

ERSTER TEIL.

Allgemeine Botanik.

Erste Abteilung.

Morphologie.

Die botanische Morphologie strebt eine wissenschaftliche Erkenntnis der Pflanzenformen an. Sie erachtet es nicht als ihr eigentliches Ziel den Ursachen der Formbildung nachzuforschen, hält vielmehr ihre besondere Aufgabe für gelöst, wenn es ihr gelungen ist, eine Form von einer andern abzuleiten. Die einzige reale Grundlage für die Morphologie gibt somit die stammesgeschichtliche Entwicklung oder Phylogenie (S. 1) ab. Da diese aber nur erschlossen, nicht direkt verfolgt werden kann, so ist die Morphologie auf indirekte Methoden angewiesen. Ihre Grundlage sucht sie einerseits aus der Ontogenie (S. 1) zu gewinnen, d. h. aus dem Studium der Entwicklung, welche die jetzt lebenden Wesen von ihrer Anlage bis zum fertigen Zustand durchmachen, andererseits aus dem Vergleich der jetzt bestehenden organischen Formen untereinander, wie auch mit solchen, die früher lebten. Die Ontogenie wiederholt innerhalb gewisser Grenzen die Phylogenie und kann daher zu ihrer Klarlegung beitragen, während andererseits die vergleichende Forschung danach strebt, extreme Bildungen durch Zwischenglieder zu verbinden. Da nun aber die Ontogenie weder vollständig noch unverändert die Phylogenie wiederholt, auch die verbindenden Glieder zwischen extremen Formen vielfach fehlen, so bleiben die Ergebnisse der morphologischen Forschung oft unvollkommen. — Gebilde, deren gemeinsamer Ursprung von einer Ausgangsform uns wahrscheinlich ist, bezeichnen wir als homolog; solche, für die wir einen Ursprung von verschiedenen Ausgangsformen annehmen, die aber die gleichen Funktionen vollziehen, als analog. Die Anpassung an die gleiche Funktion kann unter Umständen analoge Gebilde zu sehr weitgehender Übereinstimmung nicht nur der äußeren Gestalt, sondern auch des inneren Baues führen, wodurch ihre morphologische Deutung erschwert wird. Nur den homologen Gebilden kommt derselbe „morphologische Wert“ zu. Über diesen entscheiden somit nur phylogenetische Gesichtspunkte, nur der gleiche Ursprung, nicht die übereinstimmende Funktion. Wir werden uns somit in der morphologischen Wertbestimmung eines Gebildes durch seine Funktion nicht beeinflussen lassen; doch wollen wir, um die Beziehungen, welche zwischen Form und Funktion herrschen, klarzulegen, unter Umständen auch physiologische Gesichtspunkte in die morphologische Darstellung einschalten. Sind wir auf Grund phylogenetischer Erwägungen dahin gelangt, für eine Anzahl verschiedener Gebilde einen gemeinsamen Ursprung anzunehmen, so bezeichnen wir die hypothetische Ursprungsform, aus der wir jene Gebilde ableiten, als ihre Grundform. Die verschiedenen Abänderungen, welche

diese Grundform erfahren hat, sind ihre Metamorphosen. Dadurch ist die Lehre von der Metamorphose der Pflanzen, die einst nur eine ideale Abstraktion war, auf reale Grundlage gestellt.

Wenig differenzierte Gebilde, die am Ausgangspunkt einer fortschreitenden Reihe stehen, bezeichnen wir als rudimentär, unvollkommene Gebilde, die sich aus vollkommeneren zurückgebildet haben, als reduziert.

Die Morphologie zerfällt in die Lehre von der äußeren Gestalt und von dem inneren Bau. Die Lehre von der äußeren Gestalt der Pflanzen hat man auch Organographie genannt, eine Bezeichnung, die wir nicht annehmen⁽⁸⁾, da sie ihrem Wortlaute nach auf die Leistung Rücksicht nimmt und somit einen physiologischen Begriff in sich schließt. Die pflanzliche Morphologie kennt keine Organe, sondern nur Glieder des Pflanzenkörpers; während es andererseits eine der wichtigsten Aufgaben der Physiologie ist, die äußere Gestalt und den inneren Bau des lebendigen Körpers in Beziehung zu seinen Funktionen zu bringen und den Ursachen der Formgestaltung nachzuforschen. Die Lehre von dem inneren Bau der Gewächse hat man oft in den Begriff der pflanzlichen Anatomie oder Phytotomie zusammengefaßt; tatsächlich hat aber die Lehre von dem inneren Bau der Gewächse vor allem mit jenem feineren Bau des pflanzlichen Körpers zu tun, der auf tierischem Gebiete Gegenstand der Histologie ist, und nur in weit geringerem Maße mit der Anatomie oder gröberen Körperzergliederung. — Am einfachsten dürfte es jedenfalls sein, die Lehre von der äußeren Gestalt der Pflanzen als äußere Morphologie, die Lehre von der inneren Gestalt der Pflanzen als innere Morphologie zu bezeichnen.

Erster Abschnitt.

Äußere Morphologie⁽⁹⁾.

Die Gestalt und die Gliederung der Pflanzen weist große Verschiedenheiten auf. Die Morphologie stellt sich die Aufgabe, das Übereinstimmende innerhalb dieser Mannigfaltigkeit aufzudecken. Sie sucht dieses Ziel zu erreichen, indem sie dem gemeinsamen Ursprung homologer Gebilde nachforscht.

Die Formentwicklung im Pflanzenreiche.

Der Thallus⁽¹⁰⁾. Als Thallus wird ein Pflanzenkörper bezeichnet, der entweder ungegliedert ist oder sich auch gegliedert zeigt und dann selbst eine ähnliche Gliederung wie die höchst organisierten Pflanzen aufweisen kann. Auch im letzten Falle handelt es sich aber nur um analoge und nicht homologe Gebilde (S. 6), da sie verschiedenen Ursprungs sind, was zu beachten ist, falls die Glieder mit denselben Namen wie bei den höheren Gewächsen bezeichnet werden.

Die einfachste Gestalt, in der wir uns einen Organismus denken können, ist die einer Kugel. Diese Form kommt bei den niederen Pflanzen auch tatsächlich vor. Aus so kleinen grünen Kugeln (Fig. 1 C), daß sie nur bei stärkerer Vergrößerung unterschieden werden können, bestehen beispielsweise gewisse grüne Überzüge, die häufig an feuchten Mauern auftreten. Sie werden von einer zu den niedersten Abteilungen der Pflanzen gehörenden

Alge, der *Gloeocapsa polydermatica*, gebildet. — Von ellipsoider Gestalt sind die Individuen der Bierhefe (*Saccharomyces cerevisiae*). Die Fig. 2

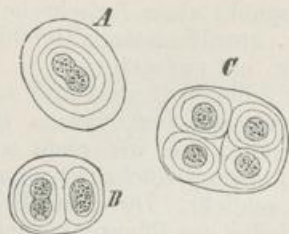


Fig. 1. *Gloeocapsa polydermatica*. A Beginn einer Teilung. B Links, kurz nach der Teilung. C Im Ruhezustande. Vergr. 540.



Fig. 2. *Saccharomyces cerevisiae*. 1 nicht sprossende, 2 und 3 sprossende Zellen. Vergr. 540.

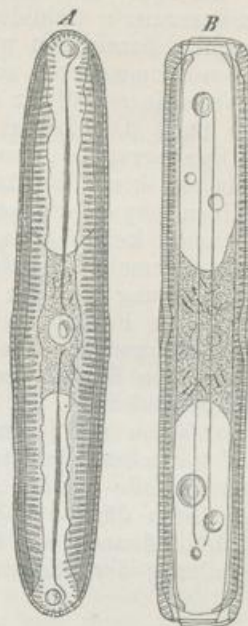


Fig. 3. *Pinnularia viridis* in zwei Ansichten. A Die sog. Schalenansicht. B Die sog. Gürtelbandansicht. Vergr. 540.



Fig. 4. Bakterien des Zahnschleims. a *Leptothrix buccalis*, bei a* nach Jodbehandlung, b Mikrokokken, c *Spirochaete dentium* nach Jodbehandlung, d *Spirillum sputigenum*. Vergr. 800.



Fig. 5. Keimling von *Ulva lactuca*. Oben der Scheitel, unten die Basis. Vergr. 220.

zeigt sie zum Teil mit seitlichen Auswüchsen versehen, in sog. Sprossung begriffen. — Scheibenförmige Gestalten, ganzrandig oder mit mannig-

faltig eingeschnittenem Rande, treten uns bei verschiedenen Algen entgegen, bei ihnen auch zylindrische Formen. Elliptische Gestalt weisen verschiedene Diatomeen auf, die auch den Algen angereiht werden, so die in Fig. 3 dargestellte *Pinnularia viridis*. Außerdem kommen dort die mannigfaltigsten spindel-, schiff-, helm- und fächerförmigen Gestalten vor, die sich aus einfacheren kugelförmigen, scheibenförmigen und zylindrischen Formen ableiten lassen. Ebenso treten uns kugel-, stäbchen-, faden- und schraubenförmige Gestalten bei den kleinsten Organismen, die wir zurzeit kennen,

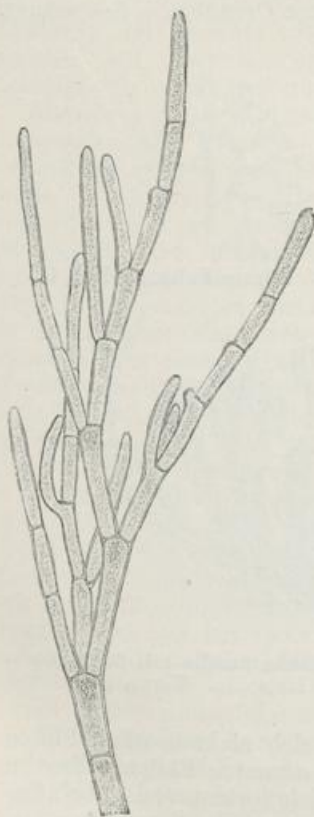


Fig. 6. Stück einer *Cladophora glomerata*. Vergr. 48.

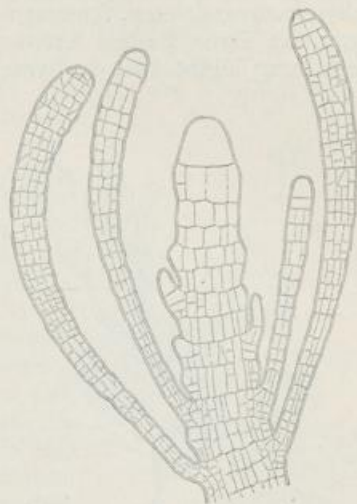


Fig. 7. Endtrieb eines *Cladostephus verticillatus* (nach PRINGSHEIM). Vergr. 30.

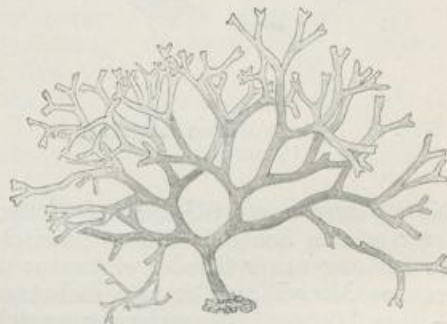


Fig. 8. *Dictyota dichotoma*. $\frac{2}{3}$ nat. Gr.

entgegen, den als Träger der Infektionskrankheiten und Erreger von Zersetzungerscheinungen jetzt eifrig erforschten Bakterien (Fig. 4). — Als nächsthöhere Stufe fortschreitender Differenzierung kann jene gelten, bei der ein Gegensatz von Scheitel und Basis sich einstellt. Die Basis dient dann meist der Anheftung, während das Wachstum sich auf den Scheitel lokalisiert. So bildet sich dieser Scheitel zu einem Vegetationspunkt aus. Ein Keimling der bandförmigen grünen Meeresalge, der *Ulva lactuca* (Fig. 5), mag als Beispiel dieses Verhaltens dienen. — Weiter noch haben

es solche niedere Pflanzen gebracht, die zu verzweigten Fäden oder Bändern sich ausgestalten. Der Ort der Neubildung lokalisiert sich dann immer mehr auf den Scheitel. Eine akropetal, d. h. scheitelwärts fortschreitende Anlage neuer Seitenglieder ist bereits deutlich bei *Cladophora glomerata*, einer im süßen Wasser sehr gemeinen grünen Fadenalge, von der Fig. 6 uns ein Bruchstück vorführt. Sehr ausgeprägtes Scheitelwachstum zeigt uns die in Fig. 7 dargestellte braune Meeresalge *Cladostephus verticillatus*. — Die Körper größerer Pilze und Flechten, die uns in Keulen-, Schirm-, Teller- und Becherform, oder auch in strauch- und bartförmigen Gestalten entgegentreten, kommen durch Verflechtung und Vereinigung verzweigter, an ihren Enden fortwachsender Fäden zustande. Diese Art der Ausgestaltung bleibt aber im wesentlichen auf diese Organismen beschränkt.



Fig. 9. *Hydrolapathum sanguineum*.
 $\frac{1}{2}$ nat. Gr.



Fig. 10. *Riccia fluitans*. Nat. Gr.



Fig. 11. *Blasia pusilla* mit Sporogon s.
r Rhizoide. Vergr. 2.

Die Bildung neuer Glieder am Thallus vollzieht sich nicht in allen Fällen unter seinem Scheitel; dieser Scheitel kann in bestimmten Fällen selber in die Bildung neuer Glieder eintreten; so bei der sich fortdauernd gabelnden braunen Meeresalge *Dictyota dichotoma*, die in unserer Fig. 8 zu sehen ist. — Ihre höchste Differenzierung erreichte die äußere Gestaltung der niederen Gewächse in gewissen Abteilungen der braunen und der roten Meeresalgen (Phaeophyceen und Rhodophyceen). Manche Vertreter dieser formenreichen Organismen erinnern in ihrer Gliederung auffallend an höhere Pflanzen, so beispielsweise die rote Meeresalge *Hydrolapathum sanguineum* (Fig. 9). Wie schon der Name dieser Alge andeutet, ähnelt sie einer Ampferart, ein gewiß lehrreicher Fall für Analogie der Gestalt unter Pflanzen, die phylogenetisch einander ganz fremd sind. In einer mit den höchst organisierten Gewächsen noch übereinstimmenden Weise hat sich die fortschreitende Gliederung des Thallus bei den Bryophyten oder moosartigen Gewächsen vollzogen. Einzelne Ordnungen dieser Gewächse in der Klasse der Lebermoose (Hepa-

ticae) bieten uns zum Teil noch bandartige Vegetationskörper ohne fortgeschrittene Gliederung, enthalten aber auch schon Formen, welche eine solche Gliederung aufweisen. So stellt die Fig. 10 zunächst ein gabelig verzweigtes Lebermoos mit bandartigem Thallus vor, die *Riccia fluitans*. Dieses Lebermoos erinnert in seinem Habitus, d. h. in seinem Aussehen, an die von uns zuvor betrachtete braune Alge *Dictyota dichotoma* (Fig. 8). Ein anderes Lebermoos, die *Blasia pusilla* (Fig. 11), zeigt an seinem bandförmigen Körper seitliche Einschnitte. In *Plagiochila asplenoides* (Fig. 12) tritt uns endlich ein Lebermoos entgegen, das eine ganz analoge Gliederung in stamm- und blattähnliche Gebilde aufweist, wie sie den höchst organisierten Pflanzen zukommen. Da man trotz aller dieser Mannigfaltigkeit der Ausbildung und der Höhe, die sie zu erreichen vermag, den Körper der niederen Gewächse als Thallus bezeichnet, so faßt man sie als Thallophten zusammen, um ihnen die höheren Gewächse als Kormophyten gegenüber zu stellen.

Kormus. Als Kormophyten werden mit einander alle Pflanzen von den farnartigen Gewächsen oder Pteridophyten aufwärts vereinigt. Von diesen Pflanzen läßt sich annehmen, daß sie einen gemeinsamen Ursprung haben, daß somit ihre übereinstimmende Gliederung auf Homologie beruht. Außer der Sprossung ihrer Sprosse in Stamm und Blatt, weisen sie zum ersten Mal auch echte Wurzeln auf, während alle moosartigen Gewächse, auch die höchst entwickelten, an Stelle von Wurzeln nur zarte Fäden, d. h. Rhizoide (Fig. 11r) aufweisen, mit denen sie auf ihrer Unterlage befestigt sind. Die bei den farnartigen Gewächsen zum ersten Male auftretenden Wurzeln stellen aber meist zylindrische, an ihrem Scheitel fortwachsende Gebilde dar, die abgesehen von einem bestimmten inneren Bau, sich in ihrer äußeren Gestaltung von dem Sproß dadurch unterscheiden, daß ihr Vegetationskegel mit einer Hülle, der sog. Wurzelhaube oder Kalyptra, bedeckt ist und keine Blätter bildet. Der mit Stamm, Blatt und Wurzel ausgestattete Körper der höheren Gewächse wird als Kormus bezeichnet, daher heißen diese Pflanzen Kormophyten.

Metamorphose der Grundformen der Kormophyten. Nach vollzogener Differenzierung in Stamm und Blatt und dem Auftreten von Wurzeln, fand weiterhin im wesentlichen nur noch eine mehr oder weniger tiefgreifende Veränderung jener Grundformen, oder Grundglieder des kormophyten Pflanzenkörpers, d. h. deren Metamorphose (S. 6) statt. Diese konnte in einzelnen Fällen so weit reichen, daß ein der einen Grundform entstammendes Gebilde die Merkmale der anderen völlig annahm.

Die oft ganz auffälligen Beziehungen homologer Glieder konnten auch früher nicht unbemerkt bleiben. Sie regten zu Vergleichen an, bevor noch in der Phylogenie eine reale Basis für solche Vergleiche gewonnen war. So bildete sich seinerzeit eine rein idealistische Gestaltenlehre in der Botanik aus, die ihre höchste künstlerische Entwicklung in GOETHES Metamorphosenlehre, ihren wissenschaftlichen Abschluß in den Arbeiten von ALEXANDER BRAUN fand. — Die Mannigfaltigkeit der Gestaltung auf den Gebieten der niederen Gewächse erschwerte bei ihnen die Aufstellung abstrakter Grundformen; deshalb baute sich die ganze äußere Morphologie der Pflanzen aus

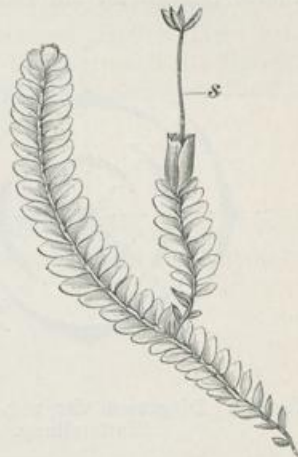


Fig. 12. *Plagiochila asplenoides* mit Sporogon s. Nat. Gr.

Begriffen auf, welche man den Kormophyten abgewann. Auch heute geben die für die Körperteile der Kormophyten üblichen Bezeichnungen die Norm ab, nach welcher die nur analogen Teile der Thallophyten vielfach benannt werden.

Sondergebilde. Es sind aber am Körper der Kormophyten auch solche Bildungen nicht ausgeschlossen, die sich aus keiner der angeführten Grundformen durch Metamorphose ableiten lassen. Diese Bildungen sind nicht häufig, aber insofern wichtig, als sie zeigen, daß sich die Natur in ihrem Entwicklungsgang nicht durch ein Schema bindet. Wir werden solche Bildungen weiterhin einer gesonderten Behandlung unterwerfen.

Symmetrieverhältnisse.

Jeder in der Richtung vom Scheitel zur Basis eines Pflanzenteils geführte Schnitt ist ein Längsschnitt; die rechtwinklig zu den Längsschnitten geführten Schnitte sind Querschnitte. Ein Pflanzenteil, der rings um seine Längsachse annähernd gleich gebaut ist, wird als multilateral oder radiär

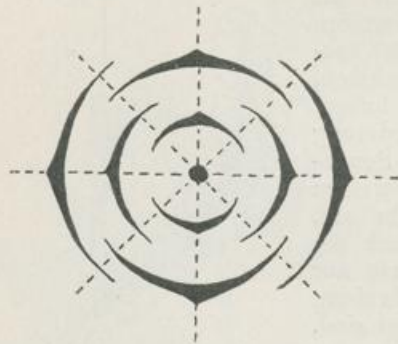


Fig. 13. Diagramm der sog. dekussierten Blattstellung.

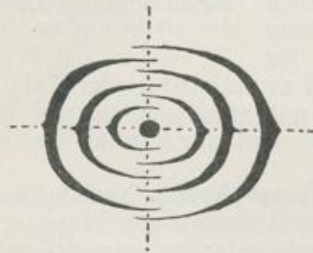


Fig. 14. Diagramm der zweizeiligen Blattstellung.

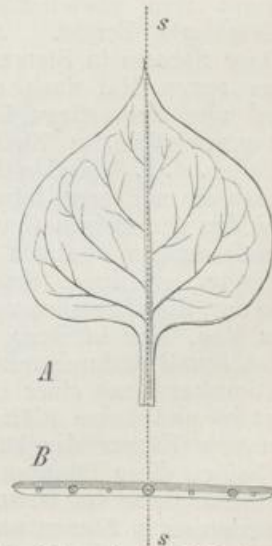


Fig. 15. Schematisches Bild eines Laubblattes. Bei A in Flächenansicht. Bei B im Querschnitt. s s Der Hauptschnitt.

