeneinander zwei solcher Vakuolen, die in ihren rhythmischen Pulsationen abwechseln, so daß sich immer während des Verengerns der einen die andere erweitert. Die Kontraktion erfolgt oft bis zum völligen Verschwinden der Höhlung und muß, ebenso wie die Erweiterung, auf einer Verschiebung desjenigen Protoplastenteiles beruhen, welcher die Vakuole selbst unmittelbar umgrenzt. Eine solche Bewegung in der Substanz des Protoplasmas, wenn sie auch nur an einem kleinen Teile des ganzen Körpers sichtbar wird, kann aber doch kaum ohne Rückwirkung auf die anderen, entfernter liegenden Teile gedacht werden, und es ist daher vorauszusetzen, daß das Innere der durch schwingende Wimpern



in drehend fortschreitende Bewegung versetzten Protoplasten nicht in jener absoluten Ruhe verharret, wie es bei flüchtiger Betrachtung den Anschein hat.

Bei einem Rückblick auf die geschilderten so mannigfaltigen Bewegungserscheinungen gewinnt man die Überzeugung, daß die Fähigkeit, sich zu bewegen, jedem lebenden Protoplasten zukommt. Die Verschiebung und Umlagerung seiner Masse mag sich in manchen Fällen allerdings so langsam vollziehen, daß es kaum möglich ist, die Größe derselben in Zahlen auszudrücken; zeitweilig kann die Bewegung auch ganz eingestellt werden. Aber bei eintretendem Bedürfnis und unter günstigen äußeren Verhältnissen kommt die Masse immer wieder in Fluß und wird hierbei in betreff der einzuhaltenden Richtung von in ihr selbst frei werdenden Kräften getrieben. Die Erkenntnis der Ziele und das Verständnis der Bedeutung der verschiedenen Protoplasma-bewegungen lassen zwar noch vieles zu wünschen übrig; doch ist in dieser Beziehung die Annahme gerechtfertigt, daß alle diese Bewegungen mit innerer Arbeit der Protoplasten im Zusammenhange stehen, daß namentlich das Gewinnen der Nahrung, die Beförderung von Nährstoffen, die Ausscheidung unbrauchbarer Stoffe, die Erzeugung einer Nachkommenschaft, der Transport der lichtbedürftigen Chlorophyllkörper in den Bereich der Sonnenstrahlen oder das Auffuchen geeigneter Punkte zu neuer Ansiedelung das Ziel dieser so mannigfachen Bewegungen bildet: eine Auffassung, die im Laufe der vorhergehenden Schilderung wiederholt zum Ausdruck gebracht worden ist, und der auch im nachfolgenden noch öfters Raum gegeben werden wird.

### 3. Chemische Zusammensetzung, Stoff- und formbildende Tätigkeit der Protoplasten.

Neben der Fähigkeit, sich zu bewegen und Ortsveränderungen vorzunehmen, die Teile des Leibes zu verschieben, sich auszubreiten und zusammenzuziehen, sich zu trennen und mit feinesgleichen zu verschmelzen, besitzt der lebende Protoplast auch noch die Eigenschaft, einzelne Teile seines Körpers bestimmten Berrichtungen anzupassen, in seinem Inneren allerlei chemische Verbindungen auszubilden und diese allenfalls auch auszuscheiden. Die meisten Protoplasten umgeben sich mit einer Zellhaut. In die Hohlräume oder Vakuolen, die im Inneren des sich streckenden und dehnenen Protoplasten entstehen, und aus denen schließlich in älteren Zellen, bei denen der Protoplast nur noch einen tapetenartigen Wandbeleg in seiner Kammer darstellt, eine einzige Mittelhöhle wird (s. Abbildung, S. 25, Fig. 2), scheidet sich Zellsaft aus, eine wässerige Flüssigkeit, welche die verschiedensten Körper, zumal Zucker, Säuren und Farbstoffe, gelöst oder suspendiert enthält. Innerhalb der Substanz des Protoplasmas selbst aber entstehen Körper, welche, eine ganz bestimmte Gestalt annehmend, in ihren Umrissen deutlich erkennbar sind, wie namentlich der Zellkern, die Chlorophyllkörper, die Stärkekörner und noch verschiedene andere Gebilde, deren Bedeutung für das Leben der Pflanze in einem später folgenden Abschnitte dieses Buches eine ausführliche Besprechung finden wird.

Aber unabweislich drängt sich gegenüber solchen vielseitigen Leistungen der Lebendigen Substanz die Frage auf, ob wir uns mit dem Rätselhaften ihrer Natur einfach zufrieden geben müssen, oder ob die moderne Wissenschaft nicht doch imstande ist, wenigstens etwas

