Teil des Nucellus entsteht und auch neben dem Endosperm gebildet werden kann. Die Anheftungsstelle des Samens tritt als Nabel oder Hilus hervor, die ursprüngliche Mikropyle bildet den Samenmund. Entwickelt sich der Nabelstrang zu einem Anhängsel des Samens, so wird er Samenschwiele (Karunkel) genannt; bildet sich ein vollständig mantelartiges Gebilde um den Samen, so heißt es Samenmantel (Arillus).

II. Abteilung.

Pflanzenanatomie.

---

1. Kapitel.

Die Zelle.

Wenn wir einen Ast von einem beliebigen Baume mit einem Taschenmesser möglichst gerade abschneiden und die Schnittfläche mit einer starken Lupe betrachten, so erscheint uns die Oberfläche einer Bienenwabe ähnlich, nur sind die Zellen außerordentlich viel kleiner als bei dieser. Zellen nennt man aber auch ebenso wie bei der Bienenwabe die kleinen, durch Wände voneinander getrennten Kammern, welche das Holz des Astes bilden.

Das was wir aber mit der Lupe erkennen können, ist nur der eine, nicht einmal immer vorhandene Bestandteil der Zelle, die Zellmembran oder Zellhaut, welche den wichtigeren, das eigentliche Leben der Pflanze in sich fassenden Teil, den Protoplasten, umschließt. Fehlt, wie dies beispielsweise bei gewissen Fortpflanzungszellen einiger niederer Pflanzen vor-

kommt, die Membran, so stellt der Protoplast eine nackte Zelle dar. Im allgemeinen kommen aber den Zellen Membran und Protoplast zu.

Die Form der Zellen ist eine außerordentlich verschiedene und gleicht durchaus nicht immer derjenigen einer Zelle aus der Bienenwabe. Neben fast kugeligen Zellen kommen ganz

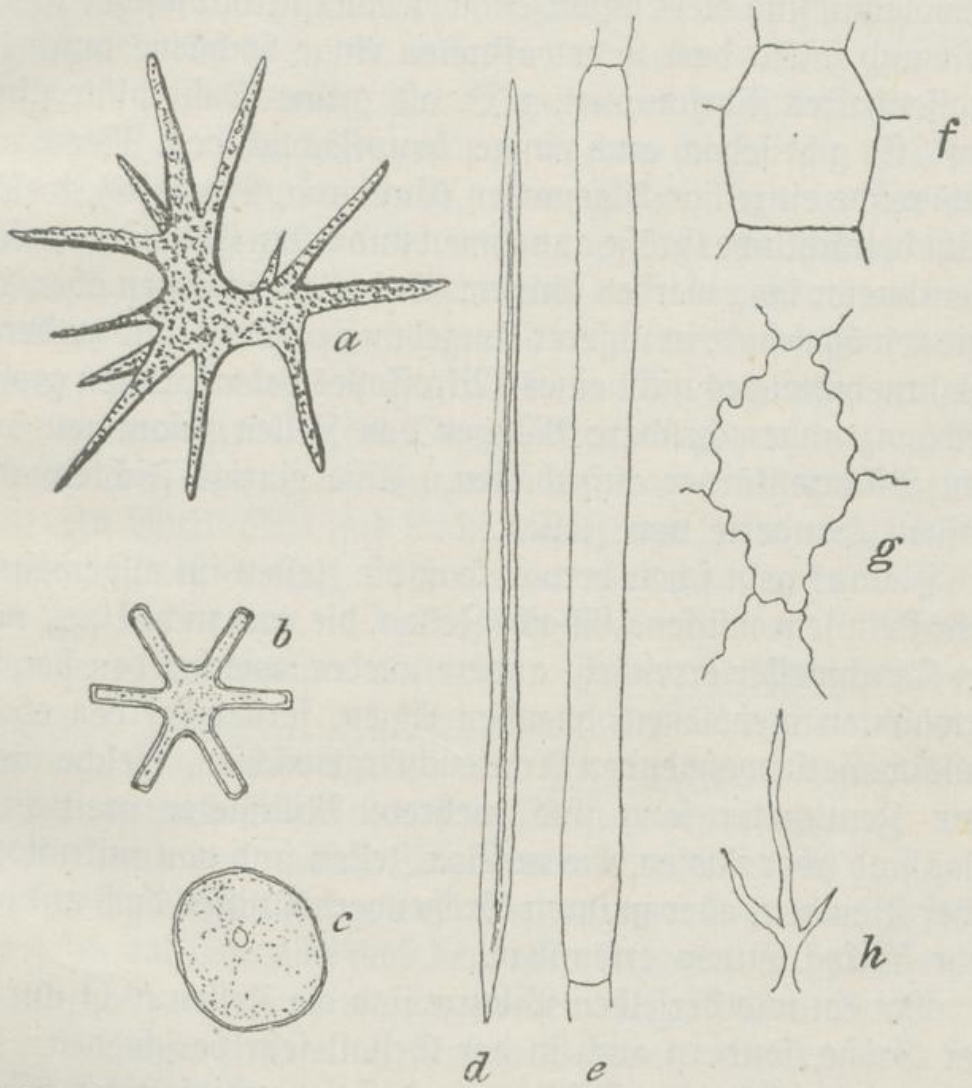


Fig. 13. Verschiedene Zellformen. a Grundgewebshaar (Idioblast) aus dem Blattstiel von Nuphar luteum, b Sternförmige Zelle aus dem Mark von Juncus conglomeratus, c Zelle aus der Frucht von Symphoricarpus, d Bastzelle, e Zelle aus dem Blatt einer Characee, f Parenchymzelle aus der Kartoffelknolle, g Epidermiszelle von Saxifraga sarmentosa, h Haar von Cheiranthus.

langgestreckte spindelförmige vor, vieleckige, halbmondförmige, verschiedenartig verzweigte, kurz allerlei Formen, die gar nicht mehr an das erinnern, was man gewöhnlich unter dem Worte Zelle sich vorstellt. Solche verschiedene Zellformen sind in Figur 13 dargestellt worden.

Es gibt Pflanzen, welche aus einer einzigen Zelle bestehen; gewöhnlich sind diese Pflanzen aber von mikroskopischer Kleinheit und fallen dem unbewaffneten Auge höchstens durch ihr massenhaftes Vorkommen, z. B. als grüne Wasserblüte usw., auf. Es gibt jedoch auch einige, hauptsächlich dem Meere angehörende einzellige Algenarten (Caulerpa, Bryopsis), welche recht beträchtliche Größe annehmen und deren Individuen viele Zentimeter lang werden können. Bei allen Pflanzen aber, die wir gewöhnt sind, in unserer Umgebung zu sehen, und zu deren Wahrnehmung es nicht eines Mikroskopes bedarf, treten große, oft ganz unberechenbare Mengen von Zellen zusammen, um den Pflanzenkörper aufzubauen. Eine einzige Fichtennadel enthält Hunderte von Zellen.

Hieraus geht schon hervor, daß die Zellen im allgemeinen sehr klein sein müssen. Es gibt Zellen, die noch nicht $^1/_{1000}$ mm im Durchmesser erreichen, andere wieder, wie bei den bereits erwähnten meeresbewohnenden Algen, ferner bei den ebenfalls wasserbewohnenden Armleuchtergewächsen, welche mehrere Zentimeter lang und mehrere Millimeter breit sind. Das sind aber Riesen, die meisten Zellen sind von mikroskopischer Kleinheit, oder in ihren Größenverhältnissen doch erst mit sehr starken Lupen erkennbar.

Bei ein und derselben Pflanze sind die Zellen nicht nur in der Größe, sondern auch in der Gestalt sehr verschieden. Je höher entwickelt eine Pflanze ist, desto mannigfaltiger pflegt auch die Form ihrer Zellen zu sein. Und dies hängt damit zusammen, daß sich mit der höheren Entwicklung einer Pflanze auch eine größere Arbeitsteilung der einzelnen Teile geltend

macht. Jede Zelle stellt nun gewissermaßen einen Arbeitsraum für sich dar, jede Zelle hat im Leben der Pflanze eine gewisse Aufgabe zu erfüllen, die oft schon von derjenigen ihrer Nachbarzelle vollständig verschieden ist. Dieser Arbeit, dieser Aufgabe entsprechend sind die Zellen verschieden gestaltet. Wir finden daher oft Zellen, denen die gleiche Aufgabe obliegt, auch gleichartig gestaltet und zu Gruppen vereinigt, die man als Gewebe bezeichnet. Um aber die Aufgabe der Zellen richtig zu würdigen, ist es notwendig, ihren Bau näher zu betrachten.