(auch aktinomorph) bezeichnet. Er läßt sich durch mehrere Schnitte in einander entsprechende Teile zerlegen. An einem beblätterten Sproß wird uns der radiäre Bau am anschaulichsten entgegentreten, wenn wir von ihm ein sog. Diagramm darstellen, d. h. wenn wir die Blätter, die er trägt, in einer zu seiner Längsachse rechtwinkligen Ebene entwerfen. So zeigt sich deutlich die radiäre Ausbildung an dem Diagramm Fig. 13, das nach einem Sproß entworfen ist, der die Blätter in zweigliederigen, sich kreuzenden Quirlen trägt. Etwas abweichend verhält sich ein Sproß, der seine Blätter zweizeilig, d. h. abwechselnd an zwei

gegenüberliegenden Seiten ausbildet. Das Diagramm eines solchen Sprosses (Fig. 14) gestattet nur zwei Längsschnitte, die annähernd gleiche Teile liefern. Ein solcher Typus wird als bilateral von dem radiären unterschieden. Ist die symmetrische Teilung durch einen Längsschnitt nur in einer Ebene möglich, so liegt ein dorsiventraler (auch zygomorph genannter) Körper vor, an welchem nur die beiden seitlichen Flanken einander entsprechen, „Rücken-“ und „Bauchseite“ aber verschieden sind. Solche dorsiventralen Gebilde treten uns beispielsweise in den meisten Laubblättern entgegen. Schematisch soll ein solcher monosymmetrischer, dorsiventraler Pflanzenkörper durch die Fig. 15 an einem Laubblatt verdeutlicht werden, wobei *A* die Flächenansicht, *B* den Querschnitt, *s s* den einzig möglichen Hauptschnitt darstellen sollen. Die Unterschiede im Bau der Rücken- und Bauchseite wurden durch Schattierung am Querschnitt hervorgehoben. Nicht selten sind dorsiventrals Pflanzenteile auch asymmetrisch, ihre beiden Flanken entsprechen dann einander nicht, so bei den meisten Begonienblättern, deren Gestalt der Gattung *Begonia* den Namen „Schieflatt“ verschaffte. In solchen Fällen, welchen als auffälliges Beispiel auch die Ulmenblätter hinzugefügt werden könnten, ist die Symmetrie des einzelnen Blattes der Symmetrie der gesamten Pflanze untergeordnet.

Verzweigungssysteme.

Die Thallophyten wie die Kormophyten weisen sowohl solche Verzweigungen auf, die aus einer Gabelung vorhandener Vegetationspunkte

hervorgehen, als auch solche, die einer Bildung neuer Vegetationspunkte ihre Entstehung verdanken. Im ersten Falle geht der alte Vegetationspunkt in der Bildung der neuen auf, im zweiten besteht er als solcher fort. Aus diesen beiden Verzweigungsarten ergeben sich die beiden herrschenden

Verzweigungssysteme, das dichotomische und das monopodiale. Bei typischer Ausbildung des dichotomischen Systems mit gleichmäßiger Fortentwicklung der Gabelzweige kommt ein Gesamtbild zustande, wie es etwa in unserer Fig. 8 (S. 9) *Dictyota dichotoma* aufweist, das sich schematisch durch die Fig. 16 *Aa* ausdrücken läßt. Bei der typischen Ausbildung des monopodialen Systems geht eine Hauptachse, das Monopodium, durch die ganze Verzweigung und trägt schwächere Äste, die ihrerseits mit noch

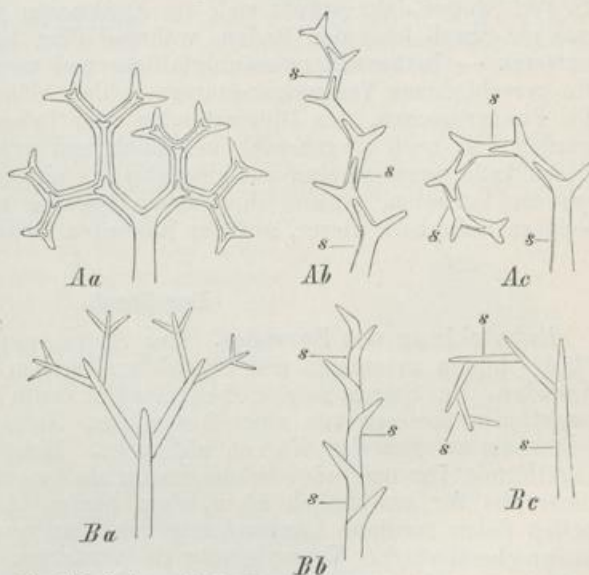


Fig. 16. Schematische Darstellung einiger Verzweigungssysteme. *A* Dichotomische Verzweigung und zwar *Aa* gabelige Dichotomie, *Ab* wickelähnliche Dichotomie, *Ac* schraubelähnliche Dichotomie. *B* Monopodiale Verzweigung und zwar *Ba* falsche Dichotomie, *Bb* Wickel, *Bc* Schraubel. *ss* Zum Sympodium verbundene Podien.

des monopodialen Systems geht eine Hauptachse, das Monopodium, durch die ganze Verzweigung und trägt schwächere Äste, die ihrerseits mit noch

schwächeren Zweigen besetzt sein können. Eine Tanne mag als typisches Beispiel dienen. Das dichotomische System nimmt ein von dem typischen stark abweichendes Aussehen an, wenn bei den aufeinander folgenden Gabelungen stets nur ein Ast gefördert wird. Die geförderten Gabeläste können zusammen eine scheinbare Hauptachse bilden, der die schwächeren Gabeläste wie Seitenäste entspringen. So ist es im Schema *Ab*, und bei den Selaginellen der Fall. Eine solche Scheinachse (*sss*) wird ihrem Ursprung gemäß als Sympodium bezeichnet. Andererseits können bei monopodialer Verzweigung zwei Seitenäste sich stärker als die Hauptachse ausbilden und dadurch der Schein einer Dichotomie, oder bei der Förderung von mehr als zwei Ästen, einer Polytomie entstehen. Man spricht dann von falscher Dichotomie oder Polytomie. Ein schönes Beispiel für falsche Dichotomie gibt die auf unseren Bäumen wachsende Mistel (*Viscum album*) ab; wir sehen es durch das Schema *Ba* vorgeführt. — Wird nur ein Seitenast an der Hauptachse gefördert, während diese zurückbleibt (*Bb*), und stellt er sich in ihre Verlängerung, indem er ihren Scheitel zur Seite drängt, so entsteht ebenfalls ein Sympodium (*ss*). Stämme und Äste mancher unserer Laubbölzer sind solche Sympodien, so bei der Linde oder der Rotbuche. Die Endknospen der Jahrestriebe sterben in solchen Fällen ab, die oberste, kräftig entwickelte Seitenknospe setzt im Frühjahr den vorjährigen Sproß fort, und bald ist an der so erzeugten Scheinachse von ihrem sympodialen Ursprung nichts mehr zu erkennen. Dauernd erkennbar bleibt hingegen der sympodiale Aufbau vielfach an unterirdischen Stammteilen, so den von *Polygonatum multiflorum*, Fig. 23 (S. 19). Jedes Jahr erhebt sich die Endknospe jenes unterirdischen Stammes als Sproß über den Boden, während eine Achselknospe ihn im Boden fortsetzt. — In besonders mannigfaltiger und wechselnder Verbindung sind die verschiedenen Verzweigungsarten in den blütentragenden Sproßsystemen der Phanerogamen, den Blütenständen oder Infloreszenzen, ausgebildet und werden dort noch eingehender behandelt und unterschieden werden. Unter diesen Infloreszenzen sind auch bauchwärts eingerollte, dorsiventralsproßsysteme vertreten, welche ihre neuen Sprosse nicht in den Blattachsen, sondern außerhalb dieser, auf der konvexen Rückenfläche ausbilden.

Der Sproß.

Entwicklung des Sprosses. Der Stamm und die an ihm befindlichen Blätter bilden zusammen den Sproß und stehen in engster Beziehung zueinander. Der Stamm zeigt Scheitelwachstum (Fig. 17), sein Vegetationspunkt gilt, weil er von einer besonderen Hülle nicht bedeckt wird, im Gegensatz zu dem der Wurzel, als nackt. Meist springt der Sproßscheitel kegelförmig vor und wird infolgedessen als Vegetationskegel bezeichnet. Dieser ist für gewöhnlich klein, dem bloßen Auge kaum sichtbar. Wir stellen daher mediane Längsschnitte aus dem Sproßscheitel her, um sie bei entsprechend starker Vergrößerung zu betrachten. Soweit der Sproßscheitel im Innern noch ungesondert erscheint, befindet er sich im embryonalen Zustande. An solchen noch embryonalen Teilen des Vegetationskegels entspringen die Blattanlagen. Sie zeigen sich als Höcker oder Wülste (*f*) und entstehen in akropetaler Reihenfolge, haben daher eine um so bedeutendere Größe aufzuweisen, je weiter sie von dem Scheitel entfernt sind. Da das Wachstum der Blätter im allgemeinen der Streckung der Stammteile vorausseilt, die jungen Blattanlagen sich gegenseitig decken und über dem Vegetationskegel zusammenneigen, bilden sie eine Knospe. Die Knospe

ist somit ein unentwickelter Sproß. Soll sie, wie das beispielsweise bei manchen Winterknospen der Fall ist, eine Zeitlang ruhen, so wird sie in besonderer Weise für die Ruhezeit abgeschlossen.

Anlage neuer Sprosse. Die Bildung neuer Vegetationspunkte durch Gabelung eines älteren Vegetationspunktes, der wir bei der thallophyten *Dictyota dichotoma* (Fig. 8) schon begegnet sind, tritt uns auch bei den niederen thallophyten Lebermoosen, so bei der in Fig. 10 dargestellten *Riccia fluitans*

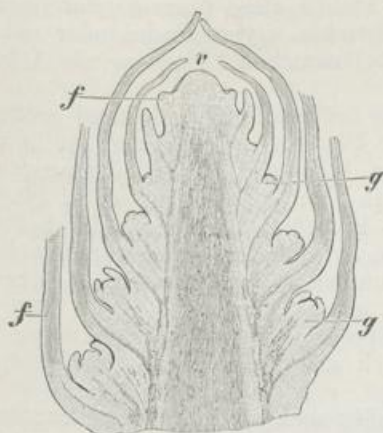


Fig. 17. Sproßscheitel einer phanerogamen Pflanze. Bei p Vegetationskegel, f Blattanlagen, g Achselknospenanlagen. Vergr. 40.

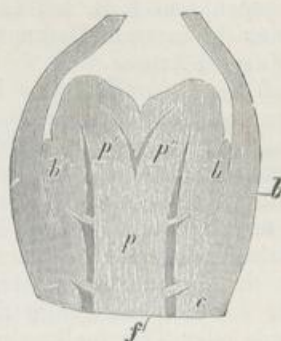


Fig. 18. Ein in zwei gleichstarke Gabeläste (p' und p'') sich fortsetzender Sproß (p) von *Lycopodium alpinum*, im Längsschnitt. b Blattanlagen, c Rinde, f Gefäßtracheiden-Stränge. (Nach HEGELMAIER.) Vergr. 60.

entgegen. Bei den Kormophyten zeigt sie sich im wesentlichen auf die Farnpflanzen (Pteridophyten) beschränkt und zwar in typischer Ausbildung auf einige Vertreter der Bärlappgewächse (Lycopodiaceen). Soll bei solchen Bärlappgewächsen ein Sproß in zwei gleichwertige Sprosse sich gabeln, so wird der kreisförmige Querschnitt seines Vegetationskegels elliptisch und den beiden Brennpunkten der Ellipse entsprechend wölben sich die zwei neuen Vegetationskegel vor (Fig. 18). Bei den meisten Bärlappgewächsen werden bei der Gabelung zwei ungleich starke Sprosse erzeugt und dann erscheint der schwächere gleich seitlich gegen den stärkeren verschoben (Fig. 19). Jede Verzweigung, die in solcher Weise durch Spaltung des Vegetationskegels zustande kommt, bleibt ohne bestimmte Beziehung zu den Blattanlagen. Sonst pflegt eine solche Beziehung vorhanden zu sein. Bei den Moospflanzen (Bryophyten) höchster Entwicklungsstufe, vor allem den Laubmoosen, entstehen neue Sprosse in einiger Entfernung vom Vegetationspunkte schräg unter bestimmten Blattanlagen. Bei den Phanerogamen werden neue Sprosse ganz allgemein in den Achseln der Blätter gebildet. An dem in Fig. 17 dargestellten Längsschnitt sieht man die jüngste Anlage zu einem neuen Sproß (g) in der Achsel des drittobersten Blatthückers sich vorwölben. In den Achseln nächstälterer Blatthöcker sind auch die Sproßanlagen, da sie in akropetaler Folge entstehen,



Fig. 19. Ein in zwei ungleiche Gabeläste (p' und p'') sich teilender Sproß von *Lycopodium inundatum*. b Blattanlagen. (Nach HEGELMAIER.) Vergr. 40.

entsprechend größer und beginnen ihrerseits Blatthücker zu bilden. Solche in den Blattachsen erzeugte Knospen werden als Achselknospen, die aus ihnen hervorgehenden Sprosse als Achselsprosse bezeichnet. Das Blatt, in dessen Achsel sie stehen, ist ihr Tragblatt oder Stützblatt, besser ihr Deckblatt. Im allgemeinen steht die Achselknospe in der Mittellinie ihres Deckblattes, nur selten wird sie seitlich verschoben. Regel ist, daß nur eine Achselknospe in der Achsel ihres Deckblattes auftritt, doch gibt es auch Fälle, wo auf die erste Achselknospe die Bildung anderer, der sogen. Beiknospen folgt. Entweder stehen diese übereinander (seriale Beiknospen), so z. B. bei *Lonicera*, *Gleditschia*, *Gymnocladus* oder nebeneinander (kollaterale Beiknospen), z. B. bei manchen *Liliaceen*, wie *Allium*- und *Muscari*-Arten.

Daß neue Sproßanlagen in wesentlich größerer, oft bedeutend größerer Entfernung vom Vegetationspunkt als die Blatthücker auftreten, ist in den vegetativen, d. h. nur Vegetationsorgane bildenden Teilen phanerogamer Pflanzen eine allgemeine Erscheinung; in den generativen, d. h. blütenbildenden Teilen solcher Pflanzen, pflegt hingegen die Anlage der Sprosse meist unmittelbar jener der Blätter zu folgen oder ihr selbst voranzueilen. Im letzten Falle wird das Deckblatt meist nur schwach entwickelt, ja es kann, wie in den Blütenständen der *Cruciferen*, ganz fehlen.

Die das fortwachsende Ende eines Sprosses abschließende Knospe ist die End- oder Terminalknospe, die seitlich am Sproß angelegten Knospen heißen Seitenknospen.

Sproßanlagen, die an vorbestimmten Stellen noch jugendlicher Pflanzenteile entstehen, werden als normale bezeichnet und solchen gegenübergestellt, welche beliebigen Stellen, sowohl jüngerer als auch älterer Pflanzenteile entspringen. Letztere pflegt man als adventive Bildungen zusammenzufassen. Adventivsprosse sind häufig an alten Stämmen, brechen oft auch als Wurzelbrut aus den Wurzeln von Kräutern (*Brassica oleracea*, *Anemone silvestris*, *Convolvulus arvensis*, *Rumex Acetosella*), oder von Sträuchern (*Rubus*, *Rosa*, *Corylus*) oder Bäumen (*Populus*, *Ulmus*, *Robinia*) hervor, werden selbst an den Blättern mancher Pflanzen, so des Schaumkrautes (*Cardamine pratensis*), der Brunnenkresse (*Nasturtium officinale*), verschiedener Farnkräuter, erzeugt. Eine Verwundung des Pflanzenkörpers regt oft die Bildung von Adventivknospen an. So treten Adventivknospen häufig als Stockausschlag an dem Stumpf gefällter Bäume auf; auch verwerten Gärtner vielfach Adventivknospen, die an Stammstücken, Wurzelstücken oder abgeschnittenen Blättern entstehen, um neue Pflanzen zu erzielen.

Die den jugendlichen Teilen der Mutterpflanze entspringenden Sproßanlagen sind äußeren oder exogenen Ursprungs. Hingegen können Adventivsprosse auch inneren oder endogenen Ursprung haben; sie müssen in einem solchen Falle die äußeren Gewebe der Mutterpflanze durchbrechen, um nach außen zu gelangen. An Stamm- und Wurzelteilen auftretende Adventivsprosse sind vornehmlich endogenen, die an Blättern erzeugten exogenen Ursprungs.

Bei *Bryophyllum*-Arten (*Crassulaceen*) werden in den Kerben des Blattrandes der noch in der Entwicklung begriffenen fleischigen Blätter Sproßanlagen erzeugt. Da sie hier an vorbestimmten Stellen des Pflanzenkörpers entstehen, einem jugendlichen Gewebe ihre Entstehung verdanken und in den normalen Entwicklungsgang der Pflanze gehören, so müßten sie eigentlich als „normale“ Knospen gelten, trotzdem sie aus Blättern hervorgehen. Adventiv dürften im strengen Sinne des Wortes nur solche Knospen heißen, die aus älteren, beliebigen Stellen des Pflanzenkörpers, die in erneute Tätigkeit eintreten, erzeugt werden, so etwa jene Knospen, die an der Basis

abgetrennter Begonienblätter entstehen, welche der Gärtner auf feuchten Boden legte. Doch der Begriff der „normalen Knospen“ wird dessenugeachtet meist enger gefaßt und auf die an den Sproßachsen, im normalen Gang der Entwicklung auftretenden Knospen beschränkt. Es fehlt aber auch bei solchem Einschränken nicht an Beispielen, welche eine scharfe Abgrenzung der normalen von der adventiven Sproßbildung erschweren⁽¹¹⁾.

Während im allgemeinen neue Blattanlagen unter dem fortwachsenden Stammscheitel entspringen, kommen, besonders in der Blütenregion, Ausnahmen vor, in welchen eine Blattanlage terminal auftritt und den Vegetationskegel des Stammes zu ihrer Bildung aufbraucht. So entstehen manche als terminal bezeichnete Staubblätter und Fruchtblätter der Phanerogamen.

An Sproßachsen mit begrenztem Wachstum schreitet in bestimmten Fällen, so im Blütenstand mancher Phanerogamen (*Vallisneria*), die Anlage neuer seitlicher Glieder in umgekehrter Richtung, also vom Scheitel gegen die Basis fort; auch ist dort die Einschaltung neuer seitlicher Glieder zwischen schon vorhandenen in der Blütenregion beobachtet worden⁽¹²⁾.

Für die Anlage normaler Sprosse stellten wir fest, daß sie aus der embryonalen Substanz des Vegetationspunktes ihres Muttersprosses vor sich geht. Entstehen solche Sprosse in größerer Entfernung vom Scheitel (Fig. 17), so läßt sich meist nachweisen, daß embryonale Substanz für ihre Bildung an entsprechenden Orten aufgespart blieb. Auch die Vegetationspunkte der Adventivsprosse werden meist aus embryonaler Substanz erzeugt, die in älteren Teilen des Pflanzenkörpers als solche fortbestand und vermehrt wurde; sie können aber auch aus älteren Geweben hervorgehen, dank deren Fähigkeit in den embryonalen Zustand zurückzukehren und neue Vegetationspunkte zu erzeugen.

Weitere Ausbildung der Sprosse. Auf die Entwicklungsvorgänge, durch welche am Scheitel der Sprosse neue Glieder angelegt werden, folgt deren Größenzunahme und weitere Ausbildung. Diese Wachstumsvorgänge pflegen meist mit einer ausgiebigen Streckung der angelegten Teile zu beginnen, die als Längenwachstum bezeichnet wird; zugleich entfalten sich die Knospen. Die Stelle des stärksten Längenwachstums liegt in einiger Entfernung vom Vegetationspunkte. Das Längenwachstum kann unter Umständen so gering sein, daß die Blätter des Sprosses auch im fertigen Zustande aneinanderstoßen, ohne freie Stammteile zwischen sich zu lassen. Demselben Gewächs können gestreckte Langtriebe und gestauchte Kurztriebe zukommen. Letztere haben meist kürzere Lebensdauer, pflegen sich nicht zu verzweigen und nehmen bei Bäumen am Aufbau des bleibenden Gerüsts keinen Anteil: so bei der Lärche, welche die Kurztriebe in Gestalt dichter Nadelbüschel an ihren Langtrieben trägt.

Den Blättern stellt man den Stamm als Sproßachse oder kurzweg als Achse gegenüber. Die zwischen den Ansatzstellen der Blätter befindlichen Achsenstücke bezeichnet man als Stammglieder, oder als Stengelglieder, Internodien; die Achsenstücke, welche die Blätter tragen, nennt man Knoten, Nodi. Wenn die Blätter mit ihrer Basis den Stengel umfassen, oder wenn sie zu mehreren in gleicher Höhe entspringen, pflegt der Knoten, der sie trägt, angeschwollen zu sein: so bei vielen Lippenblütlern (*Labiates*).

Bei manchen Pflanzen hält das Längenwachstum des Sprosses an älteren Stellen längere Zeit an. Ein solches Wachstum bezeichnet man als interkalar. Meist ist es auf die Basis der Internodien eingeschränkt: so bei den Gräsern. — Interkalare Wachstumsvorgänge können Verschiebungen bewirken, durch welche die ursprünglichen Beziehungen der Glieder eine Änderung erfahren. So gibt es Fälle, in welchen die Knospen den Achseln ihrer Deckblätter entrückt werden, die einzelne Knospe daher höher am Stengel als ihr Deckblatt zu stehen kommt. Es kann auch das Deckblatt bei seinem Wachstum die Achselknospe mitnehmen, so daß der Achsel-

sproß auf das Deckblatt hinaufgelangt; oder es rückt das Deckblatt, wie in Fig. 20, auf seinen Achselsproß hinauf und scheint ihm selbst anzugehören.

An dem Jahreszuwachs der Bäume, d. h. den innerhalb einer Vegetationsperiode erzeugten Sprossen, sind die untersten Internodien, und zwar namentlich die, welche zwischen den Knospenschuppen lagen, besonders kurz. Sie weisen die dicht gedrängten Schuppennarben auf und lassen so die Grenzen der aufeinander folgenden Jahrestriebe erkennen.

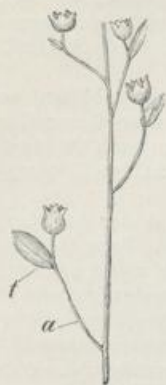


Fig. 20. *Samolus Valerandi*, die Tragblätter *t* an den Achselsprossen *a* emporgerückt. Fructifizierende Pflanze. Jeder Achselsproß schließt mit einer Frucht ab. Nat. Gr.