über ihre Stoffe und Kräfte auszusagen, was unsere Einsicht vermehrt. Seit es eine Chemie gibt, fragt man bei einer greifbaren Substanz, und das ist das Protoplasma, woraus besteht sie? Der Weg, den die Wissenschaft zur Lösung dieser Frage einschlägt, ist die chemische Analyse. Aber diese wohlausgearbeitete Kunst hilft uns erst, wenn uns der zu analysierende Stoff in genügender Menge zur Verfügung steht. Hier liegt nun die Schwierigkeit. Da das Protoplasma in mikroskopischen Zellen steckt, und auch die nackten Protoplasmakörper, wie die Amöben und Schwärmer, so winzig sind, hält es schwer, sich Protoplasma in genügender Menge für eine Analyse zu verschaffen. Nur die Plasmodien einiger Schleimpilze liefern größere Mengen von Protoplasma, welches aber durch allerlei Beimengungen manche Verschiedenheit von dem Protoplasma der Zellen zeigt. Eine Analyse liefert immerhin das bemerkenswerte Ergebnis, daß das Protoplasma nicht aus unbekanntem Stoffen, sondern aus Elementen und Verbindungen besteht, die auf unserer Erde, in der Luft, im Wasser und in den Gesteinen der Erdrinde die weiteste Verbreitung besitzen, nämlich Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel, Kalzium, Magnesium und Kalium. Untersucht man, zu welchen Verbindungen diese einfachen Stoffe im Protoplasma vereinigt sind, so ergeben sich ebensowenig Überraschungen. Das Protoplasma besteht zu einem großen Teil aus Eiweißstoffen, mit denen Zuckerarten, Fette, phosphorsaure, schwefelsaure und einige andere Salze gemengt sind.

Zu einem großen Teile besteht das Protoplasma aus Wasser, darum ähnelt es einer Flüssigkeit; aber es stellt doch keine gewöhnliche Lösung der genannten Stoffe im Wasser dar, denn ein Teil derselben, wie Eiweißstoffe, Fette, löst sich bekanntlich gar nicht im Wasser. Wir haben eine sogenannte kolloidale Lösung vor uns, die wohl den Eindruck einer Flüssigkeit macht, aber in der sich die unlöslichen Stoffe mit Hilfe der übrigen, hier mit Hilfe der Salze, in einem aufgelockerten, feinverteilten und gequollenen Zustande befinden. Die Physiker nennen eine solche kolloidale Flüssigkeit nach Graham's Vorschlag seit 1861 „Sol“ oder „Gel“. Ganz und gar scheint aber das Protoplasma anderen Solen auch nicht zu gleichen. Man kommt immer mehr zu der Überzeugung, daß das Protoplasma noch eine besondere Struktur, d. h. innerhalb der flüssigen Anteile festere, mikroskopisch kleine Häutchen besitze, die in gewöhnlichen Flüssigkeiten nicht vorhanden sind. Während die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas uns gar nichts zur Aufklärung seiner Lebenserscheinungen sagt, können wir wohl voraussehen, daß eine molekular so absonderlich gebaute Substanz ganz andere als die von Flüssigkeiten bekannten physikalischen Eigenschaften aufweist. In früheren Zeiten versuchte man die überraschenden Leistungen des Protoplasmas durch Annahme einer ihm eigenen Kraft, der Lebenskraft, zu verstehen. Aber die Lebenskraft ist keine Erklärung, sondern bedeutet vielmehr einen Verzicht auf wissenschaftliche Einsicht. Es ist dasselbe, als wenn man die Bewegung einer Lokomotive durch Annahme einer „Lokomotivkraft“ erklären wollte, anstatt durch die Theorie der Dampfmaschine. Wir wissen, daß Maschinen in Gang geraten durch Einwirkung von Kräften oder, wie wir heute vorziehen zu sagen, von Energie auf gegebene Strukturteile der Maschine. Auch das Leben ist offenbar nichts anderes als ein Energiewechsel in einem Apparat, den die Natur hervorbringt, dem lebenden Körper, der an Stelle von Hebeln und Rädern aus Zellen besteht. Daß ein Energiewechsel in Zellen andere Resultate bringt als in einer Maschine, ist wohl einzusehen, darum können die Kräfte doch die gleichen sein. Dieser Standpunkt hat die Biologie seit hundert Jahren zu immer neuen und weiteren Einsichten

$P_n =$   
C, H, O, N, P,  
S, K, Mg, Ca

in das Lebensgetriebe geführt. Wenn schon nach dieser kurzen Spanne einzelne Forscher, denen der Fortschritt der physikalisch-chemischen Betrachtungsweise zu langsam erscheint, wieder zur Erklärung durch „Lebenskräfte“ zurückkehren, so ist das ein offener Rückschritt, ein Mangel an Geduld und Mut. Ehe wir das Leben erklären wollen, müssen wir es in allen seinen Erscheinungen gesehen haben, und dieser Weg ist noch lang. Es liegt uns noch sehr ob, nicht die Ursachen der Protoplasmatätigkeit, sondern diese Arbeitsleistungen selbst genau zu studieren.

In der Natur der Sache liegt es, daß bei den Pflanzen unter diesen Arbeitsleistungen schon der Aufbau der Zellhaut und der aus ihr hervorgehenden Zellkammer die größte Mannigfaltigkeit zeigt; denn die Hülle, mit der sich ein einzelner Protoplast umgibt, soll gleichzeitig ein Schutz für seinen weichen Körper und eine kräftige Stütze für weitere Anbauten sein, und dabei doch die Wechselwirkung mit der Außenwelt und den Verkehr der in benachbarten Kammern wohnenden Protoplasten nicht beschränken. Die Wandungen der Zellen sind darum auch ganz wunderbare Erzeugnisse, und es wird auch von ihnen, zumal von der Bedeutung ihrer verschiedenen Konstruktionen für bestimmte einzelne Fälle, noch mehrfach die Rede sein. Hier genügt es, darauf hinzuweisen, daß die erste Anlage einer solchen Hülle, die aus dem Leibe des Protoplasten ausgeschieden wird und anfänglich als dünnes Häutchen erscheint, aus einem Stoffe besteht, der aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt ist, zu den Kohlenhydraten gehört und Zellstoff oder Zellulose genannt wird. Vor ihrer Ausscheidung an einer Oberfläche des Protoplasten muß die Zellulose in irgendeiner unerkennbaren Form im Protoplasma verteilt gewesen sein.