Im allgemeinen bildet eine Zelle, aus Membran, Zellkern und Protoplasma bestehend, eine Einheit, ein in sich abgeschlossenes Ganzes im Körper der Pflanze, in welchem alle Lebensfunktionen sich abspielen. Daß dabei die Membran nicht durchaus nötig und tatsächlich auch nicht immer vorhanden ist, wurde schon bemerkt. Dagegen tritt uns bei den Pflanzen mit mehrkernigen Zellen eine Organisation entgegen, bei welcher wir mit dem Wort Zelle eigentlich nur noch die Form bezeichnen. In Wirklichkeit sind solche vielkernige Zellen kein in sich abgeschlossenes Ganzes, keine Einheit mehr, sondern eine Vielheit von Elementen, in denen sich die verschiedenen Lebensprozesse nebeneinander abspielen. Jeder Zellkern mit dem dazugehörenden Teil des Protoplasmas stellt dann eine Einheit vor. Eine solche Einheit wird Energide genannt. Vielkernige Zellen bestehen aus einer Vielheit von Energiden. Bezeichnet man den nackten Schwärmer einer Alge als Zelle, so ist er auch gleichzeitig eine Energide, dagegen ist in anderen Fällen Zelle und Energide nach dem eben Gesagten nicht dasselbe.

Nicht alle Zellen, welche zu dem festgefügten Verbande einer Pflanze, etwa eines großen Baumes, gehören, sind belebt; oft sterben sie nach einer verhältnismäßig kurzen Lebensdauer ab und dienen dann nur noch zur Festigung des Pflanzenkörpers oder dem Wassertransport. Lebend sind die Zellen nur, solange sie Protoplasma enthalten. Die Zellen des Holzes,

abgesehen von den jüngsten Schichten, enthalten aber kein Protoplasma mehr, sondern führen nur Wasser oder Luft.

a. Das Protoplasma.

In jungen Zellen ist gewöhnlich der ganze von der Zellwand umschlossene Raum von Zellkern und Zellplasma eingenommen. Das Zellplasma oder Cytoplasma ist ein zähflüssiger, hauptsächlich aus Eiweißstoffen bestehender Körper, in welchem sich, ebenso wie im Zellkern, die hauptsächlichsten Lebensvorgänge abspielen. Es kann unter Umständen frei,

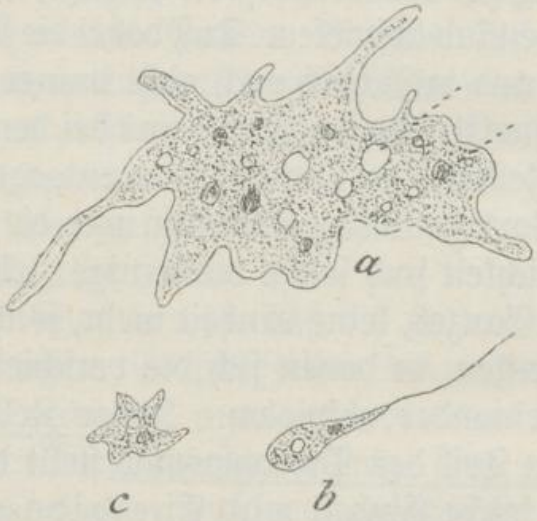


Fig. 14. a kleines Plasmodium eines Myxomyceten, b Schwärmer, c Myxamöbe. Vergrößert.

nackt, d. h. nicht von einer Zellmembran umschlossen sein, wie wir das bei den Plasmodien der Myxomyceten oder Schleimpilze finden. Aus der von einer Membran umgebenen Spore dieser Organismen tritt der Zellinhalt als rundlicher Ballen aus, streckt sich etwas und verlängert sich an dem einen Ende zu einem fadenartigen Fortsatz, der Geißel, welche als Bewegungsorgan dient. Auf diese Weise entstehen Schwärmer (Fig. 14a), welche durch peitschende Bewegungen der Geißel

im Wasser fortschwimmen, nach einiger Zeit an irgend einem festen Gegenstande anhaften und ihre Geißel einziehen. Dann werden sie zu Myxamöben (Fig. 14b), d. h. zu Amöben ähnlichen Gebilden, welche unregelmäßige Fortsätze bilden, mit deren Hilfe sie an dem Substrat umherkriechen. Bald fließen diese Myxamöben zu einem größeren Schleimklumpen, dem Plasmodium, zusammen. Diese Plasmodien führen eigentümliche kriechende Bewegungen aus, indem sie Plasmafortsätze nach verschiedenen Richtungen aussenden, die oft miteinander verschmelzen und netzartige Bildungen zeigen. In diese Fortsätze strömt dann das übrige Plasma des Plasmodiums nach. Die Bewegung kann man unter dem Mikroskop direkt wahrnehmen. Gegen die Außenwelt ist das Plasmodium ebenso wie die Myxamöben nicht durch eine Zellenmembran abgegrenzt, sondern nur durch eine etwas derbere Schicht des Protoplasmas, die Hautschicht, auf welche eine Schicht vollständig homogenes körnerfreies Plasma (Hyaloplasma) folgt. Die Hauptmasse des Plasmodium wird durch ein mit zahlreichen sehr kleinen Körnchen erfülltes leichtflüssiges Plasma gebildet, das Körnerplasma. An der Bewegung dieser Körnchen kann man nun die Strömung des Plasmas erkennen, wie es den ausgesendeten Fortsätzen folgt und sich zur Aussendung neuer vorbereitet.

Bei diesen Kriechbewegungen werden kleinere Körper, die sich im Wege befinden, umflossen und allseitig eingeschlossen. Sie liegen dann in Vakuolen, nicht direkt im Plasma, dieses grenzt sich vielmehr gegen die Vakuolen ebenso wie gegen außen durch eine Hautschicht ab. Kann der Körper als Nahrung dienen, so wird er verdaut und der unbrauchbare Rest wieder ausgestoßen. Später bei der Bildung der Fruchtkörper werden auch wieder Membranen ausgebildet.

In älteren Zellen ist das Protoplasma oft nur auf einen dünnen Wandbelag reduziert, während der überwiegend große

Innenraum der Zelle von Zellsaft eingenommen wird und den Zellsaftraum bildet. Oft wird der Zellsaftraum von Fäden und Strängen des Plasmas durchsetzt (Fig. 15), und mitunter existieren in einer Zelle mehrere kleinere, durch Plasma voneinander getrennte Zellsafträume oder Vakuolen. In manchen Pflanzenzellen ist das Plasma in so starker Bewegung, daß man diese unter dem Mikroskop direkt beobachten kann. Be-

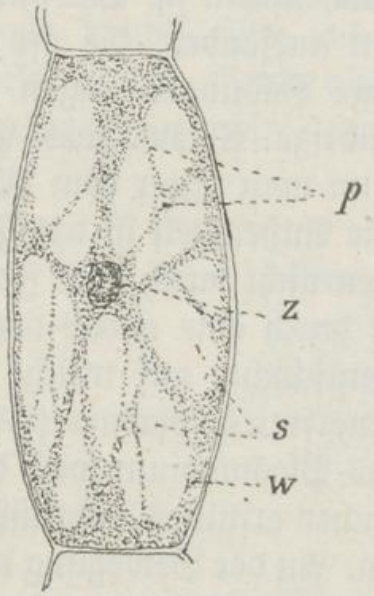


Fig. 15. Zelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia virginica. Plasmaströmung, p Plasmastränge, w Wandplasma, z Zellkern, s Zellsafträume.