Fig. 21. Winterknospen der Rotbuche (*Fagus sylvatica*). *kns* Knospenschuppen. Nat. Gr.

Ruhende Knospen. Zur Überwinterung in unseren Breiten bestimmte, der Luft ausgesetzte Knospen (Fig. 21) unserer Sträucher und Bäume werden fast stets von schuppenförmigen Blättern umschlossen, die man Knospenschuppen nennt, und die, vermöge ihres Baues, vornehmlich Schutz gegen Verdunstung und damit auch gegen Austrocknung gewähren. Haarüberzüge, Harz- und Gummiausscheidungen, sowie eingeschlossene Luftschichten unterstützen diese Leistung. Nicht selten ist das Deckblatt an dem Schutz seiner Achselknospe beteiligt, indem der Grund seines Blattstieles nach dem Blattfall am Sproß verbleibt und kappenförmig die Winterknospe deckt. Ähnlich wie unsere Winterknospen werden die Knospen tropischer Holzgewächse, welche eine Trockenperiode überdauern sollen, abgeschlossen. In tropischen Gegenden mit gleichmäßig über das Jahr verteilten Niederschlägen pflegt ein besonderer Knospenabschluß nicht ausgebildet zu werden.

Bei zahlreichen Laubbölzern, so z. B. den Weiden, sterben die Endknospen der Triebe regelmäßig ab. — Fast jeder Baum besitzt, namentlich im unteren Teile seiner Jahrestriebe, zahlreiche sog. „schlummernde“ oder „schlafende“ Knospen, „Augen“, die kürzere oder längere Zeit entwicklungsfähig bleiben und zur Entfaltung nur gelangen, wenn sich der Bedarf dazu einstellt. Bei der Eiche, Rotbuche können schlummernde Knospen bis hundert Jahre alt werden. Die Ansatzstelle solcher Knospen im Stamm wird verlängert, so daß sie in dessen Peripherie verbleiben. Vielfach sind es daher Sprosse aus solchen Knospen und nicht Adventivsprosse, welche aus alten Stämmen hervorgehen. Es kommt vor, daß die Verbindung der schlummernden Augen mit dem Holzkörper des Mutterstammes unterbrochen wird, daß sie trotzdem fortfahren in die Dicke zu wachsen und sich mit eigenen Holzschichten zu umgeben. Dann bilden sie jene merkwürdigen „Kugeltriebe“ innerhalb der Rinde, die hübnereigroß werden können und sich leicht von dem umgebenden Gewebe lösen; so die Kugeltriebe der Rotbuche und die sog. Eier des Ölbaums.

Metamorphose der Knospen. Eine besondere Veränderung erfahren die Knospen, wenn sie als Brutknospen oder Bulbillen ausgebildet werden. Infolge ihrer starken Anfüllung mit Nährstoffen erhalten sie meist die Gestalt kleiner Knöllchen.

Sie fallen von ihrer Mutterpflanze ab und tragen so zur Verbreitung der Art bei. Die mit Bulbillen versehenen Pflanzen führen oft danach ihren Namen: so *Lilium bulbiferum*, oder *Dentaria bulbifera* (Fig. 22).

Metamorphose unterirdischer Sprosse. Charakteristisch verändert sind solche Sprosse, die unterirdisch leben. Sie werden als Wurzelstücke oder Rhizome bezeichnet. Mit Hilfe solcher Rhizome überwintern viele unserer ausdauernden, krautartigen Gewächse, die sog. Stauden, im Boden. Im Boden verbleibende Blätter der Rhizome sind, ihrem Aufenthaltsort gemäß, zu größeren oder kleineren, unter Umständen kaum sichtbaren Schuppen reduziert. An solchen Schuppen oder ihren Narben, dem Vorhandensein regelmäßig verteilter Knospen, dem Fehlen einer Wurzelhaube, endlich an ihrem inneren Bau sind die Rhizome von Wurzeln zu unterscheiden. Meist pflegen aus den Rhizomen zahlreiche Wurzeln zu entspringen, in seltenen Fällen können letztere aber auch fehlen und das Rhizom selbst die Funktion der Wurzeln übernehmen. Die Rhizome zeigen oft nicht unbeträchtliche Dicke, um die Nahrungsstoffe aufnehmen zu können, die das Material für die Bildung oberirdischer Triebe abgeben sollen. So stellt Fig. 23 den Wurzelstock von *Polygonatum multiflorum*, Salomonssiegel genannt, dar. Die mit *c*, *d* und *e* bezeichneten Stellen entsprechen den Narben der oberirdischen Triebe dreier vorausgegangener Jahre. In *b* ist die Basis des Stengels zu sehen, der in Blüte stand, als das Rhizom dem Boden entnommen wurde; *a* ist die Knospe für den nächstjährigen Trieb. In Fig. 24 ist das als Wurzel tätige Rhizom einer in Humusboden wachsenden einheimischen



Fig. 22. Zwiebeltragende Zahnwurz (*Dentaria bulbifera*) mit Brutknospen *br*. Nat. Gr.

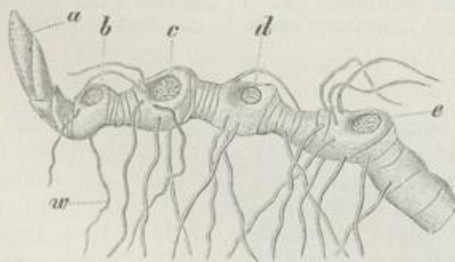


Fig. 23. Rhizom von *Polygonatum multiflorum*. *a* Knospe für den nächstjährigen oberirdischen Trieb, *b* Narbe des diesjährigen, *c*, *d* und *e* Narben der drei vorausgegangenen Jahre, *w* Wurzeln. Auf $\frac{3}{4}$ verkleinert.

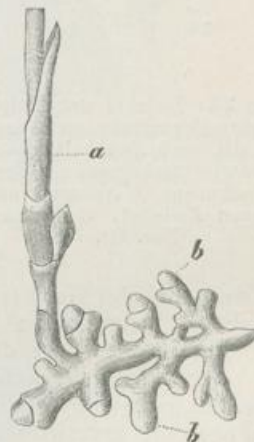


Fig. 24. Rhizom von *Coralliorrhiza innata*. Bei *a* Blütenschaft, bei *b* Anlagen neuer Rhizomzweige. (Nach SCHACHT.) Nat. Gr.

Orchidee, der *Coralliorrhiza innata*, vorgeführt. — Zu den unterirdischen metamorphosierten Sprossen gehören auch die Zwiebeln (Bulbi). Sie stellen einen verkürzten Sproß vor, dessen Achse scheibenförmig

als sog. Zwiebelkuchen (Fig. 25 *zk*) abgeflacht ist, und dessen fleischig angeschwollene Blätter, die Zwiebelschuppen (*xs*), mit Nahrungsstoffen angefüllt sind. Aus der Achse dieser Zwiebel entwickelt sich der oberirdische Trieb. Eine neue Zwiebel geht aus einer Knospe (*k*) in der Achsel einer Zwiebelschuppe hervor. — Den Zwiebeln verwandt und mit ihnen durch Übergänge verbunden, sind die Knollen (Tubera). In der typischen Knolle ist, im Gegensatz zu der Zwiebel, die Achse fleischig angeschwollen und dient als Nährstoffbehälter, während die Blätter nur dünn und schuppenförmig sind. Die Knollen der Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) oder des Safrans (*Crocus sativus*) lassen sich als Beispiele anführen. An der alten Knolle

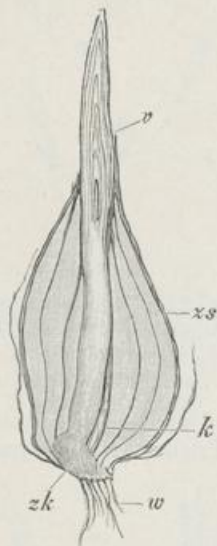


Fig. 25. Zwiebel der Tulpe (*Tulipa Gesneriana*) im Längsschnitt. *zk* Zwiebelkuchen, *xs* Zwiebelschuppen, *v* Terminalknospe, *k* Anlage einer jungen Zwiebel, *w* Wurzel. Nat. Gr.

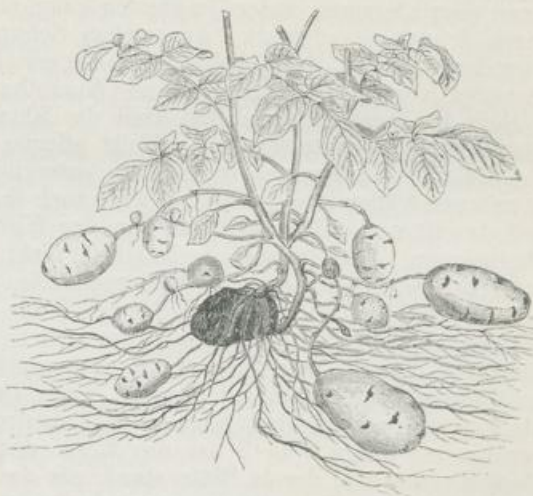


Fig. 26. Unterer Teil einer Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum*). Die mittlere dunklere Knolle ist die in die Erde gesteckte Mutterknolle, aus der sich die Pflanze entwickelt hat. $\frac{1}{3}$ nat. Gr. Nach der Natur mit Benutzung eines BAILLONSchen Bildes.

entsteht bei der Herbstzeitlose die neue, aus einer Achselknospe, seitlich an der Basis; beim Safran aus einer Achselknospe nahe am Scheitel; daher tritt bei der Herbstzeitlose die alte Knolle seitlich neben der alten auf, während sie beim Safran ihr aufgesetzt erscheint. — Die Knollen der Kartoffelpflanze (Fig. 26), oder der knolligen Sonnenblume (*Topinambur*, *Helianthus tuberosus*) sind ebenfalls unterirdische Sprosse mit angeschwollener Achse und reduzierten Blättern. Sie entstehen in Mehrzahl aus den angeschwollenen Enden verzweigter unterirdischer Triebe, der sog. Ausläufer (*Stolones*) und gelangen so in angemessene Entfernung von der Mutterpflanze. Die an jeder Kartoffelknolle sichtbaren, regelmäßig verteilten Vertiefungen bergen Achselknospen, sog. Augen, die bestimmt sind, im kommenden Jahr auszutreiben. Die kleinen schuppenförmigen Blätter, in deren Achseln die Augen entstehen, sind nur an ganz jungen Knollen kenntlich. Nach Ausbildung der Knollen geht die Mutterpflanze zugrunde; die in den Knollen angehäuften

Nahrungsstoffe dienen dann zum Aufbau der aus den Augen sich entwickelnden Triebe. Da die Knollen einer wilden Kartoffelpflanze im Boden verbleiben und einer größeren Anzahl von Pflanzen den Ursprung geben, so ist es von Vorteil, daß sie durch die Ausläufer auseinander gerückt werden.

Metamorphose oberirdischer Sprosse. Ähnliche Vorteile wie aus der Bildung stark verlängerter unterirdischer Sprosse erwachsen andern Pflanzen aus der Bildung oberirdischer Ausläufer. Solche wachsen beispielsweise aus den grundständigen Internodien der Erdbeerpflanzen hervor. Sie tragen schuppenförmige Blätter, treiben aus einzelnen Knoten Wurzeln, die in den Boden dringen, und bilden an denselben Knoten aus den Achselknospen neue Pflänzchen, die durch späteres Absterben der Ausläufer selbständig werden.



Fig. 27. Zweig von *Ruscus aculeatus*.
f Blatt, cl Phyllocladium, bl Blüte.
Nat. Gr.

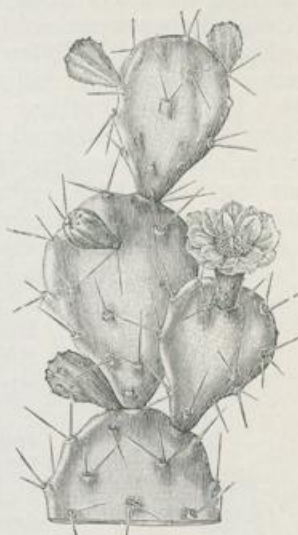


Fig. 28. *Opuntia monacantha* Haw. Mit
Blüte und Früchten. (Nach SCHUMANN.)
Etwa fünfmal verkleinert.

Eine auffällige Veränderung hat der oberirdische Sproß erfahren, wenn seine Achse abgeflacht ist und blattähnliche Gestalt besitzt. Dann vollzieht er auch die Funktionen eines Blattes und legt nur noch reduzierte Blätter an. Solche blattartige Sprosse werden als Flachsprosse, Cladodien und Phyllocladien bezeichnet und zwar schlägt GÖBEL vor, jene Flachsprosse, die gleichzeitig begrenztes Wachstum aufweisen und dadurch besonders blattähnlich werden, Phyllocladien, andere verbreiterte Sproßachsen Cladodien zu nennen. Ein lehrreiches Beispiel für Phyllocladien gibt *Ruscus aculeatus* ab, ein kleiner Strauch, der an seinen Zweigen (Fig. 27), in der Achsel schuppenförmiger Blätter (f), breite, in eine scharfe Spitze auslaufende Phyllocladien (cl) trägt, die durchaus den Eindruck von Blättern machen. Der Oberfläche dieser Phyllocladien entspringen in der Mittellinie, annähernd in ihrer halben Länge, aus der Achsel eines schuppenförmigen Blattes eine bis zwei Blüten. Eine blattartige Abflachung des gesamten massig entwickelten Stammes, also Cladodien, mit Verengung an den Verzweigungsstellen, zeigen uns die bekannten Opuntien (Fig. 28). An ihren Flachsprossen sind die Blätter zu Dornen

umgewandelt. Diese saftigen Flachsprosse dienen nicht allein den Assimilationsvorgängen, sondern auch der Wasserspeicherung für Zeiten der Dürre.

Es kann andererseits eine Pflanze ihre Blätter mehr oder weniger vollständig einbüßen, ohne daß die Achsenteile ihrer Sprosse sich in irgendwie auffälliger Weise verdicken oder abflachen. Nur sind alsdann ihre Sprosse grün gefärbt; so z. B. beim Besenstrauch (*Spartium scoparium*), der an seinen langen rutenförmigen Zweigen nur vereinzelte, hinfällige, lanzettliche Blättchen entwickelt. Meist pflegen aber blattlose, grüne Phanerogamen angeschwollene Stämme aufzuweisen: so die säulenförmigen, prismatischen oder zylindrischen, keulen- oder kopfförmigen Euphorbien und Kakteen.

Reduktion der Sprosse bei Parasiten. Eine starke Reduktion der Blätter, vielfach aber auch der Stammteile, ist bei phanerogamen Parasiten infolge parasitischer Lebensweise erfolgt. An dem sogen. Teufelszwirn, den *Cuscuta*-Arten (Fig. 202b), sind Blätter nur noch als ganz kleine, gelbliche Schuppen vorhanden und auch der fadenförmige Stengel ist nicht grün, sondern gelb gefärbt. Die grüne Färbung ist überflüssig geworden, da der Teufelszwirn sich nicht selbst die Nahrung zu bereiten braucht, sondern sie aus andern Pflanzen schöpft. Besonders verbreitet kommt *Cuscuta Trifolii*, die Kleeseide, vor, ein auf dem Klee gefürchteter Parasit, der in den Kleefeldern oft weit sichtbare gelbe Fadengewirre bildet. Bei gewissen tropischen Parasiten aus der Familie der *Rafflesiaceen* wird schließlich der Sproß im wesentlichen auf die Blüten reduziert. So sieht man auf Sumatra die größte der bekannten Blüten, die bis zu 1 m Durchmesser erreichende Blüte der *Rafflesia Arnoldi*, den Wurzeln ihrer rebenartigen Nährpflanze, einer *Cissus*-Art, unmittelbar aufsitzen.



Fig. 29. *Ampelopsis Veitchii*.
R R Sproßranken. $\frac{3}{4}$ nat. Gr.

Sproßranken. Eine ganz eigene Gestaltsänderung haben bestimmte Sprosse klimmender Pflanzen erfahren bei ihrer Umbildung zu Ranken. Solche Ranken dienen dem emporklimmenden Stamm als Befestigungsorgane und zwar, indem sie fremde Stützen umschlingen oder an ihnen festhaften. Es sind das beispielsweise am Weinstock die fadenförmigen, zweiarmigen Gebilde, die der Weinbauer als „Gabeln“ bezeichnet. Bei gewissen Abarten des wilden Weins (*Ampelopsis hederacea*) und anderen Arten der Gattung *Ampelopsis*, so *Ampelopsis Veitchii* (Fig. 29), sind die Rankenzweige befähigt, an ihren Enden Haftscheiben auszubilden und sich mit diesen auch an flachen Stützen zu befestigen.

Sproßdornen. Eine starke Reduktion der Sprosse erfolgt bei ihrer Umbildung zu Dornen. Solche Dornen dienen dem Schutz der Pflanze gegen Tierfraß. Sie treten in lehrreicher Ausbildung bei dem Schwarzdorn (Schlehdorn, *Prunus spinosa*), dem Weißdorn (*Crataegus oxyacantha*), oder den in unseren Gärten häufig kultivierten *Gleditschien* (Fig. 30) auf. Die Dornen sind einfach oder verzweigt, hart und scharf zugespitzt; sie gehen bei den *Gleditschien* aus serial (S. 15) angelegten Achselknospen hervor und zwar ist es nur die oberste dieser Knospen, die sich an jungen Zweigen zum

Dorn ausbildet, während an älteren Stammteilen stellenweise auch noch tiefer stehende Knospen ihrem Beispiel folgen, so daß Dornenbüschel entstehen. — Bei *Colletia cruciata*, einer strauchartigen amerikanischen Rhamnacee, die an trocknen, sonnigen Standorten wächst, sind alle Sproßachsen dornartig ausgebildet, zugleich etwas abgeflacht und grün; sie schützen nicht allein die Pflanze, sondern ersetzen auch die bald abfallenden kleinen Blätter.

Blüten. Die stärksten Veränderungen der Gestalt der Sprosse, verbunden mit Verwachsungen und Verschiebungen der Teile, haben sich bei der Ausbildung der phanerogamen Blüten vollzogen (Fig. 39). Man hat die zu Blüten entwickelten Sprosse als Blüten sprosse im Gegensatz zu den nur vegetativen Funktionen dienenden Laubsprossen bezeichnet. Bei der Umwandlung zum Blüten sproß erfuhr die Sproßachse nicht nur eine starke Verkürzung, sondern auch eine Abflachung, unter Umständen auch eine Aushöhlung. Die Blattgebilde, welche der Blütenachse entspringen, sind ihrerseits oft untereinander und in manchen Fällen auch mit der Achse verwachsen und eingehende vergleichende morphologische und entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen sind dann nötig, um die Phylogenie der Veränderung aufzudecken. Als allgemeine Regel kann gelten, daß, von Mißbildungen abgesehen, Achselknospen innerhalb einer Blüte nicht gebildet werden.

Sproßfolge. Ist der erste Vegetationskegel einer Pflanze, nach entsprechender Erstarkung, schon zur Bildung der Fortpflanzungsorgane befähigt, so wird die Pflanze einachsige (haplokaulisch) genannt. Meist kommt aber erst Achsen zweiter, dritter, vierter oder n-ter Ordnung diese Fähigkeit zu. Demgemäß ist die Pflanze zweiachsige (diplokaulisch), dreiachsige (triplokaulisch), oder n-achsige. Man bezeichnet diese Aufeinanderfolge ihrer Achsen als Sproßfolge. Als Beispiel einer einachsigen Pflanze kann der Mohn dienen, der schon seinen ersten, aus dem Keim hervorgegangenen Sproß mit einer Blüte, demjenigen Gebilde somit, welches bei den Phanerogamen die Geschlechtsorgane birgt, abschließt. Als Beispiel einer dreiachsigen Pflanze kann der große Wegerich, *Plantago major*, angeführt werden, der an seiner ersten Achse, nach den Niederblättern, nur Laubblätter, an den Achsen zweiter Ordnung nur Hochblätter trägt und aus den Achseln der letzteren die mit Blüten abschließenden Achsen dritter Ordnung erzeugt. An unseren Bäumen sind erst Sprosse n-ter Ordnung befähigt Blüten zu erzeugen. So pflegt in der Sproßordnung verzweigter Pflanzen eine Arbeitsteilung vorzuliegen, die sich meist auch in einer entsprechenden Ausgestaltung der Sprosse zu erkennen gibt. Sie zeigen verschiedene Tracht, je nachdem sie vornehmlich im Dienste der Ernährung, der Speicherung, oder der Fortpflanzung stehen. Außer den Gliedern, die in der Sproßfolge notwendigerweise durchlaufen werden müssen und die als wesentliche gelten, gibt es auch unwesentliche, welche schon vorhandene Sproßordnungen wiederholen. Entweder treten sie als Bereicherungssprosse zugleich mit den wesentlichen Sprossen auf, so bei vielen einjährigen Gewächsen, oder sie entfalten sich als Erneuerungs- oder Innovationsprosse alljährlich am Pflanzenstock, so bei den mehrjährigen Gewächsen. Adventive Sprosse wiederholen im allgemeinen schon vorhandene Glieder



Fig. 30. Stammdorn von *Gleditschia triacanthos*.
1/2 nat. Gr.

des Pflanzenkörpers; nur ganz ausnahmsweise, so bei Podostemonaceen, einer wasserbewohnenden dikotylen Familie der Tropen von auffälligem flechten- oder lebermoosartigem Aussehen, bilden sie notwendige Glieder in der Sproßfolge, weil die geschlechtliche Fortpflanzung an sie geknüpft ist.