Auf diese erste Hülle, welche sich der Zellenleib selbst bildet, paßt der Name Zellhaut, den sie gemeinlich führt, ganz gut. Diese erste Umhüllung erfährt aber nachher mancherlei Veränderungen. Der Protoplast kann Korkstoff, Holzstoff, Kieselsäure, Wasser in größerer oder geringerer Menge in die Haut einlagern und dadurch die Hülle entweder noch schmiegsamer machen, als sie es in der ersten Anlage war, oder sie verhärten und versteifen und zu einem sehr festen Gehäuse ausgestalten. Auch die ursprüngliche Form bleibt selten erhalten. Der einzelne Protoplast, der sich mit Zellhaut umgibt, hat zunächst die Form eines rundlichen Ballens, und auch seine dicht anliegende Haut hat eine dementsprechende Gestalt. Gruppenweise vereinigte jugendliche Zellen zeigen häufig Anrisse, die an Kristallformen, namentlich an Dodekaeder, Würfel und kurze Prismen, erinnern; der Protoplast aber, der sich die erste zarte Hülle geschaffen hat, kommt nicht zur Ruhe, er arbeitet still und stetig an seiner Haut fort und fort, weitet sie aus, verdickt sie, macht aus den anfänglich kugeligen oder würfelförmigen Zellen röhren-, säulen- und faserförmige oder auch platten- und tafelförmige Zellen und verstärkt deren Wandungen mit feinen Pilastern, Leisten, Rippen, Spangen, Bändern von verschiedener Form. Arbeiten mehrere Protoplasten in geselligem Verband an einem vielkammerigen Pflanzengebäude, so entstehen dicht nebeneinander Kammern der verschiedensten Gestalt, niemals aber ziel- und planlos, sondern immer so, daß jede von ihnen der gegebenen Lage und der bei dem gemeinsamen Haushalt ihr zuteil gewordenen besonderen Aufgabe entsprechend ausgestattet ist.

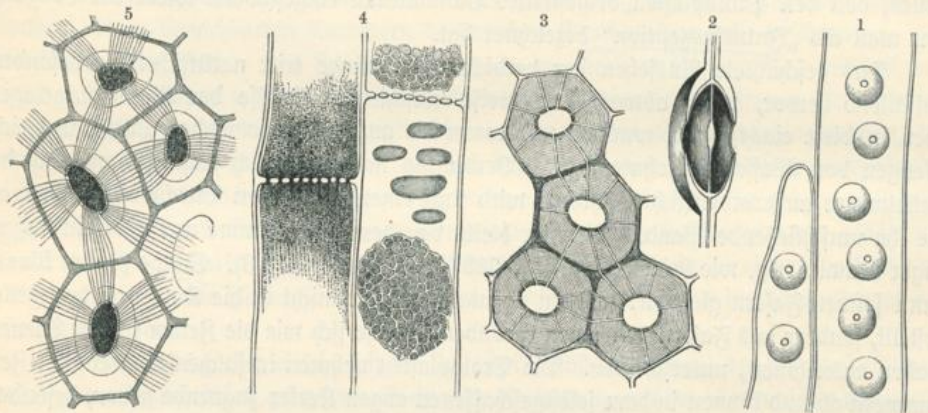
Die Vergrößerung des Raumes der Zellkammer oder, was dasselbe sagen will, die Vergrößerung des Flächeninhaltes der Wandungen der Zellen erfolgt dadurch, daß zwischen die Teilchen der Substanz, aus denen die erste Anlage dieser Wandungen

besteht, und die zusammenhängend die dünne Haut des Protoplasten bilden, neue solche Teilchen eingeschoben werden. Wenn diese eingeschobenen Teilchen in dieselbe Fläche zu liegen kommen, in der schon die ersten nebeneinander gelagert waren, so wird die durch solche Bautätigkeit erzeugte Zellwand ihren Umfang vergrößern, ohne dabei an Dicke zu gewinnen. Wenn aber einmal die Zellkammern ihrem Umfange nach ausgewachsen sind, muß ihre Wand, um später besonderen Aufgaben nachkommen zu können, durch die Bautätigkeit der Protoplasten häufig auch verstärkt und verdickt werden. Diese Verdickung macht den Eindruck, als ob auf die erste dünne Wand nacheinander mehrere Schichten nach Bedarf, wie Tapeten, aufgelagert würden, und in manchen Fällen entspricht der Vorgang, den man „Apposition“ nannte, gewiß auch diesem Bild; in vielen anderen Fällen wird aber die Masse der Wand dadurch verdickt, daß zwischen die schon vorhandenen Teilchen neues, von den Protoplasten beigelegtes Baumaterial eingeschoben wird: ein Vorgang, den man als „Intususszeption“ bezeichnet hat.