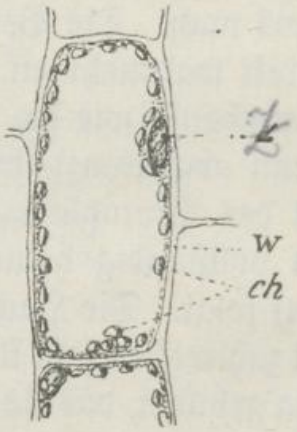


Fig. 16. Zelle aus dem Blatt von Vallisneria spiralis (Rotation des Plasmas), z Zellkern, ch Chlorophyllkörner, w Wandplasma. Vergrößert.

wegt sich das Plasma in einem geschlossenen Ring an den Wänden entlang, so nennt man die Bewegung Rotation; kommt aber außer dieser noch eine Bewegung des Plasmas in durch den Zellsaftraum ausgespannten Strängen vor, so spricht man von Zirkulation. Ein ausgezeichnetes Beispiel für Rotation sind die grünen Zellen der Blätter von Vallisneria spiralis (Fig. 16), in denen die Chlorophyllkörner an der Strömung teilnehmen. Auch in den Charenzellen, in den Wurzelhaaren

von Hydrocharis morsus ranae kommt Rotation vor. Zirkulation ist gut in den Staubfädenhaaren von Tradescantia virginica zu beobachten.

Nicht immer sind die Bewegungen des Protoplasmas so deutlich wahrzunehmen. So wandern z. B. die Chlorophyllkörner in den Zellen der Mooskörner bei greller Beleuchtung sehr langsam an die Querwände, die von den Sonnenstrahlen weniger getroffen werden, bei geringerer Beleuchtung wandern sie wieder an die Längswände, wo sie dem Licht am meisten ausgesetzt sind. Ähnliche Orientierungsbewegungen des Plasmas kommen auch bei den Chlorophyllkörpern mancher Algen (Mougeotia, Mesocarpus) vor.

Das Plasma der Zellen des ganzen Pflanzenkörpers steht durch außerordentlich feine Kanäle, welche die Zellwand durchbrechen, in Verbindung. Diese Kanäle sind so klein, daß sie sich der Beobachtung meist entziehen und nur bei sehr günstigen Objekten und durch besondere Präparation sichtbar zu machen sind. Ein besonders geeignetes Objekt ist z. B. die Rinde von Rhamnus frangula.

Das lebende Plasma zeigt eigentümliche Eigenschaften; es ist stark osmotisch, es ist gegenüber Reizen sehr empfindlich, und auf diesen Eigenschaften beruhen zumeist die Lebenserscheinungen der Pflanze, wie wir sie in dem Abschnitt über Physiologie kennen lernen werden. Diese Eigenschaften verliert das Plasma beim Absterben; totes Plasma ist nicht osmotisch, ist nicht mehr reizbar, dagegen zeichnet es sich durch sein Vermögen, Farbstoffe begierig aufzunehmen, aus, während das lebende sich nicht färben läßt.

Der Zellkern.

Der Zellkern spielt in der Zelle eine wichtige Rolle und kommt allen Zellen der höheren Pflanzen zu. Nur die am

tiefsten stehenden Organismen, die Spaltpflanzen, haben keine echten Zellkerne. Gewöhnlich ist er in der Einzahl vorhanden, selten kommen mehrere oder viele Zellkerne in einer Zelle vor, z. B. bei manchen Algen (Vaucheria, Cladophora).

Er ist gewöhnlich ein rundlicher Körper von etwas derberer Beschaffenheit als das Protoplasma, von welchem er stets umgeben ist. In jungen Zellen, die noch gar keine oder erst kleine Zellsafträume enthalten, liegt er annähernd in der Mitte der

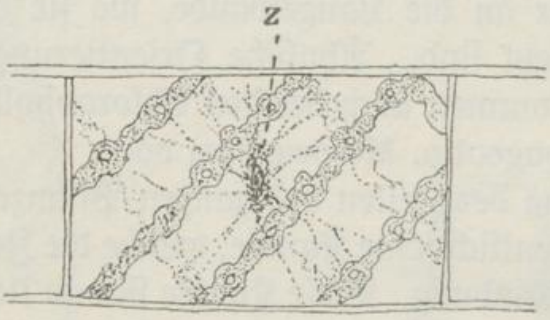


Fig. 17. Zelle einer Spirogyra mit spiralig gewundenen Chlorophyllbändern, z Zellkern. Vergrößert.

Zelle; in älteren, mit großen Vakuolen versehenen ist er meist dicht an eine Zellwand gerückt. Zuweilen ist er aber auch an feinen Fäden in der Mitte der Zelle aufgehängt, wie bei der oben abgebildeten Alge Spirogyra, oder er wechselt seine Lage im strömenden Plasma und liegt bald am Rand, bald in feinen, die Zelle durchsetzenden Plasmasträngen.

Gegen das Plasma wird er durch eine diesem angehörende, sehr feine Hautschicht, die Kernmembran, abgegrenzt; in seinem Innern ist er nicht homogen, sondern besitzt eine, jedoch erst bei entsprechender Färbung deutlich hervortretende, eigentümliche Struktur, ein Gerüst, welches aus zarten, vielfach verschlungenen und miteinander verbundenen Fäden besteht. Die Grundmasse dieser Fäden, das Linin, färbt sich nur schwach, sie ist aber von zahlreichen, sich sehr intensiv färbenden Körnchen, den Chromatinkörnchen, durchsetzt. Zwischen den Fäden

des Gerüstes befindet sich der Kernsaft. Außer dem Gerüstwerk sind, gewöhnlich schon ohne Färbung deutlich erkennbar, noch ein oder mehrere Kernkörperchen (Nukleolen) im Kern vorhanden.

Die Centrosphären.

Dicht neben dem Zellkern liegen in vielen Zellen der Kryptogamen zwei sehr kleine rundliche Gebilde, die Centrosphären, welche im Innern ein kleines Körnchen, das Centrosom, enthalten. Sie sind sehr schwer sichtbar zu machen und deshalb erst in wenigen Zellen gefunden. Doch scheint es, als ob sie bei der Zellteilung eine wichtige Rolle spielten, und deshalb ist ihr Vorhandensein auch da vielleicht nicht ganz ausgeschlossen, wo man sie bisher nicht beobachten konnte. Bei Phanerogamen sind diese Centrosphären mit Sicherheit noch niemals aufgefunden worden.

Die Chromatophoren.

Die Farbstoffe vieler, namentlich gelber und roter Blüten und Früchte, der grüne Farbstoff der Blätter sind nicht durch die ganze Zelle gleichmäßig verbreitet, sondern an meist rundliche, aus Eiweißstoffen bestehende Körnchen gebunden, die man Chromatophoren nennt. Sie treten ursprünglich in den jungen Zellen als sehr kleine, farblose Körperchen auf. Aus ihnen gehen bei weiterer Entwickelung dann hervor:

1. Die Leukoplasten, flach ellipsoidische oder gestreckte Körper ohne Färbung, welche besonders in den dem Licht unzugänglichen Teilen der Pflanze auftreten. Werden sie vom Licht getroffen, so können sie ergrünen, wie dies beispielsweise bei an der Luft und im Licht liegenden Kartoffelknollen der Fall ist. Oft haben sie den Zweck, im Innern der Organe als Stärkebildner zu fungieren, d. h. die in den Chloroplasten ge-

bildete, wieder aufgelöste und in flüssiger Form fortgeführte Stärke wieder in Form von Stärkekörnern abzuscheiden (Fig. 18).

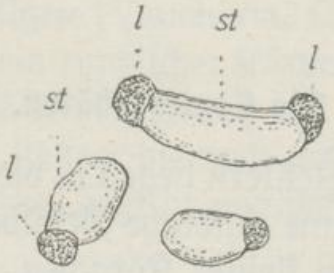


Fig. 18. Stärkekörner st mit Leukoplasten l aus dem Rhizom von Iris. Stark vergr.