Der Habitus. Ursprung, Zahl, Dauer und Ausbildung der Verzweigungssysteme, Vorhandensein und Menge der unwesentlichen Sprosse, bestimmen das Aussehen, den sog. Habitus der Pflanze. Die als Kräuter bezeichneten Kormophyten bilden krautartige, oberirdische Sprosse, oder Obersprosse, von der Dauer meist einer, beziehungsweise von zwei oder mehr Vegetationsperioden, die nach erfolgter einmaliger Fruchtbildung absterben und damit ihre Entwicklung vollenden. Die als Stauden unterschiedenen Pflanzen besitzen ausdauernde Rhizome oder Wurzeln, die im Boden überwintern und alljährlich Erneuerungssprosse bilden, die als krautartige Obersprosse nach einmaliger Fruchtbildung absterben. Die als Sträucher und Bäume bezeichneten Holzgewächse bestehen aus holzbildenden, ausdauernden Obersprossen, die wiederholt fruktifizieren. Ihre fruktifizierenden Sproßteile werfen sie alljährlich ab, manche auch, wie z. B. die Linde die Endstücke der beblätterten Zweige, oder wie die Kiefer die Kurztriebe, oder wie die Eichen, Ulmen, Weiden, Pappeln schwächere Seitenzweige, während die übrigen Achsen sich weiter verdicken und als Astwerk erhalten bleiben. Bei immergrünen Holzgewächsen bleiben die Blätter länger als ein Jahr am Leben, während sie bei laubwerfenden nur eine Vegetationsperiode dauern. Die Holzgewächse heißen Sträucher, wenn alle Zweige erhalten bleiben, so daß die Verzweigung vom Boden aus anhebt; sie heißen Bäume, wenn die unteren Zweige bald verloren gehen und ein Hauptstamm zur Ausbildung kommt, der oben eine Krone von Ästen und Zweigen trägt. Bei vielen Bäumen, Sträuchern und Kräutern wächst der Hauptsproß senkrecht aufwärts fort, während die Seitensprosse sich seitwärts wenden und eine mehr oder weniger horizontale, beziehungsweise eine schräg aufwärts oder abwärts gerichtete Stellung annehmen. In anderen Fällen setzen bevorzugte Seitenäste den Hauptsproß fort, um eine Scheinachse zu bilden, die als Hauptstamm ausgestaltet wird (S. 13); oder ein solcher Hauptstamm kommt überhaupt nicht zur Ausbildung und der Pflanzenkörper weist eine Mehrzahl gleichgerichteter Äste auf. Richtung und Stärke der Äste und der laubtragenden Zweige bedingen das Aussehen eines Pflanzenkörpers. Wenn alle Äste und ihre Zweige stark emporgerichtet sind, pflegt der Hauptstamm sich auch bedeutend zu strecken, und es kommen pyramidale Pflanzenformen zustande; bei starker Divergenz der Verzweigung entstehen ovale und runde Gestalten. Der Habitus unserer Baumkronen wird durch diese Verschiedenheiten bestimmt. Ein Herabhängen der Zweige bedingt andererseits Trauerformen. — Nicht selten weisen krautartige Pflanzen kriechende Stengel auf, die an der Oberfläche des Bodens fortwachsen; bei ihnen sowohl wie bei Holzgewächsen kommen kletternde Formen vor, deren Sprosse in verschiedener Weise an fremder Stütze emporklimmen. Das Klettern wird durch widerhakenförmige Haare, Stacheln und Sprosse, durch Wurzeln, Ranken und durch windende Bewegungen bewerkstelligt. Die kletternden Gewächse bezeichnet man als Lianen, ihre windenden Formen als Schlingpflanzen. Die tauartigen Stämme der Lianen sind es, die den Urwald der Tropen in ein undurchdringliches Dickicht verwandeln. An kriechenden Stengeln pflegen die Blätter meist nach der Rückenseite verschoben zu sein, während ihrer Bauchseite Wurzeln, den Flanken neue Sprosse entspringen.

Die Lebensdauer der Gewächse wird in Pflanzenbeschreibungen und Katalogen gewöhnlich durch eigene Zeichen ausgedrückt. $\odot$ bedeutet dabei eine einjährige „annuelle“ Pflanze, $\odot$ eine zweijährige „bienne“, $\ddagger$ eine ausdauernde „perennierende“ Staude, b einen Strauch oder Baum. Für letztere Wuchsform ist auch das zweimal durchstrichene Zeichen b in Gebrauch.

Anlage des Blattes. Wir sahen die Blattanlagen in Gestalt von Höckern oder Wülsten am Vegetationskegel der Sprosse auftreten (Fig. 17f). Diese ihre Gestalt wird noch deutlicher, wenn wir den Vegetationskegel nicht auf Längsschnitten, sondern an einem Querschnitt in Scheitelansicht betrachten (Fig. 31). Für gewöhnlich nimmt eine Blattanlage nur einen Teil des Umfanges des Vegetationskegels in Anspruch, doch kommt es auch vor, daß sie als ringförmiger Wall den ganzen Vegetationskegel umfaßt. Wenn Blätter in Wirteln stehen, können ihre Anlagen als einziger kreisförmiger Wall in die Erscheinung treten und sich weiterhin erst sondern. Die Blätter nehmen aus dem Gewebe der embryonalen Sproßvegetationspunkte oder noch ungesonderter Keimanlagen ihren Ursprung. Aus älteren Geweben treten sie niemals unmittelbar hervor. Da geht ihrer Bildung die Anlage eines neuen Sproßvegetationspunktes voraus. Dem Vegetationspunkt eines Sprosses kommt im allgemeinen ein unbegrenztes, den Blattanlagen im allgemeinen ein begrenztes Wachstum zu. Auch pflegt eine Blattanlage meist nur kurze Zeit an ihrer Spitze zu wachsen, vollzieht dann ihre Gliederung und Ausbildung durch interkalares Wachstum, das an ihrer Basis lokalisiert zu sein pflegt. Freilich gibt es auch Blätter, vor allem die der Farnpflanzen, die Scheitelwachstum besitzen, längere Zeit, ja in einigen Fällen (*Lygodium*-Arten) fast unbegrenzt, fortwachsen und ihre seitlichen Glieder scheidelwärts anlegen. Andererseits weist das blattähnliche Phyllocladium, das wir als einen metamorphosierten Sproß erkannten, auch begrenztes Scheitelwachstum, wie sonst phanerogame Blätter, auf.

Wir haben bereits erfahren, daß in bestimmten Fällen Blätter auch terminal aus einem in ihrer Bildung sich aufbrauchenden Sproßvegetationskegel hervorgehen können. So vermag auch der Scheitel mancher Farnblätter (*Adiantum Edgeworthii*) unmittelbar in der Bildung einer Sproßanlage aufzugehen⁽¹³⁾.

Die zunächst ungegliederte Blattanlage der Phanerogamen, die sich als seitlicher Auswuchs am Vegetationskegel (Fig. 32 A, *v*) des Sprosses erhebt und die EICHLER⁽¹⁴⁾ als Primordialblatt bezeichnete (*A*, *b*), pflegt eine Sonderung in den Blattgrund (*A* und *B*, *g*) und in das Oberblatt (*A* und *B*, *o*) zu erfahren. Als Blattgrund gilt derjenige Teil der Anlage, der dem Vegetationskegel unmittelbar aufsitzt. Er nimmt an der weiteren Differenzierung des Blattes entweder keinen Anteil mehr, oder er entwickelt

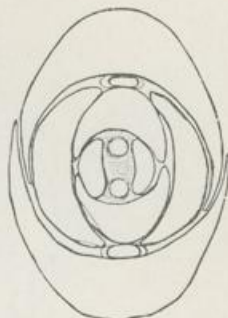


Fig. 31. Scheitelansicht eines Sproßvegetationskegels von *Evonymus japonicus*. Vergr. 12.

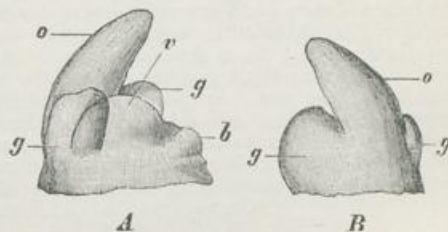


Fig. 32. Blattentwicklung bei der Feld-Ulme (*Ulmus campestris*). A Der Vegetationskegel *v*, mit zwei Blattanlagen. Die jüngste Blattanlage *b* noch ungegliedert, die nächstältere gegliedert in Oberblatt *o* und Blattgrund *g*. B Das ältere Blatt von A, schräg von außen gesehen. Vergr. 58.

sich zu einer Blattscheide (Vagina) oder zu Nebenblättern (Stipulae) (Fig. 32 *A* und *B, g*). Aus dem Oberblatt geht andererseits die Blattspreite (Lamina) hervor. Wo ein Blattstiel (Petiolus) entsteht, wird er nachträglich durch interkalares Wachstum zwischen Oberblatt und Blattgrund eingeschaltet.

Die Blattspitze pflegt in ihrer Entwicklung dem übrigen Blatt voranzueilen, worin K. GÖBEL⁽¹⁵⁾ eine Einrichtung zum Schutz der jüngsten Knospenteile erblickt. Besonders

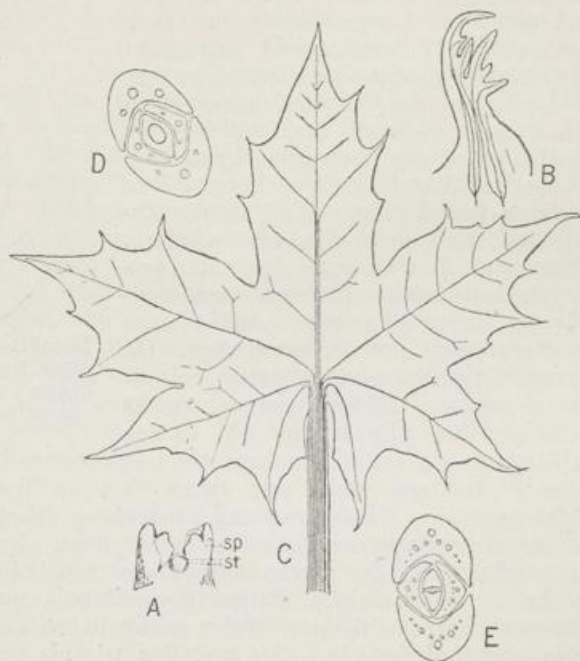


Fig. 33. *Acer platanoides*. *A* Außenansicht einer Knospe mit zwei Blattanlagen, zwischen denen der Vegetationskegel des Sprosses zu sehen ist. In *sp* die Blattspreite, an der fünf Abschnitte angelegt sind, von denen der oberste Abschnitt zuerst ausgebildet wurde. In *st* die Zone, durch deren Wachstum der Blattstiel später entstehen soll. *B* Älteres Blatt von der Seite, die Stränge in seinem Innern stellen die Gefäßbündelanlagen vor, die später auch äußerlich die Nervatur bestimmen sollen. *C* Ausgewachsenes Blatt mit schematischer Darstellung des Gefäßbündelverlaufs. *D* Querschnitt durch den basalen Teil einer Knospe, mit je drei Gefäßbündelanlagen in jedem Blatt. *E* Höher geführter Querschnitt durch eine Knospe, die Zahl der Gefäßbündelanlagen durch Verzweigung innerhalb der Blätter vermehrt. Nach DEINEGA aus Goebels Organographie. *A, B* und *E* schwach vergrößert.

auffällig ist dieses Vorseilen der Blattspitzen bei verschiedenen tropischen Gewächsen, besonders Kletterpflanzen. Dort fällt ihnen nach M. RACIBORSKI⁽¹⁶⁾, der sie Vorläufer-spitzen nennt, auch die Aufgabe zu, vor der Fertigstellung des Blattes schon die Funktionen der Blattspreite zu vollziehen.

An Spreitenanlagen, die nicht einfach bleiben, vielmehr während ihrer weiteren Entwicklung eine Gliederung erfahren, werden die seitlichen Abschnitte meist in basipetaler Richtung, also von der Spitze gegen die Basis fortschreitend, angelegt (Fig. 33), doch ist auch eine entgegengesetzte Entwicklungsrichtung nicht ausgeschlossen. Die Abschnitte der fächerförmigen und fiederförmigen Palmenblätter entstehen andererseits durch Trennungsvorgänge, die sich innerhalb der zunächst ungeteilten Spreitenanlage vollziehen. Die Richtung der Trennungslinien wird durch die Faltungen bestimmt, welche die Spreitenanlage zunächst erfährt⁽¹⁷⁾.

Verschiedene Ausgestaltung des Blattes. Am weitesten haben es in dieser Beziehung die Phanerogamen gebracht. Ihre Blätter zeigen in verschiedenen Regionen des Stockes eine verschiedene Ausgestaltung und werden als Niederblätter, Laubblätter, Hochblätter und Blütenblätter unterschieden (Fig. 34). Die Aufeinanderfolge, welche in dieser Ausbildung eingehalten zu werden pflegt, bezeichnet man als Blattfolge. Bei ihrer Anlage stimmen die Blätter einer Pflanze überein, so verschieden ihre spätere Ausbildung auch werden mag. Da die Niederblätter und Hochblätter oft nachweisbar Hemmungsgebilde von Laubblättern sind, so halten wir uns zunächst an letztere.

Laubblätter sind jene meist besonders stark entwickelten Blattgebilde, denen vor allem die Aufgabe zufällt, für die Ernährung der Pflanze zu sorgen. Da diese Funktion an das Vorhandensein des grünen Farbstoffes gebunden ist, so zeigen sie demgemäß grüne Färbung. Ihre Gestalt kann unter Umständen sehr einfach sein, so bei den nadelförmigen Blätter (Nadeln) führenden Nadelhölzern (Koniferen). In solchem Falle braucht tatsächlich das Primordialblatt nur an Größe zuzunehmen und sich entsprechend zu verlängern, ohne in anderweitige Gliederung einzugehen. Bei anderen ungeteilten lanzettlichen, elliptischen, eiförmigen oder sonstwie gestalteten Blättern ist die flache Spreite meist vom Blattgrunde gesondert und vielfach zwischen diese Spreite und den Blattgrund noch ein Stiel (Fig. 33, 37 s) eingeschaltet. Fehlt der Stiel, so heißt das Blatt sitzend, ist er vorhanden, gestielt.

Die ungestielten Blätter sitzen meist mit breiter Basis dem Stengel an. Greift diese Basis jederseits noch um den Stengel, so ist das Blatt stengelumfassend: so beim Mohn (*Papaver somniferum*); umgibt sie geschlossen den Stengel, dann heißt das Blatt durchwachsen: so bei *Bupleurum*-Arten. Sind zwei gegenüberstehende Blätter am Grunde verbunden, dann heißen sie verwachsen: so beim Geisblatt (*Lonicera Caprifolium*). Setzt sich die Spreite abwärts am Stengel flügelartig fort, so wird das Blatt als herablaufend bezeichnet, wie beim großblumigen Wollkraut (*Verbascum thapsiforme*). Der Blattstiel, wenn vorhanden, geht entweder ohne scharfe Abgrenzung in den Blattgrund über oder er schwillt an seiner Basis an und bildet ein Blattkissen oder Blattpolster, das gelenkartig mit dem Blattgrunde verbunden ist: so bei vielen Leguminosen. Die Blattspreite ist ihrerseits vom Blattstiel entweder scharf abgesetzt, oder sie läuft an ihm herab, so daß er geflügelt wird, oder sie verbreitert sich auch noch in Lappen an seinem Grunde, so daß er geöhrt erscheint. An der

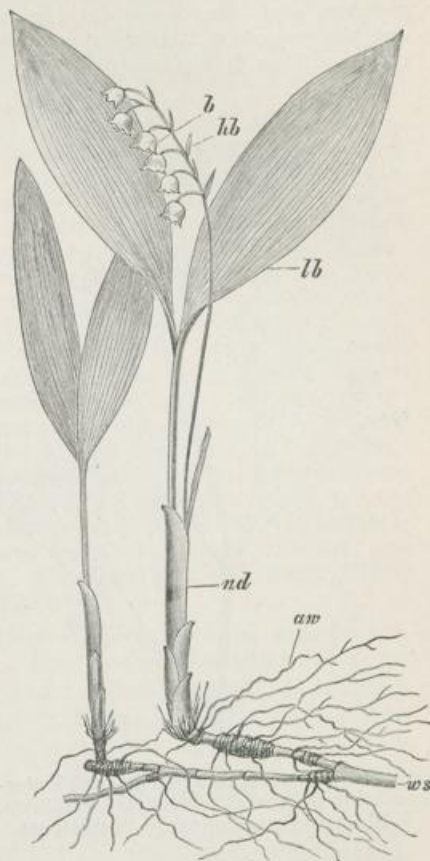


Fig. 34. Maiblume (*Convallaria majalis*). *nd* Niederblätter, *lb* Laubblätter, *hb* Hochblätter, *b* Blüte, *ws* Wurzelstock, *aw* Adventivwurzeln. Etwas verkleinert.

ungeteilten Spreite (Fig. 37 *sp*) sind keine oder nur seichte Einschnitte des Randes vorhanden. Werden hingegen während der Ausbildung der Spreite tiefere Einschnitte an ihr erzeugt, so heißt das Blatt, wenn diese Einschnitte nicht bis zur Mitte der Spreitenhälften reichen, gelappt; wenn sie bis zu ihrer Mitte gehen, gespalten (Fig. 35 *sb*); wenn sie über diese Mitte hinaus sich fortsetzen, geteilt (Fig. 38 *l*), wenn sie die Mitte der ganzen Spreite oder ihren Grund erreichen, geschnitten. Die Teilung der Spreite ist eine fingerartige oder fiederartige, je nachdem die Einschnitte gegen den Grund der Spreite zusammenlaufen oder gegen deren Mittelrippe gerichtet sind. Nur wenn die einzelnen Abschnitte der Spreite so selbständig sind, daß sie gesonderte Einfügung an dem gemeinsamen Blattstiel, oder an der aus der ursprünglichen Spreitenanlage hervorgegangenen Mittelrippe, der Spindel, zeigen, heißt

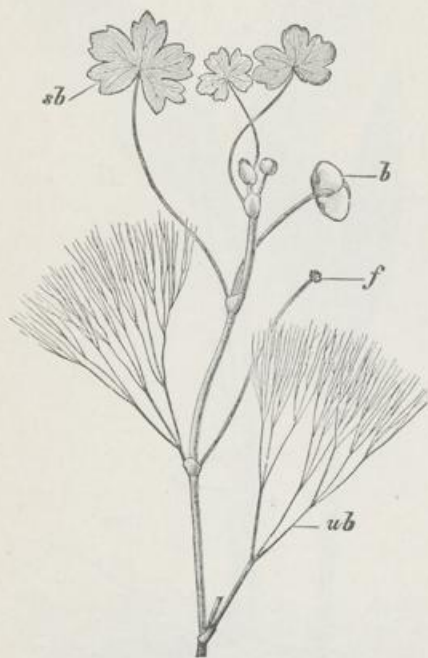


Fig. 35. *Ranunculus aquatilis*. *ub* Untergetauchte Blätter, *sb* schwimmende Blätter, *b* Blüte, *f* Fruchtanlage. Verkleinert.

halten, sowie die Gestalt und Gliederung der Pflanzen verwertet.

In flachen Blattspreiten sind Stränge zu erkennen, die als Adern oder Nerven bezeichnet werden. Diese treten mehr oder weniger deutlich vor, besonders an der Blattunterseite und veranlassen dort oft die Bildung vorspringender Rippen. Vielfach ist ein in der Mediane verlaufender Nerv besonders entwickelt und heißt dann Mittelnerv oder Hauptnerv. Es können aber auch mehrere gleich starke Nerven als Hauptnerven ausgebildet sein. Von dem Hauptnerv oder den Hauptnerven entspringen Seitennerven.

Die Bezeichnungen der Nervatur richten sich nach der Art des Nervenverlaufs. Man unterscheidet im besonderen die streifige Nervatur, bei der mehrere Hauptnerven annähernd parallel oder im Bogen in der Längsrichtung der Spreite verlaufen (Fig. 36 *s*) und gegen deren Enden konvergieren, von der netzartigen Nervatur

das Blatt zusammengesetzt (Fig. 35 *ub*); in allen anderen Fällen gilt es als einfach. Die einzelnen selbständigen Teile des zusammengesetzten Blattes werden als Teilblättchen oder kurzweg als Blättchen bezeichnet. Diese Blättchen können während ihrer Entwicklung eine ähnliche Gliederung wie die Anlage, aus der sie hervorgehen, erfahren und an ihren Gliedern kann sich die nämliche Erscheinung wiederholen. So werden doppelt und dreifach zusammengesetzte Blätter erzeugt. Besonders häufig kommen die einfach und doppelt gefiederten Blätter vor, wobei die Blättchen nach zwei Seiten an Spindeln zweiter, bzw. dritter Ordnung eingefügt sind. Die Blättchen eines zusammengesetzten Blattes können diese oder jene Gestalt besitzen, ganzrandig oder mehr oder weniger tief eingeschnitten sein. Sie sitzen unmittelbar der Spindel an oder sind gestielt und unter Umständen sogar, wie bei *Robinia*, *Mimosa*, mit angeschwollenen Gelenkpolstern an der Einfügungsstelle versehen. Ein Blatt, dessen Abschnitte nur einseitig nach außen neue Abschnitte ausgliedern, die ihrerseits auch nur einseitig in gleicher Richtung neue Glieder bilden, wird als fußförmig (Fig. 38 *l*) bezeichnet. Der Rand eines einfachen Blattes, oder auch eines Teilblättchens, kann gesägt, gezähnt, gekerbt oder ausgeschweift sein und dieses Ver-

des ganzen Blattes, wird bei der Bestim-

(Fig. 190), bei der die Nerven, an Stärke abnehmend, aneinander entspringen und schließlich in einem feinen Maschenwerk ihren Abschluß finden. Bei streifiger Nervatur pflegen die Hauptnerven durch schwache Quernerven verbunden zu sein. Bei netzadrigner Nervatur unterscheidet man weiter zwischen fiedernervigen Blättern, wenn einem medianen Hauptnerv Seitennerven entspringen, die ihrerseits sich ähnlich verzweigen, bis daß die letzten Zweige netzförmig abschließen, und handnervigen Blättern, wenn mehrere annähernd gleich starke Hauptnerven an der Basis der Spreite auseinandergehen und Seitennerven abgeben, deren letzte Auszweigungen ein Netzwerk bilden. Die streifige Nervatur kennzeichnet im allgemeinen die zu den Monokotylen, die netzadrig die zu den Dikotylen gehörenden Phanerogamen. Auch kommen den Monokotylen vorwiegend nur einfache Blätter zu, während die zusammengesetzten eine häufige Erscheinung bei den Dikotylen sind. Nicht minder treten gestielte Blätter weit häufiger bei den Dikotylen als bei den Monokotylen auf.