Das geschichtete Aussehen der verdickten Zellwände tritt natürlich dann besonders auffallend hervor, wenn abwechselungsweise verschiedene Stoffe der Wand aufgelagert oder in diese eingeschaltet wurden, und wenn die aufeinanderfolgenden Lagen ungleiche Mengen von Wasser aufnehmen. Die Verdickung kann schließlich dahin führen, daß der Zellenraum außerordentlich beschränkt wird und einen geringeren Durchmesser besitzt als die ihn umschließende Wand. Mitunter bleibt von dem Zellenraume nur noch ein äußerst enger Kanal übrig, wie bei Bastfasern (s. Abbildung, S. 44, Fig. 3). Solche Zellen können dann soliden Fasern gleichen, wurden ehemals auch gar nicht in die Kategorie der Zellen gestellt, sondern als Fasern von jenen Gebilden, welche sich wie die Zellen in den Bienenwaben ausnehmen, unterschieden. Die Protoplasten nehmen in solchen eingeengten Zellkammern ab und können in dem selbstgeschaffenen engen Kerker zugrunde gehen, besonders dann, wenn die sehr verdickten Wandungen einen Verkehr mit der Außenwelt schließlich nicht mehr gestatten. Gewöhnlich aber sorgt der Protoplast beim Ausbau seiner Behausung dafür, daß er nicht vollständig eingesargt und nicht dauernd von der Umgebung abgeschnitten wird, indem er schon von Anfang an in den Wänden seiner Behausung offene, aber für seine Protoplasmafäden leicht durchdringbare Öffnungen freiläßt.

In vielen Fällen werden von dem Protoplasten die neuen Teilchen von Zellstoff, welche die dünne erste Zellhaut verstärken sollen, nicht der ganzen Fläche entlang gleichmäßig aufgelagert, sondern etwa so, wie wenn man auf der Tapete einer Zimmerwand stets neue, aber mit kreisförmigen, spaltenförmigen oder streifenförmigen Löchern versehene Tapeten aufkleben wollte. Dann bleiben einzelne kleine Stellen unverändert, und diese nehmen sich nachträglich in der verdickten Wandung wie Fensterchen dieser Kammer aus. Dabei zeigt der Teil der verdickten Wand, welcher das Fensterchen unmittelbar umgibt, häufig eine ganz eigentümliche Ausbildung. Es erhebt sich nämlich die Umgebung des Fensterchens, welches der Botaniker „Lüpfel“ nennt, als eine ringförmige Leiste und bildet schließlich eine in der Mitte durchlöchernte uhrglasförmige Kuppel über der dünnen Stelle der Zellwand (s. Abbildung, S. 44, Fig. 1). Auch von der gegenüberliegenden, der benachbarten Zellkammer zugewendeten Seite erhebt sich eine solche Ringleiste, und die dünne Zellwandstelle erscheint dann auf beiden Seiten symmetrisch wie von Schirmen überwölbt, von denen jeder in der Mitte eine runde Öffnung hat (Fig. 2). Stellt man sich vor, daß jemand aus der einen in die andere Kammer gelangen wollte, so

müßte er zuerst das Loch in dem einen Schirme passieren, würde dann in einen erweiterten Raum, den wir Hof nennen wollen, gelangen, müßte dann das im Mittelfeld etwas dickere, im übrigen äußerst zarte und dünne Häutchen durchbrechen, käme dann wieder in einen Hof und erst aus diesem durch das Loch des gegenüberliegenden Schirmes in den Raum der angrenzenden Zellkammer. Von vorn gesehen, erscheint der Umriß einer jeden Kuppel und jener der beiden Höfe gewöhnlich als eine Kreislinie, und die gegenüberliegenden Löcher in den Schirmen, die genau auf das Zentrum dieses Kreises treffen, nehmen sich wie ein heller Punkt oder Tüpfel aus, welcher von der die Fläche des Hofes bezeichnenden Kreislinie eingefasst wird. Man hat darum auch diese sonderbaren Bildungen, die in der geschilderten Form (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1 und 2) besonders schön an Holzzellen von Koniferen zu sehen sind, gehöfte Tüpfel oder Hoftüpfel genannt.



Verbindungen benachbarter Zellräume: 1 Hoftüpfel in Fasern (Tracheiden) des Koniferenholzes; 2 Durchschnitt durch einen Hoftüpfel; 3 Verbindung benachbarter Zellen in der Gefäßbündelscheibe von Scelopondrium; 4 Siebröhren; 5 Zellgruppe aus dem Samen der Brechnus, die Protoplasten der benachbarten Zellkammern durch feine Protoplasmafäden verbunden. (Zu S. 43—45.)

Dort, wo sich solche Hoftüpfel ausgebildet haben, ist die Verdickung der Zellhaut verhältnismäßig schwach. In anderen Fällen dagegen wird die Zellhaut um das Zwanzig-, Dreißigfache dicker, als sie anfänglich war, und dadurch wird der Innenraum der Zellkammer bedeutend verkleinert (Fig. 3). Wenn aber die Zellwand allmählich auch hundertfach so dick wird, wie sie in der ersten Anlage war: niemals wird die Stelle, an der einmal im Beginne die Verdickung ausgeblieben ist, nachträglich mit Zellstoff ausgefüllt und zugemauert, sondern sie wird von dem bauenden Protoplasten stets sorgfältig offen gehalten. Eine solche stark verdickte Wand könnte dann mit einer Mauer verglichen werden, die von ganz engen Kanälchen durchsetzt ist. Stoßen zwei Zellkammern aneinander, deren dicke Wände mit derartigen Kanälen versehen sind, so treffen regelmäßig auch die der einen auf jene der benachbarten Kammer, und es entstehen dann verhältnismäßig sehr lange Kanäle, welche durch die beiden aneinander liegenden dicken Zellwände hindurchgehen und die nachbarlichen Zellkammern verbinden (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3). In der Mitte ist ein solcher Kanal allerdings noch durch die ersten Zellhautanlagen wie durch eine Schleuse gesperrt, später aber kann auch diese zarte Schleuse durch Auflösung geöffnet werden, und es stehen dann die Nachbarzellen durch den Kanal in offener Verbindung.