2. Die Chloroplasten. Es sind meist rundliche, oft etwas gestreckte oder flach gedrückte grüne Körner (Fig. 19), Chlorophyllkörner, welche meist in größerer Anzahl in dem Wandplasma der Zellen liegen. Bei einigen Algenarten aus der Ordnung der Konjugaten nehmen die Chloroplasten eigentümliche Gestalt an; sie kleiden bei Spirogyra in Form von schraubig gekrümmten Bändern die Zelle aus (Fig. 17), oder bilden stern-

Fig. 19. Chlorophyllkörner aus dem Blatt von Funaria hygrometrica. Stark vergr.

förmige Gebilde (Zygnema) oder axile Platten (Mougeotia). Die Grundmasse der Chloroplasten besteht aus einem schwammartigen oder fein gekammerten Eiweißkörper, dessen Hohlräume von einer ihrer Natur nach unbekannten ölartigen Flüssigkeit erfüllt sind. In dieser Flüssigkeit ist das Chlorophyllgrün, sowie Blattgelb (Xanthophyll) und ein dritter Farbstoff, das Karotin, gelöst.

Das Chlorophyll oder Blattgrün ist in Alkohol, Äther, fetten und ätherischen Ölen usw., aber nicht in Wasser löslich. Eine frisch bereitete alkoholische Lösung erscheint bei durchfallendem Lichte prachtvoll smaragdgrün, bei auffallendem blutrot, zeigt also Fluoreszenzerscheinungen. In spektroskopischer Hinsicht ist es durch sieben Absorptionsstreifen ausgezeichnet, deren dunkelster von B bis über C hinaus reicht. Blau und Violett werden durch drei breite Streifen fast vollständig ausgelöscht.

Durch Schütteln mit Benzin kann man der alkoholischen Lösung Chlorophyll und Karotin entziehen, während Xanthophyll nicht vom Benzin aufgenommen wird. Das Benzin bildet dann eine blaugrüne Schicht über dem gelben Alkohol. Chlorophyll und Karotin werden zu den Fettfarbstoffen oder Lipochromen gerechnet und sind unlöslich in Wasser. Dagegen kommen bei gewissen Klassen der Algen neben dem Chlorophyll noch andere Farbstoffe vor, die in Wasser löslich und keine Lipochrome sind, das rote Phykoerythrin bei den Rotalgen, das braune Phykophäin bei den Braunalgen und das blaugrüne Phykozyan bei den Blaualgen, Farbstoffe, welche das Chlorophyll in den Chloroplasten oft vollständig verdecken.

Die Chlorophyllkörner können sich in den Zellen durch Teilung vermehren, indem sie sich entweder etwas strecken und einschnüren oder indem sich eine farblose Plasmaschicht bildet, welche das Chlorophyllkorn in zwei Hälften scheidet, die dann zu neuen Chlorophyllkörnern heranwachsen.

3. Chromoplasten. Sie sind die Ursache der Färbung vieler Blüten und Früchte, teils rundlich, teils eckig oder nadelförmig, oft kristallähnlich. Als Farbstoffe sind das gelbe gewöhnlich an rundliche Chromatophoren gebundene Xanthophyll und das dunkelorangerote an kristallähnliche, eckige Chromatophoren gebundene Karotin bekannt, das erstere z. B. in den obersten Zellschichten des Blumenblattes von Lupinus

luteus, das letztere in den Fruchtschalen von Asparagus, in der Wurzel der Möhre usw. Dagegen werden die blauen, violetten und mehr karminroten Färbungen der Blüten nicht durch Chromatophoren, sondern meist durch gefärbten Zellsaft bedingt (Fig. 20).

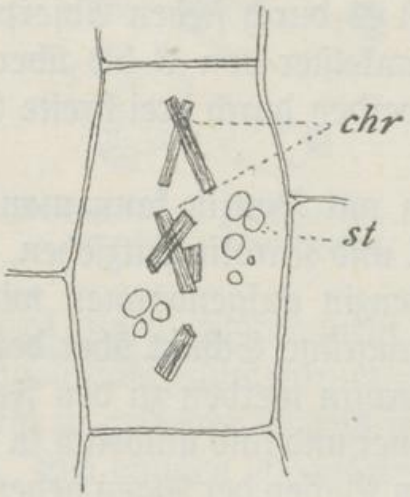


Fig. 20. Zelle aus der Rübe von Daucus. chr Chromoplasten, st Stärkekörner. Vergrößert.

Zu den geformten Bestandteilen des Protoplasmas gehören auch die Elaioplasten oder Ölbildner, welche in jungen Organen von Vanilla planifolia gefunden worden sind. Sie bestehen aus einer schwammigen, eiweißartigen Grundsubstanz, welche mit Öl getränkt ist.

Mikrosomen nennt man jene kleinsten Körnchen, welche im Zellplasma oft in großer Menge vorhanden sind. Ihrer Beschaffenheit nach sind es teils Eiweißkörper, teils kleine Öl- oder Fetttröpfchen, Gerbstoffe usw. Sind es kleine Bläschen mit flüssigem Inhalt, so werden sie auch Physoden genannt.

Einschlüsse des Plasmas.

Im Plasma der Zelle finden sich sehr oft Elemente, welche nicht direkt an den Lebensfunktionen beteiligt sind, sondern als

Reservestoffe dienen oder auch beim Stoffwechsel in der Pflanzenzelle entstehen, ohne später wieder Verwendung zu finden. Zu solchen Einschlüssen gehören:

1. Aleuronkörner. Sie kommen namentlich häufig in den Samen höherer Gewächse vor und bestehen aus Eiweißkörpern, denen oft wieder Kristalloide (Fig. 21e), Calciumoxalatkristalle oder Globoide (Fig. 21g) eingelagert sind. Die Kristalloide sind selbst wieder Eiweißkörper, die jedoch Kristallform besitzen. Die Globoide sind rundliche Gebilde, welche aus

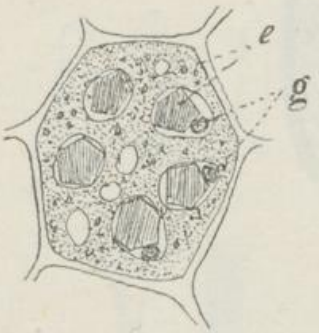


Fig. 21. Zelle aus dem Samen von Ricinus communis.
e Eiweißkristalle. g Globoide.

einer organischen Substanz und einer Doppelverbindung von Phosphorsäure mit Calcium und Magnesium bestehen. Aleuronkörner kommen in sehr verschiedener Größe vor; sie sind meist rundlich oder eiförmig und durch ihre starke Lichtbrechung ausgezeichnet; besonders gut sind sie im Samen von Ricinus communis und Bertholetia excelsa sichtbar zu machen (Fig. 21a).

2. Stärkekörner. Sie entstehen als kleine Körnchen in den Chlorophyllkörnern während des Tages, werden dann teils in der Zelle selbst verbraucht, teils wieder aufgelöst und fortgeführt, um an einem anderen Ort verbraucht oder als Reservestoff wieder in Form von Stärkekörnern abgeschieden zu werden. Sie finden sich hauptsächlich in den Samen, Knollen, Rhizomen und überhaupt in Organen, welche dazu bestimmt

sind, eine Ruheperiode durchzumachen. Ihrer Form nach sind sie sehr verschieden, aber sehr charakteristisch für einzelne Pflanzen. Bei der Kartoffel (Fig. 22) bilden sie unregelmäßig rundliche, der Kartoffelknolle selbst ähnliche Gebilde mit exzentrisch gelegenem Kern und deutlicher Schichtung; bei manchen Wolfsmilcharten (Euphorbia splendens) sind sie hantelförmig (Fig. 23a); bei Roggen und Weizen in der Größe sehr wechselnde eiförmige Körper; in den Zellen des Welschkornes (Zea

Fig. 22. Kartoffelstärkekörner. a Teil einer Zelle mit Stärkekörnern, schwach vergr., b zwei einzelne Stärkekörner mit deutlich sichtbarer Schichtung, stärker vergr.

Fig. 23. a Stärkekörner aus dem Milchsaft von Euphorbia splendens, b Stärkekörner des Hafers, vergr.

Mays) sind sie polyedrisch und eng aneinander gedrängt (Fig. 23b). Auch zusammengesetzte Stärkekörner kommen vor, Körner, die aus mehreren zusammengesetzt sind (Hafer).