Die Nerven verleihen der Spreite die nötige mechanische Festigkeit und ermöglichen so deren flache Ausbreitung. Oft folgen Nervenzweige dem Rande der Spreite und verhindern auf diese Weise ihr Einreißen. Dünnere Spreiten von größerer Ausdehnung, denen Randnerven fehlen, werden von Wind und Regen leicht in Streifen zerrissen. Regelmäßig erfolgt das bei den Bananen (*Musa*-Arten), die daher unter freiem Himmel ein ganz anderes Aussehen wie in unseren Gewächshäusern besitzen. So zerteilte Bananenblätter weichen leichter den Angriffen der Atmosphärrillen aus. Den Palmenblättern, die während ihrer Entwicklung in schmale Streifen zerlegt werden, bringt das den gleichen Vorteil. In der großen Spreite der Blätter der Aroidee *Monstera* bilden sich mit ähnlichem Erfolge Löcher aus. Viele Blattspreiten werden sofort geteilt angelegt. Untergetauchte Blätter von Wasserpflanzen, die auch meist sich fein zerteilt zeigen, sind dies hingegen nicht nur aus mechanischen Gründen, sondern auch der Ernährung wegen, damit die Blattfläche mit möglichst großen Wassermengen in Berührung komme. Demgemäß sehen wir oft bei solchen Wasserpflanzen, wie dem Wasser-Hahnenfuß (*Ranunculus aquatilis*), welche sowohl schwimmende als auch untergetauchte Blätter besitzen, daß nur letztere vielspaltig sind (Fig. 35). — Die vorgezogene Spitze, mit der die Spreiten der Laubblätter bei so vielen Landpflanzen abschließen, soll, als Träufelspitze, nach STAHL⁽¹⁸⁾ das Abfließen des Wassers von der Blattfläche erleichtern und damit deren schnelleres Abtrocknen befördern. Fleischige, sog. sukkulente Blätter dienen wie fleischige Stengelteile der Wasserspeicherung.

Heterophyllie. Manche Pflanzen sind dadurch ausgezeichnet, daß sie verschieden gestaltete Laubblätter ausbilden. Ein solches Verhalten wird als Heterophyllie bezeichnet. Die voneinander abweichenden Laubblätter folgen in verschiedenem Alter der Pflanze aufeinander beim Fieberbaum (*Eucalyptus globulus*), der in der Jugend ovale sitzende, später sichelförmige gestielte Blätter trägt. In anderen Fällen können sie eine Anpassung an das umgebende Medium darstellen, so beim Wasserhahnenfuß (*Ranunculus fluitans* und *aquatilis*), dessen schwimmende Blätter gelappt, dessen untergetauchte Blätter fein zerschlitzt sind (Fig. 35). — So bilden auch manche epiphytischen Farne aus den Gattungen *Polypodium* und *Platyserium* abwechselnd gefiederte, gestielte Blätter, welche als Assimilationsorgane fungieren und ungestielte, breite, meist herzförmige „Nischenblätter“, in welchen Humus sich sammelt oder welche, wenn sie als „Mantelblätter“ dem Substrat angeschmiegt sind, selbst, rasch absterbend, zu Humus werden. Der so angesammelte oder erzeugte Humus wird von den Farnwurzeln durchsetzt⁽¹⁹⁾.

Blattgrund. Sehr häufig bildet sich bei Monokotylen der Blattgrund zu einer Scheide aus, während dies bei den Dikotylen selten erfolgt. Bei den Gräsern (*Gramineen*) ist die Scheide (Fig. 36 v) auf der einen Seite zerspalten, bei den Riedgräsern (*Cyperaceen*) hingegen völlig geschlossen. Die Scheide der Gräser setzt sich am Grunde der Blattspreite in einen häutigen Auswuchs, die *Ligula* (l), fort. Die Scheide schützt bei diesen Gewächsen das am Grunde fortwachsende, daher dort weich bleibende Internodium und

verleiht ihm gleichzeitig die nötige Festigkeit. — Die Nebenblätter oder Stipeln, wo solche aus dem Blattgrunde entstehen, können ganz unscheinbar ausgebildet sein (Fig. 37 *nb*), oder auch ansehnliche Größe erreichen. Besteht ihre Funktion darin, nur die jungen Anlagen in der Knospe zu schützen, so sind sie meist gelblich oder bräunlich gefärbt und fallen frühzeitig ab. Anders, wenn sie an der Ernährung der Pflanze sich beteiligen, oder das zu anderen Aufgaben umgebildete Oberblatt in dieser Richtung vertreten (Fig. 48 und 49). Dann sind sie grün gefärbt, im Bau ganz mit der Spreite eines Oberblattes übereinstimmend. In typischen Fällen werden

sie in Zweizahl, also je eins zu beiden Seiten des zugehörigen Blattes, ausgebildet. Bei manchen *Galium*-Arten, wo die Nebenblätter vollständig dem Oberblatt gleichen, glaubt man sechsblättrige Blattquirle vor sich zu haben, während

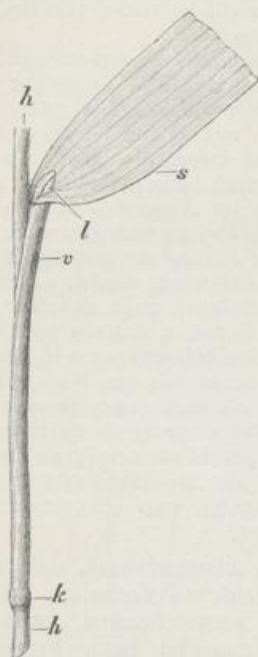


Fig. 36. Stengel- und Blattstück einer Graminee. *h* Halm, *v* Blattscheide, *k* Anschwellung der Blattscheide über dem Stammknoten, *s* Stück der Blattspreite, *l* Ligula. Nat. Gr.



Fig. 37. Vogelkirsche (*Prunus avium*). Knospenschuppen 1–3 und die Übergangsformen 4–6 zum Laubblatt 7, *sp* Blattspreite, *s* Stiel, *nb* Nebenblätter. Etwas verkleinert.

tatsächlich nur je zwei Blätter mit ihren Nebenblättern den Wirtel bilden. Das stellt man leicht an dem Umstande fest, daß nur zwei dieser Blattgebilde mit Achselknospen versehen sind. Bei anderen *Galium*-Arten (*Gal. cruciatum*, *palustre*) sind nur vier Glieder im Quirl vertreten, weil je zwei benachbarte Nebenblätter zu je einem verschmolzen sind. In manchen Fällen streckt sich der Blattgrund und es bilden die Nebenblätter Anhängsel an ihm. Das macht den Eindruck mit einem Blattstiel verwachsener Nebenblätter, so beim Klee und bei den Rosen. Die beiden Nebenblätter sind in anderen Fällen mehr oder weniger vollständig zu einem einzigen Nebenblatt vereint, das demgemäß in der Blattachsel zu stehen kommt. Die Nebenblätter können den Stengel umfassen und eine mehr oder weniger vollständig geschlossene Düte (*Ochrea*) bilden, welche die höher gelegene Blattanlage in der Knospe umhüllt; so bei dem in Zimmern oft kultivierten

Gummibaum (*Ficus elastica*), wo die Düten durch jedes neu sich entfaltende Blatt an ihrem Grunde abgesprengt und emporgehoben werden; ebenso bei den Polygonaceen, wo sie von den Blättern durchbrochen, als trockene Scheiden am Stengel verbleiben.

Die **Niederblätter** stehen in ihrer Gliederung den Laubblättern bedeutend nach; sie sind für gewöhnlich schuppenförmig ausgebildet und ungestielt. An der Ernährung der Pflanze sind sie nicht beteiligt, sie stellen vornehmlich Schutzorgane vor. Die wichtigste Aufgabe erfüllen die Niederblätter als Knospenschuppen (Fig. 37). Sie erlangen dann entsprechende Härte und Dicke und färben sich im allgemeinen braun. Sie entstehen am häufigsten aus dem sich entsprechend vergrößernden Blattgrund. Das Oberblatt kommt dann entweder gar nicht zur Entwicklung, oder man findet es in mehr oder weniger reduziertem Zustande am Scheitel des Niederblattes vor. Eine austreibende Winterknospe der Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*) im Frühjahr zeigt dies unmittelbar; denn während ihre äußeren Knospenschuppen an der Spitze kaum etwas von einem Oberblatte erkennen lassen, tragen die inneren Knospenschuppen oft schon deutlich eine kleine Blattspreite. In anderen Fällen sind die Niederblätter ihrem Ursprunge nach Nebenblätter (Fig. 37), gehören somit auch dem Blattgrunde an. In noch anderen Fällen sind sie endlich ganze, im ungegliederten Zustande verbliebene, nur entsprechend vergrößerte Primordialblätter. An den Knospen der Eiche werden die Schuppen von Nebenblättern erzeugt; die zugehörigen Oberblätter sind nur als ganz kleine Schüppchen ausgebildet. — Schuppenförmige, meist farblose Niederblätter, in verschiedenen Graden der Reduktion, finden wir an unteren Sproßteilen (Fig. 34), Rhizomen (Fig. 23), an den Zwiebeln (Fig. 25) und Knollen (Fig. 26); ihre Anlage geht auch an den oberirdischen Sprossen, die aus den Rhizomen entspringen, meist der Laubblattbildung voraus und ist durch Übergänge mit ihr verbunden.

Die **Hochblätter** stimmen in der Gestalt mit den Niederblättern überein (Fig. 34 *hb*) und haben einen entsprechenden Ursprung. Sie dienen als Deckblätter für Blütensprosse und werden auch als Brakteen bezeichnet. Zwischenformen verbinden sie meist mit den Laubblättern (Fig. 38). Ihre Farbe ist nicht selten grün, sie können aber auch andere Färbung aufweisen oder ungefärbt sein.

Als **Blütenblätter** gehen die Blätter endlich in den Bau phanerogamer Blüten ein. In der höchsten Ausbildung, welche die Blüte bei den Phanerogamen erreicht, folgen in ihr, von außen nach innen, so wie die Fig. 39 zeigt, aufeinander: Kelchblätter (*k*), Kronblätter (*c*), Staubblätter (*a*) und Fruchtblätter (*g*). Die Kelch- und Kronblätter nähern sich in ihrer Gestalt den Hochblättern. Die Kelchblätter sind in den meisten Fällen grün und derb, die Kronblätter andersfarbig und zart. Die Staubblätter nehmen fadenförmige Gestalt an, und bilden in bestimmten Behältern den Blütenstaub oder Pollen. Die Fruchtblätter schließen bei den bedecktsamigen Phanerogamen (Angiospermen) zu Behältern zusammen, in welchen die Samenanlagen erzeugt werden. Staub- und Fruchtblätter der Phanerogamen entsprechen den sporangien-

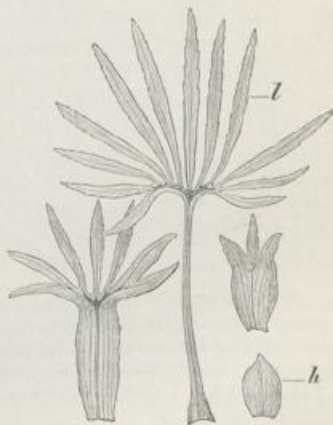


Fig. 38. *Helleborus foetidus*. Laubblatt (*l*) und Übergänge zum Hochblatt (*h*). Verkl.

tragenden Blättern der Gefäßkryptogamen. Diese Sporangienträger werden als Sporophylle bezeichnet und können bereits bei den Gefäßkryptogamen von der Gestalt der anderen Blätter mehr oder weniger abweichen.

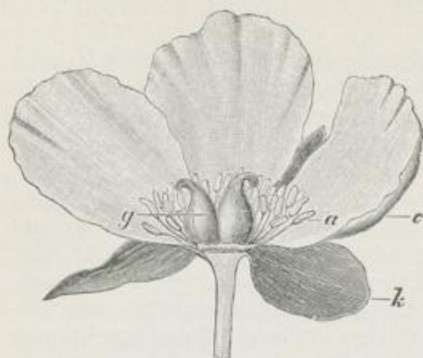


Fig. 39. Blüte von *Paeonia peregrina*. *k* Kelch, *e* Krone, *a* Staubblätter, *g* Fruchtblätter. Die vorderen Kelchblätter, Kronblätter und Staubblätter wurden entfernt, um die beiden, zwei getrennte Stempel bildenden Fruchtblätter zu zeigen.
 $\frac{1}{2}$ nat. Gr.

Demgemäß sieht man an entlaubten Holzgewächsen die Achselknospen über Blattnarben stehen.

Knospenlage und Knospendeckung. Wie Querschnitte durch die Winterknospen unserer Laubbölzer lehren, passen sich die Laubblattanlagen in



Fig. 40. Querschnitt durch eine Laubknospe von *Populus nigra*. Die Knospenschuppen *k* zeigen dachziegelige Deckung, die Laubblätter *l* haben eingerollte Knospenlage, zu jedem Laubblatt gehören zwei Nebenblätter *ss*. Vergr. 15.

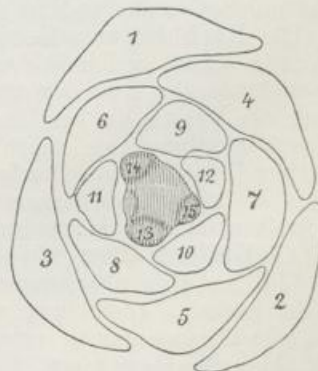


Fig. 41. Querschnitt durch eine Laubknospe von *Tsuga canadensis*, dicht über dem Sproßscheitel geführt, $\frac{5}{13}$ Divergenz. Vergr. etwa 20. (Nach Hofmeister.)

verschiedener Weise den engen Raumverhältnissen in der Knospe an. Sie können flach ausgebreitet sein, sind aber vielfach auch der Länge nach zusammengelegt, auch gefaltet, gerollt (Fig. 40) oder zerknittert. Man nennt das ihre Knospenlage (*vernatio*). Andererseits sieht man die aufeinander folgenden Knospenschuppen sich entweder mit ihren Rändern nicht erreichen, oder nur berühren, oder, was gewöhnlicher ist, mit ihnen übereinander greifen

(Fig. 40k). Das nennt man Knospendeckung (*aestivatio*), und zwar im ersten Falle offene (*ae. aperta*), im zweiten klappige (*ae. valvata*), im dritten deckende oder dachziegelige (*ae. imbricata*) (Fig. 40k). Wenn alle Blätter einer Knospe, wie das in Blütenknospen nicht selten ist, mit dem einen Rande das nächste Blatt decken, an dem andern Rande vom vorhergehenden Blatte gedeckt werden, oder umgekehrt, so heißt die Knospendeckung gedreht (*ae. contorta*).

Die Blattstellung. An aufrecht stehenden Langtrieben mit allseitig ausgebreiteten Blättern, und mehr noch an Kurztrieben mit dicht gedrängten Blättern fällt die Regelmäßigkeit der Blattstellung unmittelbar auf. Sie ist auch an Knospenquerschnitten (Fig. 41) zu erkennen, vor allem aber an Scheitelansichten solcher Vegetationskegel, wie der in Fig. 31 u. 33 dargestellten. Da sieht man wie die neuen Anlagen in gesetzmäßiger Weise, unter entsprechender Ausnutzung des vorhandenen Raumes, sich den vorhandenen anschließen. Nach SCHWENDENER⁽²¹⁾ sollen es rein mechanische Ursachen sein, welche die Anordnung der Blätter an gemeinsamer Achse bestimmen. Sie beruhen auf dem Druck und dem Zug, welche die stets in Kontakt tretenden Blätter an den Vegetationsspitzen veranlassen. Demgemäß soll die ursprüngliche Anordnung der Anlagen durch ihren gegenseitigen Druck bei fortgesetzter Größenzunahme eine Veränderung erfahren. Wächst die Achse nicht in die Länge, sondern nur in die Dicke, so werden die größer werdenden Insertionen der Blattanlagen durch longitudinalen Druck seitlich verschoben; wächst die Achse in die Länge, aber nicht in die Dicke, so wird die Insertion der Blattanlagen durch transversalen Druck eine Verschiebung in der Querrichtung erfahren. Die Blattstellung soll sich auch ändern, also die Blattanlagen sich anders anordnen, wenn deren Größe, bei sich gleichbleibendem Umfang des Vegetationskegels, abnimmt, oder wenn die Blattanlagen ihre Größe beibehalten, der Umfang des Vegetationskegels aber zunimmt.

Plötzliche Änderungen der Stellungsverhältnisse pflegen bei Anlage der Blüten zu erfolgen, wobei der Vegetationskegel sich rasch vergrößert, die Blattanlagen zugleich kleiner werden. — Änderungen der ursprünglichen Stellung können ihre Ursache auch in Torsionen des Stammes haben. So treten die Blätter am Vegetationskegel der *Pandanus*-Arten in drei geraden Reihen auf und kommen dann, durch Drehung des Stammes, in die dieser Drehung entsprechenden Schraubenlinien zu stehen. — Ganz regellose Blattstellungen treten endlich in manchen Fällen, so am Blütenschaft der Kaiserkrone (*Fritillaria imperialis*) auf, wobei die Blattanlagen schon bei ihrem Auftreten am Vegetationskegel ungleiche Größe und unregelmäßige Verteilung zeigen. — Es mehren sich die Beobachtungen der Fälle, in welchen bestimmte Blattstellungen sich nicht auf Raumverhältnisse, auf Kontakt- und Druckwirkungen zurückführen lassen. Da läßt sich zunächst nur annehmen, daß diese Blattstellungen ihren Grund in inneren Ursachen, in der erbten Organisation der Pflanzen selbst, haben⁽²²⁾.

Verhältnismäßig häufig findet in der Laubblattregion die Ausbildung zweigliedriger, miteinander alternierender Quirle statt, so wie die Fig. 31 und 33 sie in der Anlage zeigt. Man nennt eine solche Blattstellung dekussiert. Mehrgliedrige Quirle sind für Blüten charakteristisch. Bei sich gleich bleibender Zahl der Glieder im Quirl pflegen auch dort die Quirle regelmäßig zu alternieren. Häufig ändert sich aber die Zahl der Glieder in aufeinander folgenden Quirlen der Blüten, besonders beim Übergang von den Kronblättern zu den Staubblättern, und von letzteren zu den Fruchtblättern. Bei manchen Pflanzen fehlt ein Quirl in der Blüte, den man nach der Stellung der Glieder in den anderen Quirlen, und nach den verwandtschaftlichen

Beziehungen, erwarten müßte. So zeigt die Blüte der Lilien, dem Diagramm Fig. 42 gemäß, fünf dreigliederige, regelmäßig alternierende Quirle und zwar einen dreigliederigen äußeren und einen dreigliederigen inneren Blumenblattkreis, die beide bei den Liliaceen wegen ihrer Übereinstimmung als Perigon zusammengefaßt werden, einen äußeren und einen inneren Staubblattquirl und endlich in der Mitte drei miteinander vereinigte, die Alternation fortsetzende Fruchtblätter. Das Diagramm der Schwertlilien-(Iridaceen-)Blüte (Fig. 43) stimmt mit jenem der Lilienblüte überein, bis auf den fehlenden inneren Staubblattquirl. Die drei Fruchtblätter stehen aber so, als wenn der innere Staubblattquirl auch vorhanden wäre. Daher glaubt man sich zu der phylogenetischen Schlußfolgerung berechtigt, der innere Staubblattquirl sei bei den Vorfahren der Iridaceen vorhanden gewesen und erst späterhin geschwunden. Trägt man auf Grund dieser phylogenetischen Erwägungen den fehlenden Staubblattkreis in das Diagramm der Blüte mit Kreuzen ein, so hat man ein theoretisches Diagramm entworfen (Fig. 43).



Fig. 42. Diagramm der Liliaceenblüte, unter ihm das Deckblatt; über ihm, durch einen schwarzen Punkt angedeutet, die Tragachse.



Fig. 43. Theoretisches Diagramm einer Irisblüte. Der fehlende Staubblattquirl ist durch Kreuze bezeichnet

Im empirischen Diagramm werden hingegen solche, der theoretischen Erwägung nach fehlende Glieder nicht angegeben. — Auch wechselständige Blätter, die nur in Einzeln den Knoten entspringen, trägt man in entsprechende Diagramme ein. Man stellt auch dort das Diagramm her, indem man die kegelförmig gedachte, senkrecht gestellte Achse horizontal projiziert und die aufeinander folgenden Knoten als konzentrische Kreise von gleichmäßig abnehmendem Radius zur Darstellung bringt

(Fig. 43). Der Winkel, unter dem die Mittellinien zwei aufeinander folgenden Blätter sich schneiden, heißt die Divergenz. Sie wird in Bruchteilen des Umfangs der Achse angegeben. Sind beispielsweise je zwei aufeinander folgende Blätter an der Achse um ein Drittel ihres Umfangs voneinander entfernt, so beträgt der Divergenzwinkel 120° , die Divergenz wird mit $\frac{1}{3}$ ausgedrückt. Das Diagramm Fig. 44 führt uns die $\frac{2}{5}$ -Stellung vor. Es leuchtet ein, daß in einem solchen Falle, wo der seitliche Abstand von zwei aufeinander folgenden Blättern $\frac{2}{5}$ des Stengelumfangs beträgt, das sechste Blatt über dem ersten, das siebente über dem zweiten und so fort, zu stehen kommt. So bilden die Blätter an der Achse fünf gerade Reihen, die als Gradzeilen oder Orthostichen bezeichnet werden. Bei sehr gedrängter Stellung, in der sich die Blätter berühren, fallen aber nicht etwa diese Orthostichen, sondern steilaufsteigende Schraubenlinien auf, die als Schrägzeilen oder Parastichen gelten. Sie entstehen durch den Kontakt jener Blätter, deren seitlicher Abstand an der Achse am geringsten ist. In einem Schema kommen sie deutlich zur Anschauung, wenn man, wie in Fig. 45, die Blätter auf die in eine Ebene gelegte Oberfläche der Achse einträgt. Den Blättern ist in diesem Bilde annähernd die Gestalt der Schuppen am Tannenzapfen gegeben worden, bei welchen die Parastichen scharf vortreten. Die Konstruktion zeigt ohne weiteres, daß die Summe der Parastichen auf jedem Querschnitt dieser Achse gleich der Zahl der

Orthostichen sein muß. Man kann an Objekten, welche die Parastichen deutlich aufweisen, wie beispielsweise an den Tannenzapfen, diese Parastichen zur Bestimmung der Schuppenstellung benutzen. Man zählt die Parastichen in der einen und in der anderen Richtung im Umkreis des Zapfens ab und addiert die beiden Zahlen. Denkt man sich die Insertionsstellen der aufeinander folgenden Glieder an der Achse auf dem kürzesten Wege des Achsenumfanges durch eine Linie verbunden, so stellt diese eine die Achse umlaufende Schraubenlinie dar, die man die Grundspirale nannte. Jeden Abschnitt der Grundspirale, der durchlaufen werden mußte, um von irgend einem Blatte zu dem gerade über ihm stehenden zu gelangen, hat man als Zyklus bezeichnet. So waren im Zyklus bei $\frac{2}{5}$ -Stellung fünf Blätter vertreten, und mußte die Schraubenlinie zweimal die Achse umlaufen, um diesen Zyklus zurückzulegen. — Es fällt bei Vornahme von Blattstellungsbestimmungen auf, daß gewisse Divergenzen besonders häufig wiederkehren.