In besonderen Fällen wird für eine solche offene Verbindung zwischen benachbarten

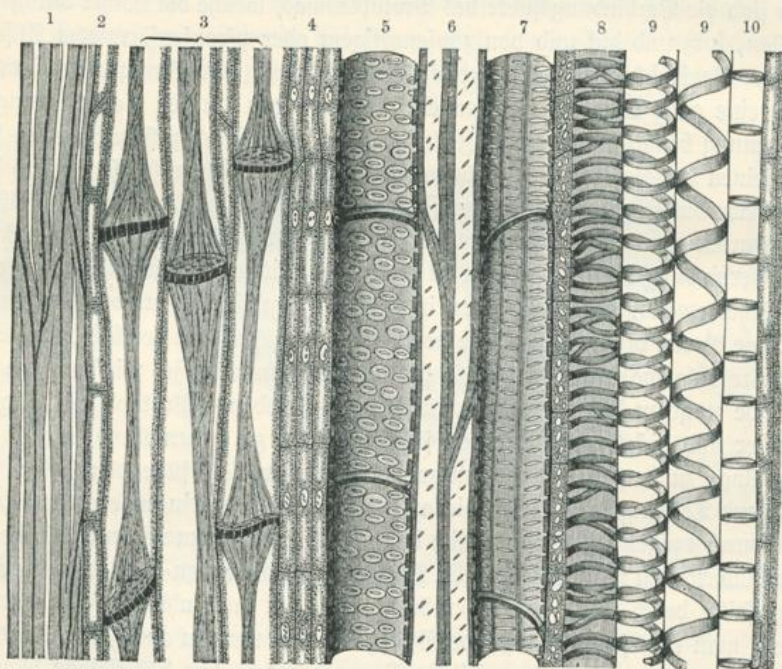
Zellen schon bei der ersten Anlage der als Scheidewand dienenden Zellhaut gesorgt. Größere oder kleinere Abschnitte dieser Wand werden nämlich sehr bald siebförmig durchbrochen, wie das in einem schematischen Bilde (Fig. 4) an Stücken röhrenförmiger Zellen, die man Siebröhren genannt hat, zur Anschauung gebracht ist. Die Löcher, an den durchbrochenen Wandstücken der Siebröhren dicht zusammengedrängt, sind verhältnismäßig weit und kurz, und wenn sich die beiden nachbarlichen Protoplasten durch diese Löcher die Hände reichen, d. h. wenn das Protoplasma der einen mit dem der anderen Zellkammer durch die Sieblöcher hindurch in Verbindung steht (vgl. auch die Figur auf S. 46), so sind die Verbindungsstücke des Protoplasmas, welche die Löcher durchsetzen und sie ausfüllen, kurz und dick und von zapfenartigem oder pfropfenförmigem Ansehen.

Neuere Beobachtungen haben jedoch die Verbindung der Protoplasten benachbarter Zellen als eine ganz allgemeine, wenn auch nur mit den stärksten Vergrößerungen sichtbare Erscheinung bestätigt. Auch die Zellwände der gewöhnlichen Gewebezellen sind von unendlich feinen Kanälen durchbohrt, besonders in den Lüpfelverschlüssen, durch die feine Protoplasmaverbindungen von Zelle zu Zelle gehen (Fig. 5). Durch diese Kanäle können die benachbarten Protoplasten miteinander in Verbindung treten oder vielleicht, besser gesagt, in Verbindung bleiben; denn es ist sehr wahrscheinlich, daß schon bei der ersten Anlage der Scheidewand, welche in einen in Teilung begriffenen Protoplasten eingelagert wird, winzige Poren offen bleiben, die von Verbindungssträngen der beiden auseinander-rückenden Protoplasmahälften ausgefüllt sind. Und in dem Maße, wie dann die Scheidewand, welche zwischen den beiden durch Teilung entstandenen Protoplasten ausgeschieden wurde, dicker und dicker wird, gestalten sich die Poren zu feinen Kanälen und die Verbindungsstränge zu langen und äußerst zarten, diese Kanäle erfüllenden Fäden. Ähnlich einem Duzend Telegraphendrähten, die aus einem Gefäß in ein anderes durch eine dicke Mauer hindurchgezogen sind, spinnen sich dann diese Protoplasmafäden durch die verdickte Zellwand hindurch; ja meistens sind alle Protoplasten, die neben- und übereinander wohnen, gegenseitig durch solche nach allen Richtungen hin ausstrahlende Fäden verkettet.

Wenn man nun festhält, daß jede Pflanze einmal nur ein einziges winziges Protoplasmaflümpchen war, indem der riesigste Baum gerade so wie das kleinste Moos seinen Ausgangspunkt in dem Protoplasma einer Eizelle oder einer Spore findet, und wenn man denkt, wie aus dieser sich vergrößernden ersten Zelle zunächst zwei Zellen, dann durch wiederholte Teilung vier, acht, sechzehn und allmählich Tausende von Zellen entstehen, deren Zellenleiber aber sämtlich durch feine Protoplasmafäden verbunden bleiben, so gelangt man notwendig zu der Vorstellung, daß die Protoplasma-masse, welche in all den Tausenden zu einer Genossenschaft verbundener Zellen eines Baumes lebt, doch nur eine einzige ist und bleibt und durch die siebartig durchbrochenen Scheidewände eigentlich nur in Fächer geteilt wird. Jedes Glied dieser Genossenschaft bewohnt ein besonderes Fach, eine besondere Kammer und wird von einem Zentralorgan, dem Zellkern, beherrscht, hängt aber durch die Verbindungsfäden mit den Genossen zusammen und ist durch diese Verbindungsfäden auch in den Stand gesetzt, mit seinen Genossen zu verkehren, z. B. Stofftransport und Reizleitung zu übernehmen.