Die Stärke ist in ihrer chemischen Zusammensetzung der Zellulose verwandt; sie ist ein Kohlehydrat von der Formel $C_6 H_{10} O_5$. In kaltem Wasser ist sie unlöslich, in heißem quillt sie auf und wird bei längerem Kochen gelöst. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß sie mit Jod allein prachtvoll blauviolett wird. Die Stärkekörner lassen oft eine deutliche Schichtung erkennen, welche dadurch zustande kommt, daß dichtere mit weniger dichten Schichten wechseln. — In den Florideen kommt ein

ähnlicher Körper, Florideenstärke, vor, der sich jedoch mit Jod braunrot färbt.

3. Kristalle. Dieselben sind in Pflanzenzellen sehr verbreitet, namentlich Kristalle des oxalsauren Kalkes (Fig. 24), welche bald als Bündel sehr feiner langer Kristallnadeln, Rhaphiden, teils als Kristalldrusen, teils als Einzelkristalle auftreten. Auch Eiweißkristalle kommen im Plasma vor, z. B. in den dicht unter der Schale der Kartoffelknolle liegenden Zellen.

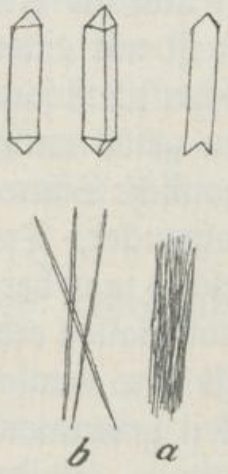


Fig. 24. Kalkoxalatkristalle. a Rhaphidenbündel, b einzelne Kristalle aus dem Bündel, vergrößert.

4. Fette, Öle, Harze kommen sehr häufig im Plasma vor und füllen sogar mitunter die ganze Zelle aus, meist sind sie aber in Form von kleineren oder größeren Tröpfchen im Cytoplasma verteilt, zuweilen, wie in den Blumenblättern der Rose, im Samen der Muskatnuß, bilden sie sogar kristallartige Körper. Auch Kautschuk und Guttapercha kommen bei manchen Pflanzen (z. B. Euphorbiaceen) im Cytoplasma gewisser Zellen vor.

5. Gerbstoffe sind im Zellinhalt weit verbreitet; sie treten in Form von Lösungen auf, welche den Inhalt kleiner Bläschen Vakuolen im Cytoplasma bilden; sie sind durch ihre blaue oder

grüne Färbung, welche sie mit Eisenchlorid annehmen, charakterisiert.

6. Schwefel kommt als Einschluß bei den sogenannten Schwefelbakterien (Beggiatoa, Chromatium) in Form von kleinen Tröpfchen in einer zähflüssigen Modifikation vor.

7. Vakuolen. Im Plasma sehr jugendlicher Zellen kommen Vakuolen nur in sehr beschränktem Maße vor; je älter die Zellen werden, desto größer werden die Vakuolen. Gewöhnlich ist es eine, welche mit der Größenzunahme der Zelle entsprechend heranwächst und als Zellsaftraum bezeichnet wird. Der Zellsaftraum ist mit einer wässerigen Flüssigkeit, dem Zellsaft, erfüllt, welcher meist sauer reagiert und sehr verschiedenartige Substanzen gelöst enthält. Namentlich häufig finden sich im Zellsaft organische Säuren (Apfelsäure, Zitronensäure), Zuckerarten (Rohrzucker, Traubenzucker, Glykosen), Inulin (Kompositen), welches man bei entsprechender Behandlung in Form von Sphärokristallen erhalten kann. Auch Gerbstoffe kommen im Zellsaft vor, ebenso Glykoside und die zum Teil wegen ihrer Giftigkeit bekannten Alkaloide (wie Strychnin, Brucin, Morphin usw.). In dem Zellsaft ist auch der Farbstoff der blauen und roten Blüten enthalten, das Anthocyan, welches in saurem Zellsaft rot, in alkalischem blau erscheint, und je nach der verschiedenen Reaktion des Zellsaftes die verschiedenen blauen und roten Färbungen der Blüten bedingt. Das gleiche ist bei den rot oder blau gefärbten Laubblättern oder Stengelteilen der Fall, z. B. beim Rotkraut. Neben den verschiedenen organischen Stoffen kommen auch die mit dem Wasser aufgenommenen anorganischen Salze, die Nährsalze der Pflanze im Zellsaft, in Lösung vor, besonders schwefelsaure, phosphorsaure und salpetersaure Salze, in manchen Pflanzen auch große Mengen von Kochsalz.

Der Zellsaftraum bildet gewöhnlich eine große zentrale Vakuole, die in ausgewachsenen Zellen den weitaus größten

Teil des Zellinhaltes einnimmt; zuweilen sind aber mehrere größere, durch Plasmaschichten getrennte Vakuolen vorhanden. Auch im Wandplasma finden sich in der Regel noch mehr oder weniger zahlreich kleine Vakuolen.

Die Zellen der höheren Pflanzen sind gewöhnlich durch eine mehr oder weniger derbe Haut gegen außen abgeschlossen. Diese Haut, Zellwand, Zellmembran, besteht zunächst aus Zellulose, Zellstoff, einem Kohlehydrat von der gleichen chemischen Zusammensetzung wie die Stärke $C_6 H_{10} O_5$; daneben kommen aber stets noch andere Stoffe in wechselnden Mengen vor, namentlich Pektinstoffe, Koniferin und Vanillin, Aschebestandteile usw. Bei niederen Pflanzen ist die Membran nicht immer zellulosehaltig; bei den Pilzen besteht sie vielleicht teilweise aus Chitin, bei manchen Bakterienarten sicher aus Eiweißkörpern.

b. Die Zellmembran.

Die Zellmembran geht aus der äußersten Schicht des Protoplasmas hervor und stellt an jungen Zellen ein äußerst zartes, dünnes Häutchen dar, welches allmählich durch Anlagerung neuer Schichten aus dem Protoplasma verstärkt wird, ein Vorgang, den man Wachstum durch Apposition genannt hat. Im Gegensatz dazu nennt man Wachstum durch Intussusception das Einrücken neuer Wandbestandteile zwischen bereits vorhandene in Lücken, welche dadurch entstehen, daß sich die Zellwand beim Wachstum der Zelle dehnt. Es kommt also auf diese Weise das Flächenwachstum der Membran zustande. Ein stärkeres Dickenwachstum erfolgt jedoch gewöhnlich erst gegen Ende des Flächenwachstums der Zellmembran. Man unterscheidet dann oft deutlich drei in ihrem Lichtbrechungsvermögen verschiedene, der ursprünglichen dünnen Zellmembran angelagerte Schichten, die man primäre, sekundäre und tertiäre Verdickungsschicht nennt. Auf der Fläche gesehen er-

scheint die Zellmembran bei starker Vergrößerung oft gestreift (Fig. 25), oft aber ist die Membranverdickung sehr ungleichmäßig in der Zelle und es entstehen dann die Tüpfel.

Tüpfel sind rundliche oder elliptische Stellen, an denen die ursprüngliche Membran nicht verdickt wird. Sind die Verdickungsschichten sehr stark, so entstehen vollständige Kanäle, welche nur durch das sehr dünne primäre Häutchen verschlossen

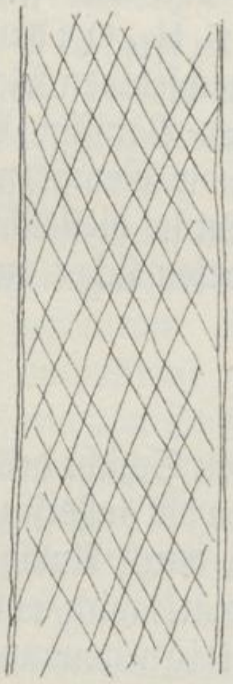
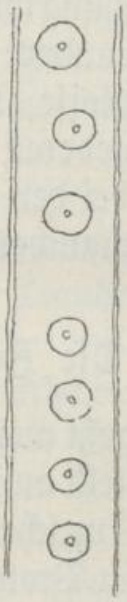


Fig. 25. Gestreifte Zellmembran. Teil einer Bastfaser von Vinca.