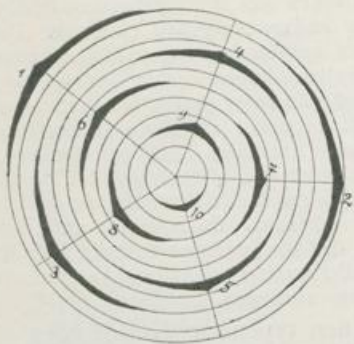


Fig. 44. Schema der $\frac{2}{5}$ -Stellung. Die Blätter ihrer genetischen Aufeinanderfolge nach mit Zahlen versehen.

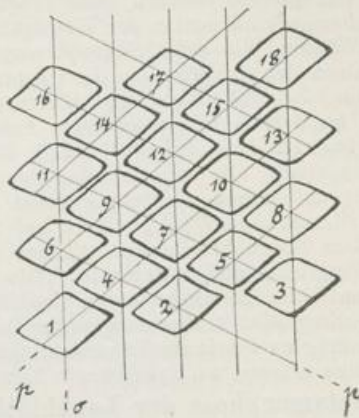


Fig. 45. Die $\frac{2}{5}$ -Stellung auf der aufgerollten Oberfläche der Achse. *o* Orthostichen, *p* Parastichen. Die Blätter ihrer genetischen Aufeinanderfolge nach mit Zahlen versehen.

Es läßt sich aus ihnen die Reihe $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{3}{8} \cdot \frac{5}{13} \cdot \frac{8}{21} \cdot \frac{13}{34}$ usw. bilden, wobei man jeden nachfolgenden Bruch durch Addieren der Zähler und Nenner der beiden vorhergehenden erhält. Die Divergenzen dieser Reihe bewegen sich zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$ der Stengeloberfläche, differieren voneinander immer weniger, je höher sie werden, und nähern sich immer mehr einem Winkel von $137^\circ 30' 28''$. Man hat diese Reihe als die Hauptreihe der Blattstellung bezeichnet. Die Fälle, welche sich dieser Hauptreihe einfügen lassen, herrschen bei weitem im Pflanzenreich vor.

Die Entdecker dieser Hauptreihe waren CARL SCHIMPER und ALEXANDER BRAUN. Sie weist ein rationales Verhältnis der Divergenzen zum Achsenumfang auf, so daß bei hinreichender Blätterzahl bestimmte Blätter genau übereinander stehen. Sie zeichnet sich, wie WIESNER⁽²³⁾ besonders erkannt hat, vor allen anderen möglichen Reihen dadurch aus, daß sie mit der kleinsten Zahl von Blättern deren möglichst gleichmäßige Verteilung an der gemeinsamen Achse erreicht. Damit ist eine vorteilhafte Verwertung des Raumes gegeben, eine gleichmäßige Belastung der Achse, und wenn diese vertikal steht, auch die beste Ausnutzung der Beleuchtung. Wie maßgebend solche Vorteile für die Anordnung der Blätter überhaupt sind, das lehren im besonderen jene Fälle, wo eine Pflanze nur ganz wenige Blätter, etwa 2, 3 oder 4 trägt. Diese Blätter stehen dann in gleichen Abständen, zum Wirtel angeordnet. So beschweren

sie gleichmäßig die Achse und empfangen gleichviel Licht. Bei wechselständiger Anordnung der Blätter an vertikaler Achse sorgen Größe und Form der Blätter und die Länge der Internodien dafür, daß jedem einzelnen Blatte der erforderliche Lichtgenuß zuteil werde. Doch ist eine solche Blattstellung für vertikale Achsen entschieden die ungünstigste, daher findet man bei Vorhandensein zahlreicher Blätter alsdann stets höhere Divergenzwerte. Anders ist es für geneigte Achsen, bei welchen die Stellungsverhältnisse der Blätter relativ niedrige sind. Annäherungen an $\frac{1}{2}$, oder $\frac{1}{3}$ selbst, bilden da die häufigsten Fälle, weil diese die günstigsten Verhältnisse für die Beleuchtung schaffen. Diese vorteilhafte Anordnung wird überaus häufig durch Drehung der Internodien erreicht, so bei der verbreiteten dekussierten Blattstellung, die bei aufrechten Achsen die vierreihige Anordnung behält, bei geneigten Achsen durch Drehung eine zweireihige annimmt. Auch bei wechselständigen Anordnungen bilden sich sekundär diese Verhältnisse aus und ermöglichen es den Blattspreiten volles Oberlicht zu gewinnen. So ergibt sich die Stellung der Laubblätter immer wieder als ausgesprochene Anpassung an die Bedürfnisse der Beleuchtung. Wo die Laubblätter eine Rosette bilden, sind die Stiele der unteren Blätter oft so stark gestreckt, daß deren Spreiten von den inneren Blättern nicht beschattet werden. Das ist besonders schön an den schwimmenden Rosetten der Wassernuß (*Trapa natans*) zu sehen.

Während die auf Lichtgenuß angewiesenen Laubblätter in ihrer Stellung im allgemeinen den Anordnungen der Hauptreihe folgen, fügen sich ihr meist nicht die Blattgebilde der Blüten und der Blütenstände, denen andere Aufgaben obliegen. Doch auch im Bereich rein vegetativer Anlagen kommen andere Stellungsverhältnisse vor, wie das im besonderen GÖBEL⁽²⁴⁾ für das Verhalten dorsiventraler Sprosse nachgewiesen hat. Die dorsiventralen Sprosse sind häufig an ihrer Spitze bauchwärts eingerollt und tragen die Blätter meist abwechselnd, entweder auf ihrer Rückenfläche oder, der Rückenfläche genähert, auf ihren Flanken. Auffällige Beispiele liefern die auf dem Boden kriechenden Stämme vieler Farne, oder die blütentragenden Sprosse des Vergißmeinnicht (*Myosotis*). Die aufeinander folgenden Blätter lassen sich in solchen Fällen höchstens durch eine Zickzacklinie verbinden. So läßt sich auf Grund des vorliegenden Beobachtungsmaterials annehmen, daß die gegebene Blattstellung eine Anpassung an bestimmte Lebensbedingungen vorstellt, somit auch andere Anordnungen auftreten müssen, wo abweichende Lebensverhältnisse vorliegen.

Metamorphose der Laubblätter. Von den typischen Laubblattformen weichen schon solche Blätter auffällig ab, deren Spreite nicht an ihrem Rande, sondern annähernd in ihrer Mitte am Stiele befestigt ist. Man bezeichnet sie als schildförmig. Unsere Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*) kann als Beispiel (Fig. 191) dienen. Solche Blätter kommen zustande, indem die junge Spreite nicht nur in der Verlängerung des Stiels, sondern auch in entgegengesetzter Richtung an ihm vorbeiwächst. Ähnliche Blattbildungen mögen der Ausgangspunkt gewesen sein für weit stärker veränderte Laubblätter, die eine Höhlung umschließen und auf Tierfang eingerichtet sind. So zeigt die nach einem Gewächshausexemplar hier dargestellte *Nepenthes robusta* (Fig. 46) Blätter, die in kannenförmige, mit Deckel versehene Gebilde auslaufen. An den jüngeren Kannen ist der Deckel geschlossen, an älteren geöffnet. Jede Kanne geht, wie GÖBEL nachgewiesen hat, aus einer entsprechend umgeformten Blattspreite hervor; der Blattgrund verbreitet sich zugleich spreitenförmig; der Blattstiel, der beide trennt, kann als Ranke fungieren. Ähnlich gestaltete hohle Gebilde werden, durch entsprechende Umbildung der Fiederblättchen, an den unter Wasser tauchenden Blättern von *Utricularia* ausgebildet. Die Spreite jener Blättchen wächst zu einem krugförmigen Gebilde aus, das an seinem oberen Rande bis auf eine enge Mündung zusammenschließt. Das gibt Blasen vom Aussehen der Fig. 47, die, nach Fischreusenart gebaut, kleinen Wassertierchen wohl den Eintritt, nicht aber den Austritt gestatten. — Ist in solchen Gebilden gewissermaßen eine progressive Veränderung des Laubblattes gegeben, so tritt uns in anderen Fällen die Veränderung als Reduktion

entgegen, beispielsweise bei manchen Farnen, wenn sie Blattausläufer erzeugen. Ganz wie die zu Ausläufern umgestalteten Sprosse, sind auch die Blattausläufer der Farne langgestreckt und haben die Aufgabe, eine an ihrem Ende sich bildende Knospe möglichst weit von der Mutterpflanze zu



Fig. 46. *Nepenthes robusta*. Gewächshauspflanze. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

entfernen. Daher ein sich entsprechend verhaltendes amerikanisches Farnkraut (*Camptosorus rhizophyllus*) als „Blattwanderer“ bezeichnet wird. Meist verlieren solche Blattausläufer ihre Fiederblättchen und erscheinen auf den Blattstiel beschränkt. Besonders eigenartig wird die Erscheinung dann, wenn, wie bei *Asplenium obtusifolium* oder bei *Asplenium Mannii*, die terminal an einem Blattausläufer erzeugte Knospe ihr erstes Blatt wieder als Ausläufer ausbildet und der Vorgang sich weiter wiederholt, so daß Blattausläufersympodien entstehen. Verhältnismäßig häufig ist in anderen Fällen die Umbildung der ganzen Blattspreite oder ihrer Teile zu Ranken (Blattranken). Die Fig. 48 zeigt uns eine solche Umbildung, und zwar in der-

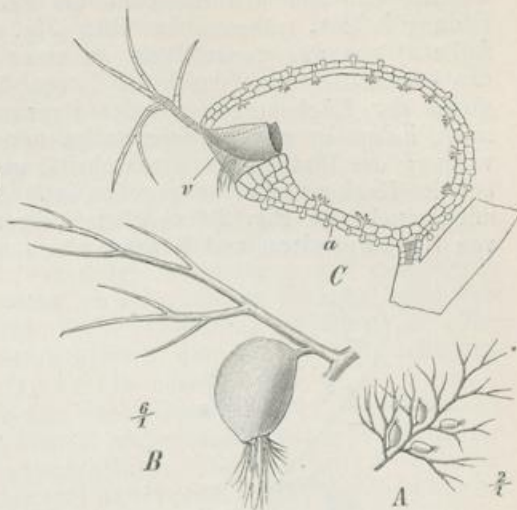


Fig. 47. *Utricularia vulgaris*. Bei A ein Blattstück mit mehreren Blasen. Vergr. 2. Bei B ein Fiederteil des Blattes mit Blase. Vergr. 6. Bei C eine Blase im Längsschnitt. Vergr. ca. 28. C nach GÖBEL. In C *r* Klappe, *a* Blasenwandung.

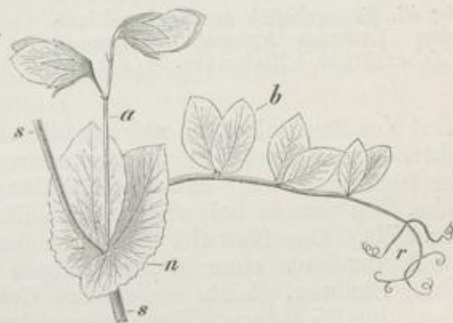


Fig. 48. Stängelstück und Blatt der gemeinen Erbse (*Pisum sativum*). *s* Stengel, *n* Nebenblätter, *b* Blättchen des einfach gefiederten Blattes, *r* die zu Ranken ausgewachsenen Blättchen, *a* der Blüten tragende Achsel sproß. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.

jenigen Form, wie sie bei Papilionaceen verbreitet ist. Die oberen Blättchenpaare des einfach gefiederten Blattes haben sich in dem dargestellten Falle in fadenförmige Ranken verwandelt, welche die Fähigkeit besitzen, Stützen zu umschlingen. Dieses Beispiel ist der gemeinen Erbse entnommen, bei welcher ein Teil der Blättchen am Blatte noch seine ursprüngliche Ausbildung behält, während das Bild (Fig. 49) der Rankenplatterbse (*Lathyrus Aphaca*) uns das ganze Blatt zu einer Ranke reduziert, und die Lamina des Oberblattes ganz durch die Nebenblätter (*n*) vertreten zeigt. Der Vergleich der Kuchenerbse mit der Rankenplatterbse ist phylogenetisch lehrreich, indem er uns gewissermaßen den Weg zeigt, den der Reduktionsvorgang der Blattspreite durchschritzt, um jenen Grad zu erreichen, wie er bei der Rankenplatterbse gegeben ist. Andererseits klären uns beide Fälle, mit *Ampelopsis* (Fig. 29) verglichen, über den morphologischen Unterschied von Sproßranken und Blattranken auf und zeigen damit deutlich den



Fig. 49. Stengelstück der Ranken-Platterbse (*Lathyrus Aphaca*). *s* Stengel, *n* Nebenblätter, *b* Blattranke. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.

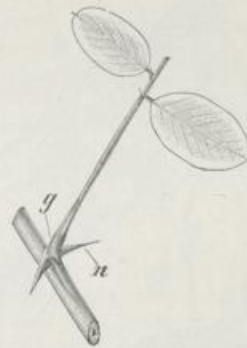


Fig. 50. Stammstück von *Robinia Pseudacacia* mit dem unteren Teile eines gefiederten Blattes und den zugehörigen, in zwei Dornen verwandelten Nebenblättern *n*. *g* Gelenkpolster. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.

Wert der Ergebnisse, zu welchen die vergleichend morphologische Forschung führt. — Bei der Rankenplatterbse treten die Nebenblätter in die Funktion der Blattspreite ein, in anderen Fällen übernimmt der Blattstiel diese Aufgabe. So ist es bei vielen neuholländischen Akazien (bei 7, 8 und 9 Fig. 171). Der Blattstiel zeigt sich dann meist in senkrechter Ebene abgeflacht, durchaus einer lanzettförmigen Blattspreite ähnlich. Abgesehen von seiner Stellung, gleicht ein solches Gebilde, das Phyllocladium, vollkommen einem Phyllocladium. Von einem Phyllocladium ist es aber morphologisch verschieden, denn es stellt einen metamorphosierten Blattstiel, jenes einen metamorphosierten Sproß vor. Demgemäß nimmt es auch nicht wie ein Phyllocladium eine Blattachsel ein. Wie wir in Dornen verwandelte Sprosse kennen gelernt haben (Fig. 30), so gibt es endlich auch Blattdornen. Beim Sauerdorn (*Berberis vulgaris*) wird das ganze Blatt an den Hauptsprossen in einen oder in mehrere Dornen, meist in drei, umgestaltet und man sieht die mit entwickelten Laubblättern versehenen Seitentriebe in den Achseln dieser Dornen stehen. Bei der Robinie (*Robinia Pseudacacia*) entwickeln sich die beiden Nebenblätter zu Dornen, das Oberblatt besteht als Laubblatt fort (Fig. 49).

Die Wurzel.

Ausbildung der Wurzel. Die dritte Grundform des kormophyten Pflanzenkörpers zeigt in ihrer typischen Ausbildung als Bodenwurzel weniger ausgeprägte Unterschiede der Gestaltung als die andern Grundformen. Es hängt das mit den gleichmäßigen Bedingungen zusammen, unter denen die Wurzeln im Boden leben. Immerhin machen sich gewisse Verschiedenheiten je nach dem Standorte geltend, dem eine bestimmte Pflanze angepaßt ist⁽²⁵⁾. Der Bodenwurzel fällt als wichtigste Funktion die Aufgabe zu, das Nährwasser aus dem Boden aufzunehmen. Zugleich hat sie die Befestigung der Pflanze im Boden zu besorgen. Außerdem dient sie vielfach als Reservestoffbehälter der Speicherung von Assimilaten. Je nachdem die eine oder die andere dieser Aufgaben stärker oder schwächer ausgeprägt ist, wechselt der Habitus der Bodenwurzel. Die in Wasser und Schlamm wachsenden Wurzeln sind gestreckter, schwach verzweigt, sie pflegen mit besonderen Durchlüftungseinrichtungen ausgestattet zu sein, die zu lokalen Anschwellungen führen. Eine grundsätzliche Formveränderung erfahren sie aber nicht. Am stärksten pflegt die Metamorphose der an der Luft lebenden Wurzeln zu sein, die man als Luftwurzeln bezeichnet.

Der von der Wurzelhaube bedeckte Vegetationskegel und der Mangel an Blattbildungen charakterisieren die Wurzel und gestatten es meist leicht, sie von unterirdischen Sprossen zu unterscheiden. Die Wurzelhaube oder Kalyptra gewährt dem Vegetationskegel der Wurzel denjenigen Schutz, den die Blattanlagen dem Vegetationskegel des Stammes bringen. Von dem Vorhandensein der Wurzelhaube kann man sich meist erst auf medianen Längsschnitten durch die Wurzelspitzen überzeugen; doch gibt es auch Fälle, wo man die Wurzelhaube schon an der unversehrten Wurzel als eine ihren Scheitel deckende Kappe unterscheiden kann. Die besonders auffälligen Kappen an den Enden der in Wasser tauchenden Wurzeln unserer Wasserlinsen (*Lemna*-Arten) gehören hingegen ihrem Ursprung nach nicht zur Wurzel, sie gehen vielmehr aus einer die Wurzel bei ihrer Anlage umgebenden Hülle hervor und werden demgemäß als Wurzelaschen unterschieden. Wurzeln ohne Wurzelhaube sind eine sehr seltene Erscheinung, so bei den eben erwähnten Wasserlinsen, bei welchen die Wurzelhaube die Funktionen der Wurzelhaube übernimmt. So fehlt auch eine Wurzelhaube der rasch absterbenden Wurzel des uns schon bekannten, parasitisch lebenden Teufelszwirns (S. 22). Für die meisten Wurzeln bezeichnend sind die Wurzelhaare (*r* in Fig. 170), die gewissen Pflanzen auch abgehen können, so vielfach den Nadelhölzern. Die Wurzelhaare werden erst in einiger Entfernung von der Wurzelspitze erzeugt und haben nur kurze Lebensdauer. In dem Maße als neue Wurzelhaare hinzukommen, sterben die älteren ab, so daß nur ein begrenzter Teil der jungen Wurzel sich von ihnen bedeckt zeigt.

Verzweigung der Wurzel. Wie wir Sprosse kennen gelernt haben (Fig. 18), die sich durch Gabelung ihres Vegetationspunktes verzweigen, so gibt es auch Wurzeln mit einer solchen Verzweigungsart. Im wesentlichen ist sie, so wie die Gabelung der Sprosse (S. 15), auf die Lycopodiaceen beschränkt. Die übrigen Wurzeln verzweigen sich durch Bildung von Seitenwurzeln oder Nebenwurzeln in akropetaler Reihenfolge. Die jüngsten Seitenwurzeln treten aber in wesentlich größerer Entfernung vom Vegetationspunkt ihrer Mutterwurzel hervor (Fig. 170 *sw*), als es bei den Seitensprossen im Verhältnis zum Vegetationspunkt ihres Muttersprosses der Fall ist. Der Ursprung der Seitenwurzeln ist endogen; sie müssen die

äußeren Teile der Mutterwurzel durchbrechen, um nach außen zu gelangen. Demgemäß sind sie nicht selten an der Austrittsstelle von dem vorgestülpten Rande der durchbrochenen Teile der Mutterwurzel, wie von einem Kragen, umgeben. Die Seitenwurzeln bilden gerade Reihen an der Mutterwurzel (Fig. 170); diese Anordnung wird durch den inneren Bau der letzteren bedingt. Adventivwurzeln können, ganz wie Adventivsprosse, an beliebigen Orten, nicht nur an älteren Wurzelteilen, sondern auch an allen anderen Stellen des Pflanzenkörpers, angelegt werden. Über ihre Anlage entscheidet das sich einstellende Bedürfnis. Besonders zahlreich finden sie sich an der Unterseite der im Boden wachsenden Rhizome (Fig. 23w) ein. Ein bevorzugter Ort ihrer Entstehung, soweit die äußeren Bedingungen es zulassen, sind auch die Stengelknoten. In feuchten Boden gesteckte, abgeschnittene Sprosse oder Sproßstücke haben alsbald Adventivwurzeln an ihrer Basis erzeugt und solche brechen auch aus der Basis mancher in Boden gesteckter Blätter, so der Begonienblätter, hervor. Der Ursprung der Adventivwurzeln ist wie jener fast aller Wurzeln endogen. Wie es schlafende Knospen gibt, so kommen auch schlafende Wurzelanlagen vor. Im besonderen sind solche ruhende Anlagen von Adventivwurzeln an jedem Weidenzweige vorhanden und ihre Weiterentwicklung läßt sich durch Feuchtigkeit und Verdunkelung leicht anregen.