Sehr häufig ist die Tätigkeit der Protoplasten auch eine auflösende. Es werden die Zwischenwände zwischen Zellen aufgelöst, wodurch dann offene Röhren verschiedener Form entstehen, die man allgemein Gefäße nennt. Diese Gefäße enthalten später keine Protoplasten

mehr, sondern nur Luft und zuzeiten auch Wasser. Sie würden daher durch den Druck der umgebenden Zellgewebe zusammengedrückt werden, wenn sie nicht durch Aussteifungsvorrichtungen offengehalten würden. Diese Steifungsvorrichtungen bestehen aus ringförmigen oder spiralförmigen Zellulosebändern, mit denen die Röhrenwand bekleidet ist. In anderen Fällen sind leistenförmige Verdickungen angebracht, oder die Wände sind auch ganz und gar verdickt, so daß nur tüpfelförmige dünne Stellen auf der Wand übrigbleiben. Danach unterscheidet die Anatomie Ring-, Spiral-, Tüpfelgefäße usw. (s. die untenstehende Abbildung). Diese Formen bilden fadenförmige Stränge im Stengel.



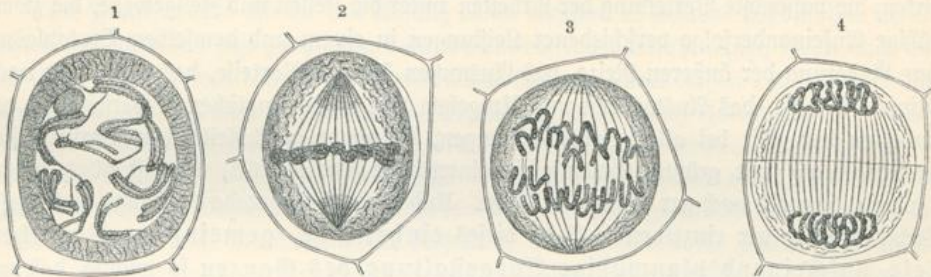
Längsschnitt durch ein dikotyles Gefäßbündel (stark vergrößert): 1 Vasfaser; 3 Siebröhren mit ihren Geleitzellen; 2, 4 Kambiumzellen; 5-7 Tüpfelgefäße verschiedener Form, 6 Holzfasern; 8 leiterförmiges Gefäß; 9, 9 Spiralgefäße; 10 Ringgefäß.

In anderen Fällen der Ausbildung dagegen haben die Seitenwandungen der zu Röhren vereinigten Zellen keine Verdickungen, sind zart und weich und haben das Ansehen geschmeidiger Schläuche. Diese Schläuche werden auch von den Protoplasten nicht verlassen, sondern, nachdem die Vereinigung mehrerer Zellen zu einem Schlauche stattgefunden hat, verschmelzen sofort auch die Protoplasten der nachbarlichen Zellen, und der ganze Schlauch ist dann auch mit einer einzigen ununterbrochenen, meistens als Wandbeleg sich darstellenden Protoplasmanasse erfüllt, die nun allerlei Ausscheidungsstoffe in dem Schlauche anhäuft. Diese Stoffe sind Emulsionen und haben ein milchähnliches Aussehen. Man nennt sie daher Milchjäste, die Röhren selbst Milchröhren. Beim Verlegen der Pflanzen treten sie als Flüssigkeit hervor, z. B. bei Löwenzahn, Mohn, den Wolfsmilcharten. Zuweilen sind die Milchjäste auch gelb gefärbt, z. B. bei Schöllkraut (*Chelidonium majus*).

Aber nicht nur als Baumeister der Formen der Zellgewebe tritt der Protoplast in Tätigkeit. Er ist auch der stoffbildende lebendige Leib der Zelle. Gerade bei der Abscheidung von

Zellwänden und ihrem Dickenwachstum lagert der Protoplast in die Zellulosemembranen noch andere Stoffe ein, die diesen Membranen oft in ganzen Geweben besondere Eigenschaften verleihen. So verleiht die Einlagerung von Holzstoff (Lignin) den Zellen den Charakter des Holzes, von Korkstoff (Suberin) den Charakter des Flaschenkorkes, dessen Zellen bekanntlich, wie seine Verwendung zum Verschluss von Flaschen lehrt, weder Wasser noch Wasserdampf mehr durchlassen. Wenn also von den anfangs gleichartigen Zellen eines Stengels ganze Schichten später andere Leistungen übernehmen als andere, so ist es das Protoplasma, welches sie dazu mit ihren Eigenschaften ausstattet.