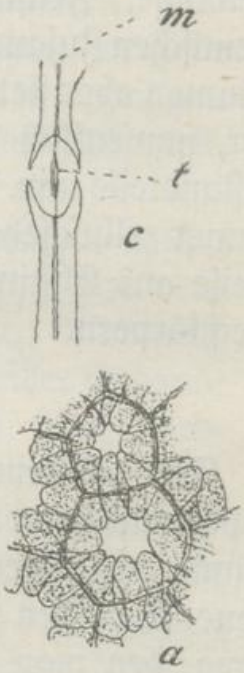


Fig. 26. a Korrespondierende Tüpfelkanäle in den Steinzellen der Birne, b Tracheide mit Hoftüpfeln aus dem Holz von Pinus silvestris, c Tüpfel im Querschnitt, m Mittellamelle, t Torus, vergr.

sind. Eigentümlicherweise korrespondieren die Tüpfel benachbarter Zellen genau miteinander, die Zellinhalte sind also hier nur durch die sehr feine primäre Membran, die Schließhaut, voneinander getrennt (Fig. 26a).

Eine besondere Art der Tüpfel stellen die Hoftüpfel (Fig. 26 b, c) dar, die wir bei den Nadelhölzern ausgebildet finden. Die

Verdickungsschichten weichen hier noch etwas von der primären Zellmembran zurück, so daß ein linsenförmiger Spalt entsteht. Die Schließhaut ist in der Mitte etwas verdickt (Torus). In den Siebröhren kommt es zur Ausbildung sehr großer unverdickter Membranstellen, der Siebplatten, welche durch feine Öffnungen durchlöchert sind.

Mitunter tritt eine Verdickung der Membran nur in den Ecken der Zelle auf, und man nennt solche Zellen, die namentlich im Stengel krautartiger Pflanzen häufig anzutreffen sind, Kollenchymzellen. Oft ist die Verdickung aber nur wie eine innere Aussteifung der Zelle durch einzelne Leisten oder Bänder erreicht, und man kann nach der Form der Verdickungsleisten ringförmige, schraubenförmige, netzförmige Verdickung unterscheiden. In den Wurzelhaaren von Marchantia kommt es zu einer zäpfchenartigen Verdickung.

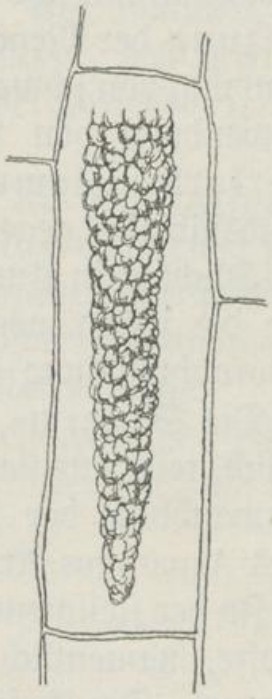


Fig. 27. Zelle aus dem Blattstiel einer Goldfußia mit Cystolith.

Zu den eigentümlichsten Formen der Verdickung gehört die Cystolithenbildung (Fig. 27). Es tritt ähnlich wie bei den Zäpfchen der Marchantiahaare zuerst an einer Stelle der Membran eine Verdickung auf, welche jedoch rasch stielförmig in das Innere der Zelle wächst und dort durch Dickenwachstum und Einlagerung von kohlensaurem Kalk zu einem keulenförmigen, buckeligen und warzigen Körper wird. Sehr langgestreckte schöne Cystolithen findet man im Stengel von Goldfußia-Arten, kürzere dickere in den Blättern des Gummibaumes (Ficus elastica).

Während in jungen Zellen die Membran meist aus reiner Zellulose besteht, ist sie in älteren Zellen sehr verschiedenartig

zusammengesetzt, oft verholzt oder verkorkt oder zu Schleim- oder Gummistoffen wenigstens teilweise umgewandelt. Man erkennt diese Umwandlung aus ihrem Verhalten gegen chemische Reagentien. Zellulose färbt sich mit Jod und Schwefelsäure blau, ebenso mit Chlorzinkjodlösung, sie ist löslich in Kupferoxydammoniak, unlöslich in verdünnten Säuren und Alkalien. Die Pektinstoffe dagegen, welche oft einen sehr wesentlichen Bestandteil der Membranen ausmachen, sind löslich in Alkalien, wenn vorher mit Säuren behandelt, und färben sich mit Jod und Schwefelsäure nicht blau. Eine Verholzung der Membran läßt sich durch Gelbfärbung bei Anwendung von schwefelsaurem Anilin, durch Violettfärbung bei Anwendung von Phloroglucin und Salzsäure nachweisen. Verkorkte Elemente zeichnen sich durch ihre große Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Agentien, auch durch ihre Unlöslichkeit in Kupferoxydammoniak aus; sie werden ebenso wie die später noch zu besprechende Cuticula durch eine Chlorophyllösung intensiv grün gefärbt.

Die Schleim- und Gummiarten sind teils in Wasser löslich, teils nur stark aufquellend; sie entstehen zumeist durch Umwandlung der Zellmembran. Hierher gehören Tragant (aus Asparagus-Arten), Cerasin oder Kirschgummi usw.

In der Zellmembran sind aber außerdem auch anorganische Stoffe, namentlich kohlensaurer Kalk und Kieselsäure, abgelagert. Die Kieselsäure ist ein fast immer in der Epidermis der Gräser vorkommender Körper; am stärksten ist sie in den Oberhautzellen der Schachtelhalme abgelagert. Dort bildet sie eine zusammenhängende Schicht, welche als Kieselskelett zurückbleibt, wenn man das ganze Gewebe verbrennt. Auch oxalsaurer Kalk kommt zuweilen, und zwar in Kristallform, in der Membran vor, z. B. in den Bastzellen von Taxus und in den eigentümlichen verzweigten Zellen (Spikularzellen), welche das Grundgewebe des Stieles von Nuphar oder Nymphaea

durchsetzen. Phosphorsaurer Kalk ist ebenfalls als Einlagerung in die Zellmembran nachgewiesen. Die dunkle Färbung, welche die Membran oft zeigt, rührt entweder von gerbstoffartigen Körpern oder wie bei Blauholz, Rotholz usw. von wirklichen, auch technisch wichtigen Farbstoffen her (z. B. Hämatoxylin).

Im Endosperm mancher Palmen (z. B. Phytelephas, Phoenix dactylifera) werden die Membranen der Zellen sehr stark durch eine besondere Form der Zellulose, Reservezellulose, verdickt, welche bei der Keimung der Samen wieder aufgelöst und als Nährstoff benützt wird. Ein ähnlicher, in Kupferoxydammoniak aber unlöslicher Körper, das Paragalaktan, tritt in den Wandverdickungen der Kotyledonzellen von Lupinus luteus auf.

Mit der Zellulose nahe verwandt ist ein Körper, Kallose, welcher die Platten der Siebröhren im Alter vollständig bedeckt, aber, wie es scheint, auch in den Membranen von Pollenkörnern vorkommt. Sie ist unlöslich in Kupferoxydammoniak, aber leicht löslich in kalter 1prozentiger Natronlauge.

Bei der Betrachtung der Zellwände benachbarter Zellen eines Gewebes macht sich gewöhnlich eine mittlere Schicht, die

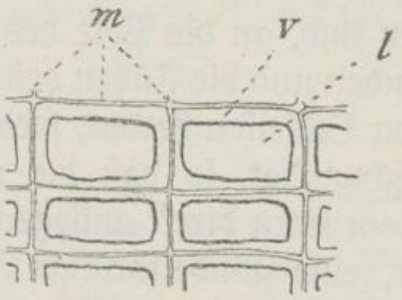


Fig. 28. Zellen aus dem Herbstholz der Tanne. m Mittellamelle, v Verdickungsschicht, l Zelllumen, stark vergrößert.

Mittellamelle, bemerkbar (Fig. 28); sie geht aus der gemeinschaftlichen primären Scheidewand zweier Zellen hervor und wird gewöhnlich am meisten chemisch verändert. Sie ist am leichtesten zerstörbar, oft schon, wie bei der Kartoffelknolle,

durch Kochen. Man benützt die leichte Zerstörbarkeit der Mittellamelle dazu, die einzelnen Elemente eines Gewebes zu isolieren; es ist möglich, durch Mazeration, wie man den Prozeß nennt, ein Gewebe vollständig in die einzelnen Zellen aufzulösen, ohne daß die letzteren selbst beschädigt werden. Zur Mazeration verwendet man gewöhnlich das sogen. Schultzesche Mazerationsgemisch, chlorsaures Kali mit Salpetersäure, in welches die zu mazerierenden Gewebe gebracht werden.

c. Zell- und Kernteilung.