Adventivsprosse an Wurzeln pflegen meist erst in größerer Entfernung von ihrem Scheitel zu entstehen. Bei den Natterzungen (Ophioglossen), deren vegetative Vermehrung ganz auf der Bildung von Wurzelsprossen beruht, rücken die Sproßanlagen fast bis auf die Wurzelspitze. Wie es endlich terminale Blätter an Sproßvegetationskegeln, terminale Sprosse an Farnblättern gibt, so kann auch in bestimmten Fällen (einigen Asplenium- und Platycerium-Arten) ein Sproß direkt einen Wurzelvegetationskegel fortsetzen⁽²⁶⁾.

Gestalt der Bodenwurzel. Für die übliche Unterscheidung der Bodenwurzeln ist ihre Gestalt, ihre Stärke, sowie ihre Verzweigungsart maßgebend.

Eine Wurzel, die den Hauptstamm nach unten fortsetzt, heißt Hauptwurzel oder Pfahlwurzel; die ihr entspringenden Wurzeln sind

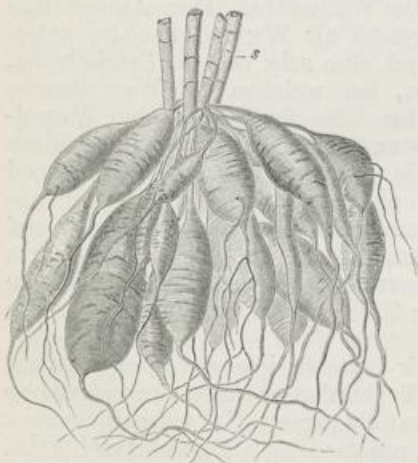


Fig. 51. Wurzelknollen der Georgine (*Dahlia variabilis*). Bei s die unteren Teile der abgeschnittenen Stengel. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

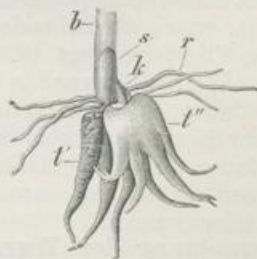


Fig. 52. *Orchis latifolia*. t' die alte Wurzelknolle, t'' die junge Wurzelknolle, b Blütenproß, k Knospe, an der die neue Knolle entstand, s das Niederblatt, in dessen Achsel die Knospe k entstand, r gewöhnliche Adventivwurzeln. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.

Seitenwurzeln oder Nebenwurzeln bestimmter Ordnung. Den Gymnospermen und sehr vielen Dikotylen kommt eine Hauptwurzel zu, während

sie den Monokotylen für gewöhnlich fehlt. Die Bewurzelung der meisten Monokotyledonen, aber auch zahlreicher dikotyler Stauden, beruht vorwiegend auf Adventivwurzeln, die in großer Zahl den im Boden befindlichen Stammteilen und zu Wurzelstöcken (S. 19) metamorphosierten, unterirdischen Sprossen entspringen. Als Nährstoffbehälter fungierende Bodenwurzeln sind rüben- oder knollenförmig angeschwollen (Fig. 51). Die Wurzelknollen ähneln den Stammknollen, lassen sich aber an ihrer Wurzelhaube, dem Fehlen von Blattanlagen und dem inneren Bau erkennen.

Einen eigenen morphologischen Aufbau zeigen die Knollen der Orchideen. Sie werden der Hauptmasse nach aus fleischig angeschwollenen, nicht voneinander gesonderten Wurzeln gebildet, oben schließen sie aber mit einer Stammknospe ab. Diese Knollen sind einfach oder in ihren unteren Teilen handförmig geteilt (Fig. 51). Man findet miteinander verbunden eine ältere (*l'*) und eine jüngere Knolle (*l''*). Die ältere hat bereits einen Blütenproß (*b*) erzeugt und ist im Schrumpfen begriffen. Die jüngere entstand an der Basis dieses Sprosses in der Achsel eines Niederblattes (*s*) und bildete die Adventivwurzeln, die miteinander vereinigt blieben und anschwellen, um den Knollenkörper zu erzeugen. Wurzeln von gewohntem Bau entspringen über den Knollen aus der Stengelbasis.

Metamorphose der Wurzeln. Einen von den Bodenwurzeln abweichenden Bau zeigen die Luftwurzeln der auf anderen Pflanzen oft in bedeutender Höhe wachsenden tropischen Epiphyten⁽²⁷⁾. Diese Luftwurzeln sind bei Orchideen und manchen Aroideen mit einer schwammigen Hülle, dem Velamen radicum, versehen, die sie befähigt, die atmosphärischen Niederschläge aufzunehmen und aufzuspeichern. Die Luftwurzeln wachsen zum Teil gerade abwärts, werden sehr lang, bleiben in der Luft unverzweigt und verzweigen sich erst, wenn sie den Boden erreichen; sie fungieren dann als Nährwurzeln; zum Teil fliehen sie das Licht, bleiben verhältnismäßig kurz, unverzweigt und umklammern fremde Gegenstände, mit denen sie in Berührung kommen; sie sind dann Haftwurzeln. Bei manchen Orchideen, Aroideen, Farnen verzweigen sich aber die Haftwurzeln und bilden ein Geflecht, in welchem Humus sich sammelt. In diesen wachsen dann aus den Haftwurzeln Nährwurzeln hinein. Die frei in der Luft abwärts hängenden Nährwurzeln enthalten dagegen meist grünen Farbstoff in ihrer Rinde. Bei Orchideen der Gattungen *Angrecum*, *Taeniophyllum* fällt den Luftwurzeln die Ernährung der Pflanze vollständig zu; sie sind dann meist abgeflacht, entsprechend grün gefärbt, ohne schwammartige Hülle und ersetzen vollständig die Blätter, die zu nichtgrünen Schuppen reduziert erscheinen. Eine ähnliche Aufgabe fällt auch den abgeflachten, dorsiventralen, chlorophyllhaltigen Wurzeln der tropischen Podostemonaceen zu⁽²⁸⁾, jenen eigenartigen Phanerogamen von oft flechten- oder lebermoosartigem Aussehen, deren wir schon bei der Sproßfolge (S. 24) gedachten. — Ausschließlich Haftwurzeln besitzen viele Bromeliaceen, deren Blätter nicht allein die Arbeit der Assimilation, sondern auch die gesamte Wasseraufnahme besorgen. Alle Luftwurzeln der Epiphyten sind ihrem Ursprung nach Adventivwurzeln.

Die zahlreichen Adventivwurzeln, die dichtgedrängt die Stämme baumartiger Farne bedecken, werden nach dem Absterben sehr hart und dienen dann als Schutzorgane. Bei einigen Palmen (*Acanthorrhiza*, *Iriarteia*) bilden sich die Adventivwurzeln in der unteren Stammregion zu Dornen, also Wurzelstacheln um. Eine besondere Ausbildung erlangen die Stelzwurzeln gewisser tropischer Gewächse, der *Pandanus*-Arten und der sumpfbewohnenden Mangrove-Bäume. Die Pflanzen entsenden aus ihrem Stamme dicke Adventivwurzeln, die schräg abwärts in den Boden wachsen und auf welchen der Stamm schließlich wie auf Stelzen steht. Eigenartige Stützwurzeln treiben auch die *Ficus*-Arten, die indischen Banyan-Bäume, aus der Unterseite ihrer Äste und

ruhen dann auf diesen Wurzeln wie auf Säulen. — Gewissen Mangrove-Bäumen und anderen Sumpfbewohnern kommen auch eigenartige für Atmung eingerichtete Seitenwurzeln, die Atemwurzeln, zu, die aufwärts aus dem Sumpf hinauswachsen, meist auch mit besonderen Atemöffnungen versehen sind. Kräftigen Spargeln ähnlich umgeben solche Atemwurzeln die betreffenden Gewächse und sorgen für den nötigen Gasaustausch des im Schlamm steckenden Wurzelsystems. (Vgl. Fig. 213.)

Reduktion der Wurzel. Im allgemeinen besteht ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Stärke der Belaubung an den Sprossen und der Ausbildung des Wurzelsystems. Daher ist es auch begreiflich, daß bei Humusbewohnern und Schmarotzern, deren Blattbildung mehr oder weniger vollständig unterdrückt ist, auch die Wurzeln eine entsprechende Reduktion erfahren haben. An den Wurzeln der Schmarotzer pflegen besondere Saugauswüchse (Saugorgane) oder Haustorien ausgebildet zu werden. So an den Wurzeln der grünen Halbschmarotzer wie *Euphrasia*, *Odontites*, *Thesium*, die sich mit scheiben- oder warzenförmigen Auswüchsen an den Wurzeln ihrer Nährpflanzen festsaugen. In extremen Fällen kann die Entwicklung einer Bodenwurzel ganz unterbleiben und es werden nur Haustorien erzeugt, welche in die Nährpflanze eindringen: So bei *Cuscuta* (Fig. 202 H), deren Vertreter als Teufelszwirn, als Klee- und Flachsseide bezeichnet werden. Die Haustorien der *Rafflesiaceen* durchsetzen in Form gestreckter Zellfäden den Körper ihrer Nährpflanze und aus ihnen regeneriert sich der Parasit. So kommt es, daß die mächtigen Blüten der *Rafflesia Arnoldi* unmittelbar aus *Cissus*-Wurzeln hervorbrechen. In manchen Fällen sind die Wurzeln verschwunden und andere Teile des Pflanzenkörpers in ihre Aufgabe getreten; wir erwähnten bereits, daß bei der Orchidee *Coralliorrhiza innata* (Fig. 24) das Rhizom diese Funktion übernommen hat. Verschiedene Vertreter der Wasserpflanzen, wie *Salvinia*, die wurzellose Wasserlinse (*Wolffia arrhiza*), *Utricularia*, *Ceratophyllum*, haben ihre Wurzeln ganz eingebüßt, weil sie ihrer nicht mehr bedürfen; doch auch die epiphytische bartartige *Bromeliacee Tillandsia usneoides* entbehrt der Wurzeln und deckt ihren Wasserbedarf mit Hilfe der das Wasser kapillar festhaltenden Schuppenhaare.

Sondergebilde.

Auf Gebilde der Pflanzenkörper, welche die Merkmale verschiedener Grundformen in sich vereinigen und denen ein eigener phylogenetischer Ursprung wohl zukommt, hat K. GÖBEL hingewiesen⁽²⁹⁾. Das sind im besonderen bestimmte *Dioscoreaceenknollen* (Fig. 53), Knollen, welche dieser Familie monokotyler Schlingpflanzen zukommen. Diese Knollen bilden, in extremer Ausgestaltung, flache kuchenartige Körper und zeigen in ihrer Entwicklungsgeschichte und ihrem Bau eine gegenseitige Durchdringung der Merkmale von Stamm und Wurzel. — Auch die als Wurzelträger bezeichneten Gebilde der *Selaginella* (Fig. 54), die man teils als Wurzeln, teils als blattlose Sprosse, teils als Organe *sui generis* gedeutet hat, gehören hierher. Sie sind scheinbar blattlose Sprosse, die eine ansehnliche Länge erreichen, sich auch gabelig verzweigen können und nahe ihrer Spitze endogen Anlagen von Wurzeln bilden. Tatsächlich halten sie in ihrem Bau und in ihrem Verhalten die Mitte zwischen Sproß und Wurzel, und es ist nicht wahrscheinlich, daß sie von einer dieser beiden Grundformen abstammen.

Mannigfache Auswüchse der Pflanzenkörper, denen ein selbständiger Ursprung zukommt, hat man als Emergenzen zusammengefaßt. Dieser Bezeichnung kommt somit ein phylogenetischer Wert nicht zu. Sie faßt

Gebilde der verschiedensten Art zusammen, die als solche sowohl einem Thallus wie einem Kormus entspringen können. So hat man den Emergenzen

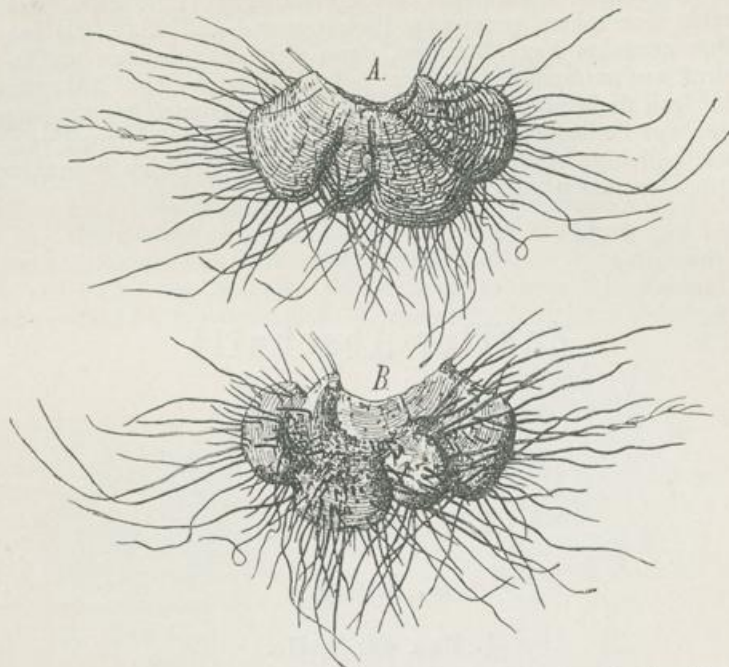


Fig. 53. *Dioscorea sinuata*. Von der Sproßachse abgetrenntes Knollenstück. A Von oben. B Von unten. Die Unterseite trägt Wurzeln. $\frac{1}{2}$ der nat. Gr. (Nach K. GÜBEL.)

die Rhizoide zugezählt, die als feine Fäden den Thallus vieler Thallophyten und auch den Kormus kormophyter Moose am Substrat befestigen; nicht minder die massigeren Haftorgane, welche derselben Aufgabe bei vielen braunen Algen (Fucaceen und Laminariaceen) dienen, so wie auch die Behälter der ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Fortpflanzungszellen (Sporangien und Geschlechtsorgane), die als mikroskopisch kleine Gebilde vom Körper der höheren Kryptogamen erzeugt werden. Zu den Emergenzen gehören, dieser Begriffsbestimmung nach, auch die Haare, Stacheln,

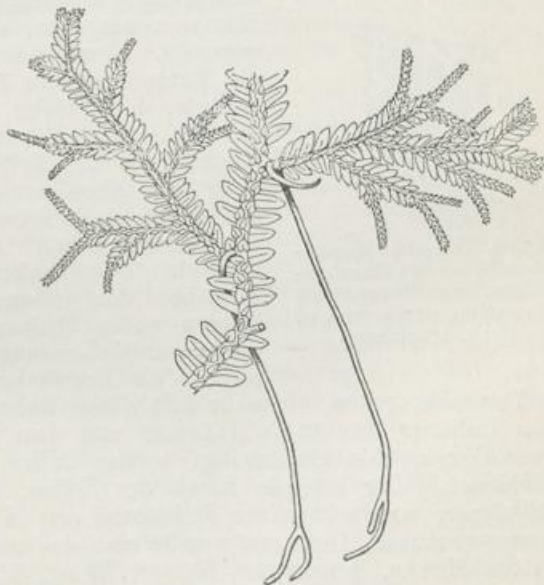


Fig. 54. Sproßstück von *Selaginella Martensii* mit Wurzelträgern. Nat. Gr. Aus GÜBEL, Organographie.

Drüsen, welche der Körper der höher organisierten Pflanzen an seiner Oberfläche trägt, sowie die zuvor behandelten Haustorien. Hier wären endlich auch die „Hapteren“ anzuführen, die eigenartigen Haftorgane, welche den Nährwurzeln der schon genannten Podostemonaceen (S. 24, 41) zukommen. Mit solchen zunächst kegelförmigen, dann sich abflachenden und in Lappen am Substrat ausbreitenden Gebilden befestigen sich jene Nährwurzeln an Steinen in stark fließenden Gewässern. Diesen Nährwurzeln entspringen auch die Sprosse der Podostemonaceen. Tatsächlich liegt kein Grund vor, warum nicht auch beliebige Auswüchse des Pflanzenkörpers sich besonderen Aufgaben hätten anpassen sollen⁽³⁰⁾.

Zweiter Abschnitt.

Innere Morphologie.

(Histologie und Anatomie.)

I. Zellenlehre.

A. Zelle.

1. Bau der Zelle.

Alle Pflanzen werden, so wie die Tiere, aus Elementarorganen aufgebaut, die wir als Zellen bezeichnen. Im Gegensatz zu den tierischen



Fig. 55. Teil eines HOOKEschen Bildes des Flaschenkorkes, von HOOKE als Schematism, or Texture of Cork, bezeichnet.

Zellen sind ausgeprägt pflanzliche Zellen mit festen Häuten umgeben, daher scharf voneinander abgegrenzt. Dieser Umstand hat es auch bedingt, daß die Entdeckung der Zellen zuerst bei den Pflanzen erfolgte, doch waren das, was man zunächst sah, nur ihre Häute. Ein englischer Mikrograph, ROBERT HOOKE, gab den Zellen diesen Namen auf Grund ihrer Ähnlichkeit mit den Zellen der Bienenwaben, und bildete sie in seiner Mikrographie im Jahre 1667 zum erstenmal ab. Das Bild wurde nach einem Stückchen Flaschenkork entworfen und hatte das Aussehen der nebenstehenden Fig. 55. ROBERT HOOKE wollte übrigens an den dargestellten Objekten nur die Leistungsfähigkeit seines Mikroskopes zeigen; als Begründer der pflanzlichen Histologie

darf er nicht gelten, vielmehr fällt dieser Ruhm zwei anderen Gelehrten zu, dem Italiener MARCELLO MALPIGHI und dem Engländer NEHEMIAH GREW, deren Werke fast gleichzeitig, wenige Jahre nach HOOKES Mikrographie, erschienen. Der lebende Inhalt der Zellen, der eigentliche Zellleib oder Zellkörper, wurde in seiner Bedeutung erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts erkannt. Dann erst wandte man sich auch eingehend seinem Studium zu, das MEYEN, SCHLEIDEN, HUGO V. MOHL, NÄGELI, DE BARY, FERDINAND COHN, PRINGSHEIM und MAX SCHULTZE anbahnten und das dauernd noch gefördert wird.

Untersuchen wir bei starker Vergrößerung, auf zarten Längsschnitten, den Sproßscheidung einer phanerogamen Pflanze, wie wir ihn zuvor schon bei schwacher Vergrößerung (Fig. 17) betrachtet haben, so sehen wir ihn gebildet von annähernd rechteckig erscheinenden Zellen, die mit Inhalt dicht angefüllt und durch zarte Wände getrennt sind (Fig. 56). In jeder dieser Zellen fällt ein runder Körper (*k*) auf, der den größten Teil des Zellraums ausfüllt und den man Zellkern, oder auch nur Kern, Nucleus, nennt. Vergleicht man Schnitte, die nach verschiedener Richtung durch den Vegetationskegel geführt werden, mit einander, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die Zellen, die ihn aufbauen, annähernd kubisch oder tafelförmig sind, ihre Kerne mehr oder weniger kugelige oder scheibenförmige Gestalt besitzen. Die den Raum zwischen Zellkern (*k*) und Wandung (*m*) erfüllende Zellschubstanz (*cy*) erscheint feinkörnig; sie stellt das Zellplasma oder Cytoplasma vor. Um den Zellkern findet man, in dem Cytoplasma verteilt, stark lichtbrechende, meist farblose Körperchen, welche Farbträger oder

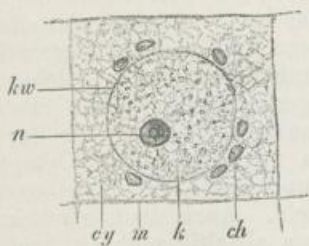


Fig. 56. Embryonale Zelle aus dem Vegetationskegel einer phanerogamen Pflanze. *k* Zellkern, *kw* Kernwandung, *n* Kernkörperchen, *cy* Cytoplasma, *ch* Chromatophoren, *m* Zellwandung. Etwas schematisiert. Vergr. ca. 1000.

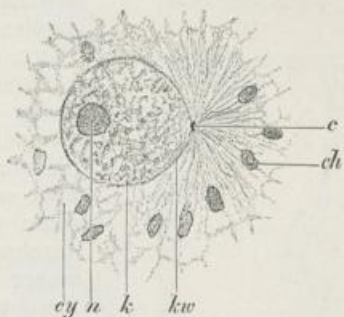


Fig. 57. Ein Kern und das ihn zunächst umgebende Cytoplasma *cy* aus einer Zelle der Keimpflanze der braunen Meeresalge *Fucus serratus*. *k* Kern, *kw* Kernwandung, *n* Kernkörperchen, *c* Centrosom, *ch* Chromatophoren. Vergr. ca. 100.

Chromatophoren (*ch*) genannt werden. Zellkern, Cytoplasma und Chromatophoren sind die Elemente des lebendigen Körpers einer typischen pflanzlichen Zelle. Man faßt diese Elemente im Begriff des Protoplasma, oder Plasma, zusammen, das somit alle lebenden Bestandteile des Zellkörpers oder Protoplasten in sich schließt.

In tierischen Zellen haben neuere Untersuchungen außer den eben genannten Bestandteilen des Protoplasma, in unmittelbarer Nähe des Kerns, meist auch noch die Existenz kleiner Gebilde nachgewiesen, die man als Centrosomen, aber auch als Centriolen, Zentralkörper und Attraktionssphären bezeichnet. Ähnliche Gebilde gelang es auch im Pflanzenreich in den Zellen niederer Kryptogamen nachzuweisen (Fig. 57 *c*), während sie in den Zellen der höheren Kryptogamen und Phanerogamen allem Anschein nach fehlen⁽³¹⁾.

Die beiden wesentlichsten Bestandteile des Protoplasma sind der Kern und das Cytoplasma, und auf ihrer Wechselwirkung beruhen die Lebensfunktionen der Zelle. Doch ist für die niedersten Gewächse, Spaltalgen (Cyanophyceen) und Bakterien, diese Arbeitsteilung im Protoplasma, im besonderen das Vorhandensein von Zellkernen noch streitig⁽³²⁾. Dem Protoplasma der Bakterien und der Pilze fehlen bestimmt die Chromatophoren und sie gehen auch allen tierischen Zellen ab.