Die Beobachtung führt uns nun noch weiter und läßt den im Protoplasten immer sichtbaren sogenannten Zellkern gewissermaßen als ein Zentralorgan des Zellenleibes erscheinen, welches nicht nur die Tätigkeit des einzelnen Protoplasten innerhalb der von ihm bewohnten Zellkammer beeinflusst, sondern durch alle in ihm zusammenlaufenden Stränge und Fäden auch mit den Nachbarn in Fühlung bleibt. Gerade



Veränderungen des Zellkernes bei der Teilung desselben: 1 die Kernfäden im ganzen Kerne verteilt, 2 die zerstückten Kernfäden zur Kernplatte geordnet, 3 die Elemente der Kernplatte auseinandergerückt, 4 dieselben an den Polen des Zellkernes zwei Knäule bildend. (Nach Guignarb.)

diese letztere Auffassung gewinnt durch den Nachweis eine Stütze, daß ähnliche Fäden, mit denen benachbarte Protoplasten in Verbindung stehen, durch eigentümliche Umgestaltungen in der Substanz des Zellkernes selbst entstehen. Wenn nämlich ein Protoplast, der eine Zellkammer bewohnt (s. obenstehende Abbildung, Fig. 1), sich bei der Zellvermehrung in zwei Protoplasten teilen soll, so geht dies in der Weise vor sich, daß sich der Zellkern in die Mitte seiner Behausung stellt, und daß in seiner Substanz zunächst eigentümliche Linien und Streifen erkennbar werden, die ihm das Aussehen geben, als bestünde er aus einem Ballen zusammengedrängter Stäbchen, Fäden und Schnüre. Diese Fäden teilen sich alsbald in kurze Stücke, die sich nach Längsteilungen zu U-förmigen Gestalten krümmen. Aus der übrigen Kernmasse sind zugleich zarte, feine Fäden entstanden (Fig. 2 und 3). Diese Fäden nehmen allmählich eine Lage ein wie etwa die Meridiane auf einem Globus. Dort, wo auf dem Globus der Äquator liegt, hatten sich die krummen Fadenstücke angesammelt, beginnen aber langsam auseinanderzurücken, den Polen des Kernes zu. Hier angelangt, verschmelzen dann die Fadenstücke wieder und ziehen sich zu dichten Knäueln zusammen, um den sich die Kernmasse wieder sammelt (Fig. 4). Alsdann wird plötzlich eine Scheidewand aus Zellstoff zwischen die beiden neuen Kerne eingeschaltet, und aus der einen Kammer sind zwei Kammern entstanden. Ebenso sind jetzt aus dem Protoplasten, dessen Zentrum der Zellkern bildete, zwei Protoplasten geworden, deren jeder wieder seinen besonderen Zellkern als Zentralorgan hat, und welche jetzt nebeneinander als Nachbarn



in ihren Kammern weiterleben. Es ist nicht unmöglich, daß bei diesem Teilungsvorgange die Masse des Zellkernes durch die sich einlagernde Zellwand nicht vollständig zerschnitten wird, sondern daß sich, wie schon früher erwähnt wurde, in dieser Zellstoffwand winzige Poren offen erhalten und die beiden benachbarten Protoplasten durch feine, in diese Poren eingelagerte Fäden miteinander verbunden bleiben und dadurch miteinander in Wechselwirkung treten müssen. Wie aber auch die Verbindungsfäden entstehen mögen, erst durch diese von vornherein angebahnte Verbindung der Protoplasten versteht man einigermaßen, daß eine Pflanze als ein einheitlicher Organismus erscheint, dessen unzählige Protoplasten dem gemeinsamen Zweck der Erhaltung des Ganzen dienen.

Die materielle Grundlage zu einer Verständigung der Protoplasten könnten wir uns auf diese Weise ziemlich klar vorstellen. Aber der Vorgang der Verständigung selbst, die Art und Weise, wie die Zellkerne nicht nur in ihren engsten Kreisen regieren, sondern wie auch die Protoplasten mit den Genossen zum Besten des Ganzen harmonisch zusammenwirken, die passendste Verteilung der Arbeiten unter die Zellen und Zellgewebe, die zweckmäßige Aufeinanderfolge verschiedener Leistungen in einem und demselben Protoplasma ohne Änderung der äußeren Reize, das Ausnutzen äußerer Vorteile, das Abwehren nachteiliger Einflüsse, das Ausweichen und Umgehen von unbezwinglichen Widerständen, das Einhalten der Zeit bei allen Arbeitsleistungen, die unter gleichbleibenden Verhältnissen der Umgebung mit größter Genauigkeit eintretende Periodizität, das ist alles äußerst schwierig, ja meist noch gar nicht zu erklären. Und dennoch ist gerade die Frage nach dieser Wechselwirkung der einzelnen Zellen, dieses einheitliche, gemeinsame Vorgehen, diese anscheinend planmäßige Ausgestaltung des Ganzen so wichtig, daß wir dieselbe nicht umgehen dürfen, selbst dann nicht, wenn wir uns bei dem Versuche, sie zu beantworten, ganz und gar auf dem Boden von Hypothesen bewegen.