Die Zellkerne vermehren sich ausschließlich durch Teilung, welche direkt oder indirekt sein kann. Die direkte oder amitotische Kernteilung besteht in einer einfachen Einschnürung des Zellkernes, welche allmählich bis zur vollständigen Trennung der beiden Hälften führt; sie kommt namentlich in älteren, mehrkernigen Zellen vor, z. B. in den langgestreckten Internodialzellen von Tradescantia oder bei Characeen (Fig. 29).

Die indirekte oder mitotische Kernteilung, auch Karyokinese genannt, ist ein sehr viel komplizierterer Vorgang. Beim Beginn der Kernteilung rücken die beiden Centrosomen, wo solche vorhanden sind, an die Pole des Kernes, die Kernkörperchen verschwinden und die Fäden des Zellgerüstes treten deutlich in Form von Schleifen hervor, welche sich teilen. Die Kernmembran verschwindet, so daß die etwa vorhandenen Centrosomen jetzt dem Kern direkt anliegen; von ihnen gehen feine Plasmafäden, eine spindelförmige Figur, Kernspindel, bildend, nach der Mitte des Zellkerns, sich dort mit den von dem anderen Pol eintreffenden berührend. An diesen Berührungspunkten der beiden von den Polen ausgehenden Fäden sammeln sich Segmente des Kerngerüstes und bilden hier die sogenannte Kernplatte. Von dieser Kernplatte aus rücken die Segmente wieder nach den Polen zu, wo sich inzwischen

auch die Centrosomen geteilt haben. Von jedem ursprünglich aus einer Schleife hervorgegangenen Segmentpaar rückt das eine nach diesem, das andere nach jenem Pol des Zellkernes, so daß eine an einen Doppelstern erinnernde Zellfigur (Amphi-

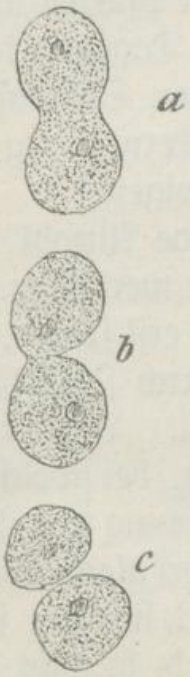


Fig. 29. Direkte Kernteilung in Internodialzellen von Tradescantia virginica. a—c der Reihe nach verschiedene Teilungszustände. Stark vergr.

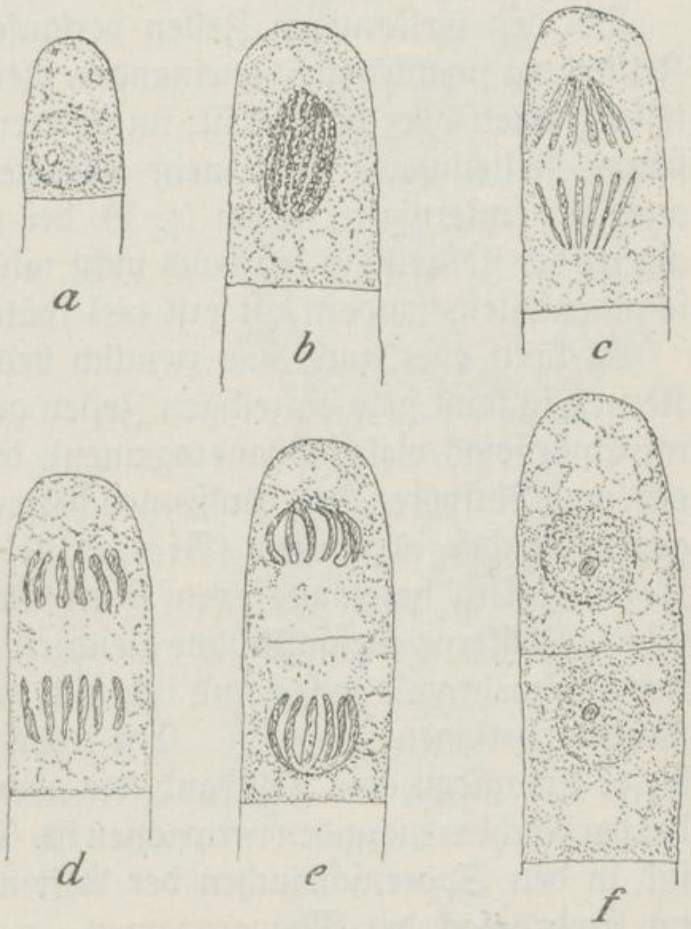


Fig. 30. Staubfadenhaar von Tradescantia virginica. a—f verschiedene Stadien der Kernteilung (Mitose). Stark vergrößert.

aster) entsteht. Dann entsteht, während die feinen, zwischen den beiden Polen ausgespannten Plasmafäden verschwinden, um jeden Pol eine neue Kernmembran, die Gerüstfäden bilden wieder einen dichten Knäuel und auch die Kernkörperchen treten in jedem der beiden jungen Zellkerne auf.

Die Zellteilung findet in diesem Falle meist nahezu gleichzeitig mit der Kernteilung in der Weise statt, daß sich zwischen den in Teilung begriffenen Kernen eine Scheidewand bildet, welche überall bis an die Membran der Mutterzelle reicht und diese in zwei Tochterzellen wieder mit je einem Zellkern teilt.

Bei den vielkernigen Zellen verlaufen jedoch Kern- und Zellteilung unabhängig voneinander, gleichgültig ob die Kernteilung direkt oder indirekt ist; im ersteren Falle pflegen überhaupt Zellteilungen nicht mehr einzutreten. Dagegen kann auch bei einkernigen Zellen (z. B. bei manchen Süßwasseralgen) die Zellteilung durchaus nicht mit der Kernteilung zusammenfallen, sondern oft erst viel später erfolgen.

Es kann aber auch eine ziemlich bedeutende Anzahl von Kernen in sonst stets einzelligen Zellen gebildet werden (z. B. im Embryosack vieler Phanerogamen), die sich erst später, oft erst nach Aufhören des Größenwachstums, durch Zellwände gegeneinander abgrenzen (Vielzellbildung). Als freie Zellbildung bezeichnet man einen Vorgang, bei welchem sich die Zellkerne ebenfalls ohne gleichzeitige Bildung von Zellwänden mehrmals teilen und sich mit ungefähr gleichgroßen Plasmaportionen umgeben. Erst später bildet sich um jede dieser Energiden eine Zellwand, die aber frei, d. h. nicht mit der der Nachbarenergiden verwachsen ist. Dieser Vorgang findet sich in den Sporenschläuchen der Askomyceten, ähnlich auch im Embryosack der Phanerogamen.

Im Gegensatz zu der Zellteilung steht die Zellverschmelzung. Dieselbe kommt einmal ganz allgemein als Ausdruck der geschlechtlichen Fortpflanzung der Pflanzen bei der Befruchtung vor. Bei manchen niederen Kryptogamen sind beide miteinander verschmelzende Zellen einander gleich, bei den höheren Kryptogamen und den Phanerogamen läßt sich aber ein Unterschied zwischen der stets unbeweglichen weiblichen Zelle, der Eizelle, und der männlichen erkennen, die bei den höheren Kryptoga-

men ein bewegliches Spermatozoid, bei den Phanerogamen der durch Wachstum an die Eizelle gelangende Pollenschlauch ist.

In einigen anderen, nicht der Fortpflanzung dienenden Zellen kommen ebenfalls Verschmelzungen vor, die man mit

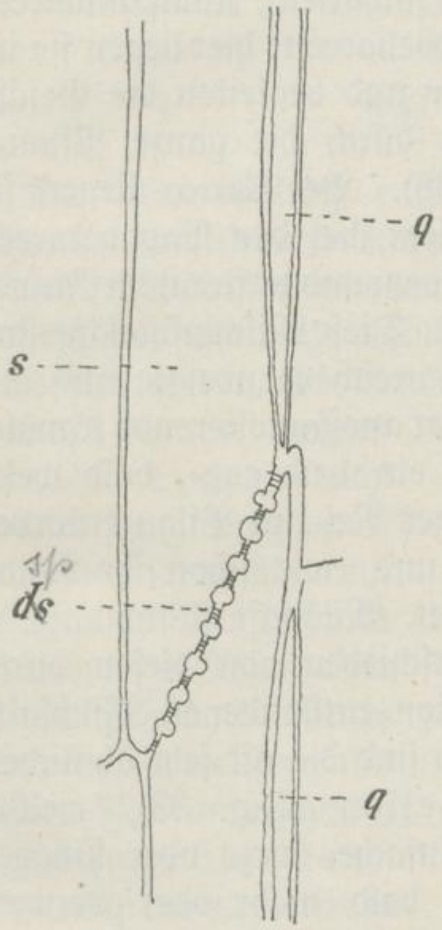


Fig. 31. Siebröhren von Vitis vinifera. s Siebröhre, sp Siebplatte, b Begleiter. Vergrößert.

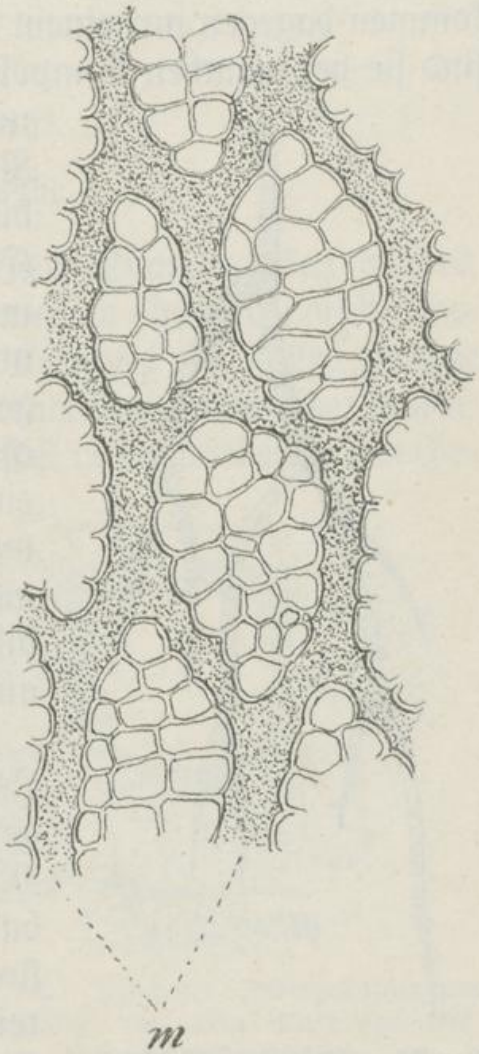


Fig. 32. Milchsaftgefäß aus der Rinde von Scorzonera Hispanica (m).

dem Namen Zellfusionen belegt hat. Solche Zellfusionen sind die Holzgefäße, die Siebröhren und die Milchsaftgefäße. Die Siebröhren bilden ursprünglich lange, schlauchförmige Zellen mit schief liegenden Querwänden, welche später siebartig durchbrochen werden (Fig. 31). Bei den Holzgefäßen

gegliederte Milchsaftröhren.

kommt es dagegen zu einer viel vollständigeren Resorption der Scheidewand; oft bleibt nur ein kleiner, ringförmiger Wulst als Rest zurück. Siebröhren und Holzgefäße sind allgemeine Bestandteile des Körpers der Gefäßpflanzen, Milchsaftgefäße kommen dagegen nur einem Teile zu. Besonders ausgebildet sind sie bei manchen Kompositen (Zichorien), Kampanulaceen und Lobeliaceen; hier liegen sie im Phloem und begleiten die Gefäßbündel durch die ganze Pflanze (Fig. 32). Bei Carica liegen sie im Xylem, bei den Papaveraceen im Phloem und zerstreut im Grundgewebe. Diese Milchsaftgefäße sind oft sehr reich verzweigte und mit einander anostomosierende Kanäle, welche ein bald eng-, bald weitmaschiges Netz im Pflanzenkörper bilden und, wie schon ihr Name andeutet, Milchsaft führen.

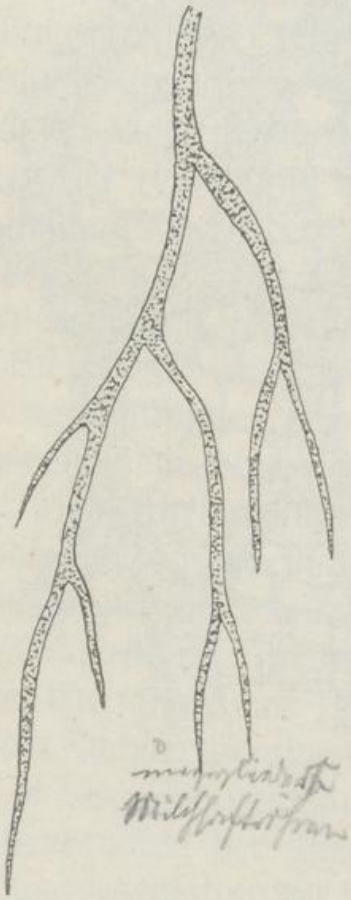


Fig. 33. Teil einer Milchzelle von einer Euphorbia.

Verschieden von diesen durch Zellfusion entstandenen Milchsaftgefäßen sind die oft sehr ähnlichen Milchzellen (Fig. 33), welche bald einfache, kurze oder langgestreckte, bald mehr oder weniger reich verzweigte, aber nicht durch Zellverschmelzung entstandene Zellen sind. Besonders reich verzweigt sind sie bei manchen Euphorbiaceen (z. B. bei Euphorbia splendens); auch bei den Apocynaceen und Asklepiadeen kommen sie vor. Manchmal, z. B. bei Hoja carnosa, erreichen die Milchzellen eine ganz außergewöhnliche Länge.

Zellfusionen werden auch oft durch Verschmelzung von eng zusammenliegenden, nicht in die Länge gestreckten Zellen gebildet; dieselben werden als Drüsen bezeichnet und kommen nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Organe (innere Drüsen) vor.

2. Kapitel.

Die Gewebe.

Die durch Teilung entstandenen Pflanzenzellen bleiben außer bei den niederen Kryptogamen zu einem Gewebe verbunden. Als ein Gewebe kann ein Komplex von Zellen gleicher Gestalt, welche in engem Zusammenhange miteinander stehen, betrachtet werden. Die Gewebe selbst treten wieder zu den Gewebesystemen zusammen, die durchaus nicht gleichartige Zellen zu enthalten brauchen, aber mit Rücksicht auf ihre Aufgabe im Leben der Pflanze zusammengehörende Gruppen von Geweben umfassen. Man unterscheidet Hautgewebesystem, Grundgewebesystem und Gefäßbündelsystem.

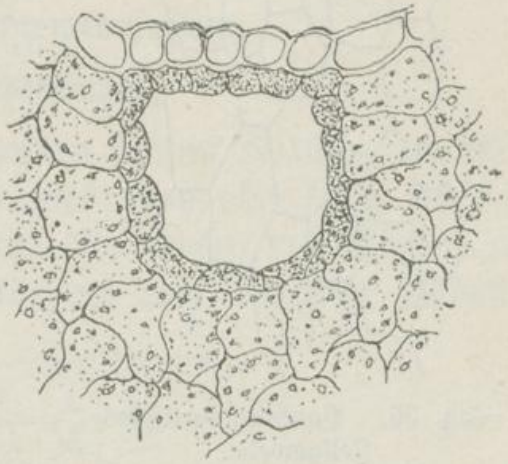


Fig. 34. Lysigener Interzellularraum (Ölbehälter) aus dem Blatt von Dictamnus. Vergrößert.

Diejenigen Teile einer Pflanze, in denen sich eine Differenzierung der Gewebe noch nicht vollzogen hat und die Zellen noch in rascher Teilung begriffen sind, bezeichnet man als Meristeme oder Teilungsgewebe, während man im Gegensatz hierzu alle anderen Teile Dauergewebe nennt. Ein Meristem selbst kann wieder ein Urmeristem oder ein Folge-