Auf alle Fälle müssen wir bei jedem derartigen Erklärungsversuche daran festhalten, daß die fragliche Verständigung sowie auch die infolge dieser Verständigung sich abspielenden Vorgänge der Ernährung, des Wachstums und der Gliederung der ganzen Pflanze auf feinsten atomistischen Wirkungen in dem lebenden Protoplasma, auf Bewegung der kleinsten Teile, auf Anziehung und Abstoßung, auf Schwingungen und Verschiebungen der Atome und auf Umordnung jener Atomgruppen, die man Moleküle nennt, zurückzuführen sind, und daß diese Bewegungen die Ergebnisse von Kräftewirkungen, insbesondere von Wirkungen der Schwerkraft, des Lichtes und der Wärme, darstellen. Da aber die Erfahrung zeigt, daß Schwere und Licht, wenn sie auch unter denselben Bedingungen auf das lebende Protoplasma wirken, in diesem dennoch verschiedene Erscheinungen veranlassen können, was später noch mehrfach zur Erörterung kommen wird, so ist diese Kräftewirkung vielfach nur als eine anregende und nicht immer als eine zwingende, als eine die Gestalt bestimmende aufzufassen. Es ist für diese durch äußere Reize angeregten Vorgänge charakteristisch, zumal dann, wenn sie sich in dem zusammenhängenden Protoplasma einer größeren Zellengenossenschaft abspielen, daß sich gröbere, augenfällige Bewegungen sehr oft an Gliedern einer Pflanze zeigen, welche verhältnismäßig weit von dem Teil entfernt sind, auf den der Reiz unmittelbar eingewirkt hat. Wir dürfen uns das wohl vorläufig so vorstellen, daß der Reiz, die Veranlassung zur Bewegung, durch die Protoplasmafäden von Zelle zu Zelle, von Atom zu Atom fortgepflanzt wird. Das große Rätsel liegt nun aber, wie schon bemerkt, darin, daß sich die atomistischen und molekularen

Bewegungen, welche durch solche Reize angeregt und durch die Verbindungsfasern fortgepflanzt werden könnten, in der Pflanze, dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend, vollziehen, so daß von den vereinigten Protoplasten einer Pflanze jeder gerade dasjenige Geschäft übernimmt und ausführt, welches dem Ganzen am meisten frommt, und daß die Gesamtleistung den Eindruck einer einheitlichen Leitung, den Eindruck einer zielbewußten, planmäßigen Arbeit macht. Wir sagen ausdrücklich nur: den Eindruck, denn einen tieferen Einblick in die Regulierung der Lebensvorgänge haben wir nicht.

Hier stellen sich uns Fragen und Probleme entgegen, welche den größten Reiz auf den Forscher ausüben, denen er mit aller seiner Phantasie, seiner Logik, seiner experimentellen Methodik zu Leibe geht, die er sich aber hüten wird, mühelos durch die Annahme einer nicht nachweisbaren Lebenskraft oder gar einer Pflanzenpsyche zu umgehen. Wissenschaft befaßt sich nur mit dem, was man weiß und wissen kann, jene Ansichten sind daher keine Wissenschaft, sondern Dichtung.

Die Frage, welche wir an den Anfang dieses Abschnittes stellten: Was ist das Leben? können wir nach den jetzt gemachten naturwissenschaftlichen Erfahrungen, wenn auch nicht endgültig, so doch etwas besser beantworten als zu Anfang. Eines wissen wir ganz bestimmt: alles Leben und alle seine Erscheinungen, Ernährung, Wachstum, Fortpflanzung, Zellen- und Gewebebildung, Stoffherzeugung wie Stoffausscheidung sind immer an Protoplasma gebunden. Ohne Protoplasma kein Leben. Töten wir das Protoplasma, so ist auch der Organismus tot, verlieren einzelne Gewebemassen eines Organismus ihr Protoplasma, so bilden sie nur noch tote Bestandteile desselben. Aber auch daß die Protoplasten immer in Form der Zelle auftreten und jeder größere Organismus sich aus Billionen von Zellen aufbaut, macht uns das Leben verständlicher. Der lebende Körper erscheint uns innerhalb kürzerer Zeiträume als etwas Beständiges, wir erkennen eine Pflanze nach Tagen, einen Menschen nach Jahren als denselben Organismus wieder. Wir behaupten, er habe sich nicht verändert, und doch ist das Täuschung. Keine seiner Zellen ist nach Jahren noch dieselbe, es hat ein fortwährendes Absterben und ein fortwährender Ersatz der Zellen stattgefunden. Wie sollte der scheinbare Bestand, die Erhaltung des Individuums bei einem solchen Wechsel wohl möglich sein, wenn der Körper nicht aus Zellen bestände? Dann könnte kein Stoffwechsel, sondern nur eine vollständige periodische Umformung stattfinden. So aber schreitet diese Umformung in jedem Augenblick unmerklich durch die Zellen fort, während der Organismus als Erscheinung gerade so derselbe bleibt, wie eine Wolke oder ein Wasserfall einem Maler beständig erscheint, obwohl in jeder Sekunde andere Tropfen oder Nebeltröpfchen diese Erscheinungen zusammensetzen. So begreifen wir wenigstens bis zum gewissen Grade das Rätsel des mikroskopischen zelligen Baues der Lebewesen. Und auch die physikalisch-chemische Untersuchung des Protoplasmas bringt uns weiter als bloße Philosophie. Man hat erkannt, daß das tierische und pflanzliche Protoplasma dieselbe Substanz ist, darum begreifen wir denn auch bei aller äußeren Verschiedenheit von Pflanze und Tier, daß beide manche ähnliche Lebenserscheinungen zeigen. Und wenn wir von höheren Wesen beider Reiche zu den niederen hinabsteigen, dann finden wir in beiden Reichen den einfachen Protoplasten als Anfang, und jede Scheidewand zwischen Pflanze und Tier verschwindet. Aufs engste verwandt erscheinen sie vielmehr durch das gemeinsame Element der Zelle.