Während die tierischen Zellen im allgemeinen dauernd mit Protoplasma angefüllt bleiben, sieht man in pflanzlichen Zellen sich alsbald große Safräume bilden. Nur die embryonalen Zellen der Pflanzen sind mit Protoplasma meist dicht erfüllt. So zeigen sie sich in Keimanlagen und an Vegetationspunkten. Späterhin werden die pflanzlichen Zellen, an Größe zunehmend, im Verhältnis plasmaärmer. Das läßt sich an jedem Längsschnitt durch einen Sproßscheidung verfolgen. In einiger Entfernung von seiner Spitze weisen die vergrößerten Zellen bereits eine größere Anzahl mit wässerigem Saft, Zellsaft, erfüllter Hohlräume, Vakuolen (*v* in *A* Fig. 58) in ihrem Cytoplasma auf. Die Zellen fahren dann noch fort an Größe zuzunehmen, die Vakuolen in ihrem Cytoplasma verschmelzen, und schließlich wird meist ein Zustand erreicht, der nur noch einen einzigen großen, mit Zellsaft erfüllten Hohlraum, den Saft-raum (*v* in *B* Fig. 58), im Cytoplasma der Zelle aufweist. Dann bildet das Cytoplasma einen dünnen Beleg an der Zellwandung und in diesem Beleg ist auch der Kern eingebettet, der in solcher Lage als ein wandständiger bezeichnet wird. Es kann aber auch in einer ausgewachsenen Zelle der Saft-raum von Strängen und Fäden aus Cytoplasma durchsetzt bleiben und der Kern dann innerhalb dieser aufgehängt sein. Auch dann erscheint der Kern von Cytoplasma allseitig umhüllt, und stets ist auch in jeder noch lebenden Zelle ein ununterbrochener Beleg aus Cytoplasma an der Zellwandung vorhanden. — Dieser cytoplasmatische Wandbeleg liegt der Zellwandung überall dicht an. In älteren Zellen kann er so dünn werden, daß man ihn nicht unmittelbar beobachten kann. Erst wasserentziehende Mittel, die sein Zurücktreten von der Zellwandung veranlassen, machen ihn alsdann sichtbar. So dünne cytoplasmatische Wandbelege waren es, die HUGO VON MOHL als Primordialschläuche bezeichnete.

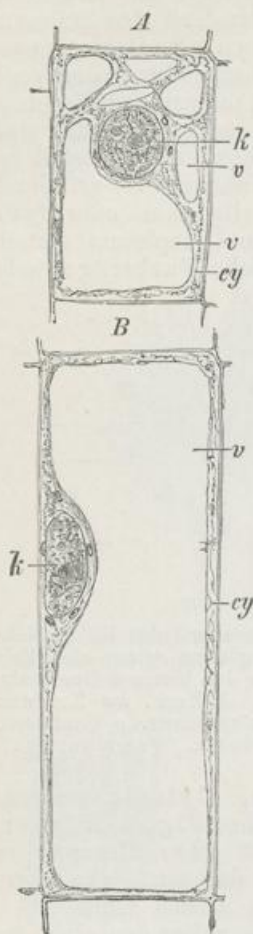


Fig. 58. Zwei getrennte Zellen in steigender Entfernung vom Vegetationspunkt, einem phanerogamen Sproßscheidung entnommen. *k* Kern, *cy* Cytoplasma, *v* Vakuolen bzw. Saft-raum. Etwas schematisiert. Vergr. ca. 500.

tote Zellräume könnte die höher organisierte Pflanze nicht auskommen, denn sie bilden ihre Wasserbahnen und tragen zu ihrer mechanischen Festigung bei. Das Kernholz unserer Bäume besteht ausschließlich aus Wandungen toter Zellen.

Das Protoplasma. Um einen Einblick in das Wesen des Protoplasma zu gewinnen, wenden wir uns zunächst an eine Gruppe von Organismen,

In toten Zellen findet man nur Plasmareste; es können auch diese vollständig geschwunden sein. Solche tote Zellen verdienen streng genommen die Bezeichnung „Zelle“ nicht mehr, wenn es auch gerade solche Gebilde waren, die den Namen „Zellen“ zuerst erhielten. Eigentlich stellen sie dann nur noch Zellräume vor. Ihre Bedeutung für den Pflanzenkörper brauchen die Zellen mit ihrem Tode aber nicht einzubüßen. Ja, ohne solche

die an der Grenze zwischen dem Pflanzenreich und dem Tierreich steht, an die Schleimpilze oder Myxomyceten, die durch einen Entwicklungszustand ausgezeichnet sind, auf welchem ihr Protoplasma in größeren nackten Massen, den sog. Plasmodien, auftritt.

Das Plasmodium geht aus dem Protoplasma der Sporen dieser Organismen hervor. Ihre Sporen sind einzellige Gebilde (Fig. 59 *a* und *b*), erfüllt mit Cytoplasma, das einen zentralen Zellkern birgt und von einer resistenten Zellwand umhüllt ist. In Wasser keimen die Sporen, ihr Inhalt sprengt die Wandung, tritt nach außen hervor (*c* und *d*), und rundet sich ab. Als bald stellen sich Gestaltsänderungen an ihm ein und er streckt sich zu einem birnförmigen Körper, dessen vorderes Ende sich fadenförmig, als Geißel, verlängert (*e*, *f*, *g*). Die in solcher Weise aus dem Sporenhalt erzeugte

Schwärmspore versetzt nun ihre Geißel in peitschenartige Bewegung und schwimmt davon. In der Nähe ihres vorderen Endes führt sie den Kern, nahe am hinteren Ende eine kontraktile Vakuole, das heißt ein Bläschen, das langsam anschwillt, um plötzlich zu schwinden und dann wieder anzuschwellen. Das Vorhandensein solcher pulsierender Vakuolen bei einem Organismus galt früher als entscheidendes Merkmal seiner tierischen Natur. Jetzt

kennt man kontraktile Vakuolen auch in den Schwärmsporen zahlreicher grüner Algen, deren Zugehörigkeit zum Pflanzenreich nicht zu bezweifeln ist.

Die Schwärmsporen der Myxomyceten geben als bald das Schwärmen auf, beginnen auf der Unterlage zu kriechen, ziehen ihre Geißeln ein und nehmen eine unregelmäßige Gestalt an, die derjenigen tierischer Amöben gleicht. In diesem Zustande verändern sie auch fortwährend, gleich Amöben, ihre Gestalt. Bei *Chondrioderma difforme*, einem Myxomyceten, der auf

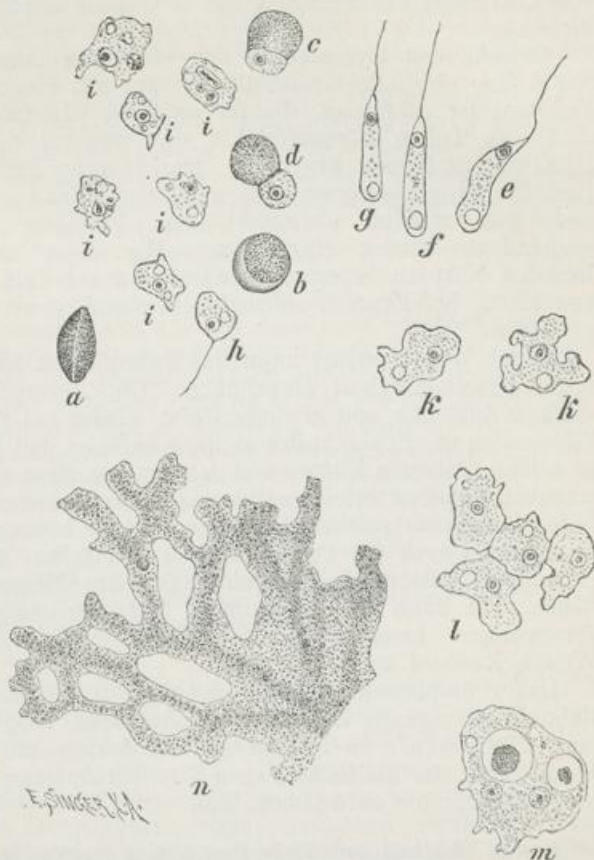


Fig. 59. *Chondrioderma difforme*. *a* Eine trockene, zusammengefaltete Spore, *b* eine geschwellte Spore, *c* und *d* Austritt des Inhalts aus der Spore, *e*, *f* und *g* Schwärmsporen, *h* Übergang der Schwärmspore zur Myxoamöbe, *i* jüngere, *k* ältere Myxoamöben, *l* aneinander liegende Myxoamöben kurz vor der Verschmelzung, *m* ein kleines Plasmodium, *n* Ast eines ausgewachsenen Plasmodiums. *a*—*m* 540 mal, *n* 90 mal vergrößert.

faulenden Pflanzenteilen sehr verbreitet ist und den unsere Fig. 59 vorführt, so wie auch bei den meisten anderen Myxomyceten, beginnen die Amöben alsbald sich aneinander zu legen (*l*) und zu verschmelzen. So entsteht das Plasmodium (*n*).

Während die einzelnen Amöben, aus welchen das Plasmodium hervorgeht, so klein sind, daß man sie erst bei starker Vergrößerung sehen kann, erreicht das Plasmodium, in das sie übergehen, oft eine ansehnliche Größe.

Sowohl das Cytoplasma der einzelnen Amöben wie der Plasmodien weist eine glashelle Grundsubstanz auf mit eingestreuten Körnchen. Diese Substanz ist zähflüssig, dichter an ihrer Oberfläche als im Innern, in den dichteren Teilen körnerfrei, in den weniger dichten körnerreich und in lebhafter Strömung begriffen. Die inneren Ströme wechseln fortdauernd ihre Richtung, bewegen sich nach dem Rande zu oder von ihm hinweg, und dort werden entweder neue Fortsätze vorgestreckt oder schon vorhandene wieder eingezogen. Wo diese nackten Protoplasamassen fremden Körpern begegnen, sind sie auch befähigt, sie in ihr Inneres aufzunehmen, in Vakuolen einzuschließen und, soweit das möglich ist, auch zu verdauen.

Durch Wasserverlust kann das Protoplasma hart und zähe werden, ohne seine Lebensfähigkeit einzubüßen. Die Lebensfunktionen ruhen aber in solchem Zustande und erwachen erst wieder bei Wasserzufuhr. So sind die Plasmodien der Schleimpilze vielfach befähigt, bei Wassermangel Sklerotien zu bilden, ruhende Körper von fast wachsartiger Konsistenz. Nach Monaten, manchen Angaben zufolge selbst nach Jahren, lassen sich nach entsprechender Befeuchtung aus solchen Sklerotien wieder bewegliche Plasmodien erziehen. So trocknet auch das Protoplasma in den Zellen länger aufbewahrter Samen zu harten Massen ein, die sich mit dem Messer schneiden lassen. Die Kerne sind dann zu unförmlichen Gebilden zusammengeschrunpft, nichtsdestoweniger kann auch dieses Protoplasma nach Wasseraufnahme den aktiven Zustand zurtückerlangen.

Das Protoplasma ist nicht ein einheitlicher chemischer Körper, es stellt vielmehr eine große Zahl von Verbindungen vor, die andauernde Veränderungen erfahren. In seinem Aufbau fehlen nie die Eiweißstoffe, daher das Protoplasma als Ganzes stets Eiweißreaktionen gibt und beim Verbrennen Ammoniakdämpfe entweichen läßt.

Das in Tätigkeit befindliche Protoplasma reagiert für gewöhnlich alkalisch, unter Umständen auch neutral, niemals aber sauer. Es gerinnt in höher organisierten Pflanzen bei Temperaturen, die nicht viel über 50° C. liegen, in Spaltpflanzen (Spaltalgen und Spaltpilzen) oft erst bei 75° C. Im inaktiven Zustande, wo es sehr wasserarm ist, so in ruhenden Sporen und Samen, kann das Protoplasma weit höhere Temperaturen ohne Schaden ertragen. Die Sporen mancher Spaltpilze (Bakterien) halten Temperaturen bis 105° C. aus. Durch Alkohol oder Äther, durch Säuren von bestimmter Konzentration, durch doppeltchromsaure Salze der Alkalimetalle, durch Sublimatlösungen wird das Protoplasma zum raschen Erstarren gebracht, wobei zum Teil unlösliche Proteinverbindungen entstehen. Diese Gerinnungsmittel spielen jetzt eine große Rolle in der mikroskopischen Technik, insbesondere solche, die möglichst unverändert die Struktur des Protoplasma fixieren und es zugleich härten. Vornehmliche Verwendung finden zu diesem Zwecke Alkohol, 1% Chromsäure, 1% Essigsäure, 0,5–1% Osmiumsäure, konzentrierte Pikrinsäure, oder entsprechende Gemische dieser Säuren, auch Sublimatlösungen und Formaldehyd. — Durch Jod wird das Protoplasma bräunlichgelb gefärbt, braungelb durch Salpetersäure und darauffolgende Kalilauge (sog. Xanthoprotein-Reaktion), ziegelrot durch eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul, dem sog. MILLONschen Reagens, rosenrot bei Anwesenheit von Zucker durch Schwefelsäure.

Diese Reaktionen geben Eiweißkörper an, sind ihnen aber nicht ausschließlich eigen. — Durch verdünnte Kalilauge wird das Protoplasma gelöst, so auch durch JAVELLESche Lauge (Eau de JAVELLE, vornehmlich Kaliumhypochlorid), daher kommen beide auch als erprobte Mittel zum Durchsichtigmachen von Präparaten, die man nicht auf ihren Zellinhalt hin untersuchen will, in Anwendung. Alle die angeführten Reagentien töten das Protoplasma; darauf stellt sich überhaupt erst die charakteristische Reaktion ein. — Es ist eine ganze Reihe von Eiweißstoffen angegeben worden, die in den Aufbau des lebendigen Protoplasma eingehen sollen. Die meisten dieser Körper sind aber noch wenig definiert; in den Zellkernen dominieren die Nucleine, ohne übrigens auch dem Cytoplasma ganz zu fehlen. Sie zeichnen sich durch ihren Phosphorreichtum aus und werden von Pepsinlösung nicht, von Trypsin nur schwer angegriffen. — Zu einem sehr wesentlichen Hilfsmittel der mikroskopischen Forschung für die Unterscheidung verschiedener Bestandteile des Protoplasma ist das Färbungsverfahren geworden. Sein Wert beruht darauf, daß die verschiedenen Bestandteile des Protoplasma mit ungleicher Begierde Farbstoffe aufnehmen und mit verschiedener Kraft festhalten. Eine Anzahl von Farbstoffen wird erst vom toten Protoplasma merklich gespeichert, gewisse Anilin-Farbstoffe dringen auch in geringen Mengen auch in den lebendigen Protoplasten ein. Zur Färbung der fixierten pflanzlichen Protoplasten bedient man sich vornehmlich der Karminlösungen, des Hämatoxylin, des Safranins, des Jodgrüns, des Säurefuchsin, Eosins, Gentanviolett, Orange, des Methylen- und Anilinblaus. Die verschiedenen Teile des Protoplasma färben sich alsdann mit verschiedener Stärke und halten den Farbstoff verschieden stark zurück, wenn man ihn durch Lösungsmittel wieder auszuziehen sucht. Im allgemeinen färbt sich der Zellkern am intensivsten, im besonderen aber eine bestimmte Substanz in ihm, die eben dieser Eigenschaft wegen als Chromatin bezeichnet wird. — Abgesehen von denjenigen Substanzen, welche als integrierende Bestandteile des aktiven Protoplasma aufzufassen sind, enthält letzteres wohl stets Spaltungsprodukte der Albuminate, vor allem Amide wie Asparagin, Glutamin, dann Fermente, wie Diastase, Pepsin, Invertin, unter Umständen auch Alkaloide, außerdem wohl stets Kohlehydrate und Fette. Daß Mineralstoffe im Protoplasma nicht fehlen, wenn sie auch nur in geringer Menge vertreten sind, zeigt die Asche, welche das Protoplasma nach dem Verbrennen zurückläßt. Alle solche Substanzen, welche das Protoplasma nicht unmittelbar aufbauen, sondern in ihm eingeschlossen sind, werden als Metaplasma zusammengefaßt.

Das Cytoplasma. Das Cytoplasma der umhüteten pflanzlichen Zellen ist meist eine mehr oder weniger zähflüssige Masse. Es teilt demgemäß auch die physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, und strebt, aus seiner Hülle künstlich befreit, der Kugelform zu. In embryonalen Zellen der Pflanzen pflegt die Kohäsion im Cytoplasma größer als in älteren Zellen zu sein und sie kann sich an manchen cytoplasmatischen Gebilden bis zu einer Konsistenz steigern, die wir als fest bezeichnen müssen, so beispielsweise in den Geißeln von Schwärmsporen (S. 47).

Wie in dem Cytoplasma der Schleimpilze ist auch in den behüllten pflanzlichen Zellen die Grundsubstanz hyalin. Sie wird als Hyaloplasma bezeichnet. Ist sie mit Körnchen beladen, so heißt sie Körnerplasma oder Polioplasma. Nach außen ist das Cytoplasma von einer äußerst dünnen, körnchenfreien Plasmahaut, der Hautschicht, umschlossen. Gegen den Saft Raum (S. 46) und andere Vakuolen grenzt sich das Cytoplasma ebenfalls durch körnchenfreie Plasmahäute in Form von Vakuolenwänden ab. Diese Vakuolenwände zeichnen sich durch große Lebensfähigkeit aus. Man kann mit 10prozentiger Salpeterlösung das übrige Cytoplasma töten, während die Vakuolenwände zunächst lebendig bleiben. Da der Saftdruck in der Zelle unter der Herrschaft dieser Vakuolenwände steht, so nennt sie HUGO DE VRIES⁽³³⁾ Tonoplasten.

Die kleinen Körnchen, die das Körnerplasma aufweist, werden als Kleinkörper oder Mikrosomen zusammengefaßt. Ihre stoffliche Natur ist

verschieden. Zum Teil stellen sie mit gelösten Stoffen erfüllte Bläschen dar, die als Physoden bezeichnet worden sind.

Wie in den nackten Amöben und Plasmodien der Schleimpilze, so läßt auch in behäuteten pflanzlichen Zellen das Cytoplasma oft Bewegung erkennen. Meist fällt sie in etwas älteren Zellen auf, doch versucht jetzt N. GAIDUKOV⁽³⁴⁾ mit Hilfe des neuerdings erfundenen Ultramikroskops ihre allgemeine Verbreitung in pflanzlichen Protoplasten nachzuweisen. Wir lernten bereits bei den Schleimpilzen verschiedene Arten der Bewegung kennen: die Geißelbewegung an den Schwärmsporen, die in einer Schwingung feiner Cytoplasmafäden bestand, die äußere Gestaltsveränderung an den Amöben und Plasmodien, die sie zu einer kriechenden Bewegung befähigt, endlich eine innere Strömung. In den behäuteten pflanzlichen Zellen

pflügt sich das Cytoplasma entweder in isolierten Strömen mit wechselnder Richtung oder in einem einzigen Strom in konstanter Richtung zu bewegen. Man unterscheidet danach zwischen Zirkulation und Rotation des Cytoplasma. Der Rotationsstrom folgt der Zellwandung; in den Zellen, die ihn zeigen, ist das Cytoplasma auf einen Wandbeleg reduziert. Der Strom beschreibt eine kreisende, in sich zurücklaufende Bahn. Die Zirkulationsströme sind nicht auf den Wandbeleg beschränkt, sie durchsetzen auch in Strängen den Saft Raum. Die Hautschicht nimmt in keinem Falle an der Strömung teil. Die Zirkulation ist in den Zellen der Landpflanzen häufig, die Rotation herrscht bei Wasserpflanzen vor. Die Strömung wird oft besonders kräftig, wenn durch eine Verwundung, so durch den Schnitt bei Herstellung des zu beobachtenden Präparats, ein Reiz auf die Protoplasten ausgeübt wurde⁽³⁵⁾.



Fig. 60. Eine Zelle aus einem Staubblatthaare von *Tradescantia virginica*. Innerhalb der Stränge in der unteren Zelhälfte der runde Zellkern. Vergr. 240.

Ein besonders günstiges Objekt für das Studium der Zirkulation geben die Staubblatthaare von *Tradescantia virginica* ab. In jeder ihrer Zellen (Fig. 60) bewegen sich feine Ströme nach verschiedenen Richtungen im dünnen cytoplasmatischen Wandbeleg, außerdem innerhalb der den Saft Raum durchsetzenden Cytoplasmastränge. Letztere verändern dabei langsam ihre Gestalt und ihre Lage und veranlassen dadurch auch Lageänderungen des Kerns.

Von dem in Rotation befindlichen Körnerplasma werden Zellkern und Chromatophoren meist mitgeführt, doch können die Chromatophoren an der Hautschicht haften und infolgedessen unbeweglich sein. So ist es beispielsweise bei den Armleuchtergewächsen (Characeen), Süßwasserpflanzen, deren lange Gliederzellen in der Gattung *Nitella* besonders günstige Objekte für die Beobachtung auffälliger Rotationsströmung abgeben.

Cytoplasma, das mit entsprechenden Mitteln fixiert wurde (S. 48) erscheint als zartes Netz-, Gerüst- oder Wabenwerk, in welches kleine Körnchen eingelagert sind. Auf bestimmten Entwicklungszuständen wird dieses Gebilde noch von besonderen Fäden durchzogen, die bei zutreffender Färbung deutlich vortreten (Fig. 57)⁽³⁶⁾.

Der das Netz-, Gerüst- oder Wabenwerk bildende Teil des Cytoplasma scheint besonders an den Ernährungsvorgängen im Protoplasma beteiligt zu sein und hat daher die Bezeichnung Trophoplasma erhalten, der fadenförmig ausgebildete Teil greift vornehmlich in die Entwicklungsvorgänge ein, man hat ihn Kinoplasma, auch Archiplasma genannt.

Die Hautschicht der Cytoplasten gehört ihrem entwicklungsgeschichtlichen Ursprung nach zum Kinoplasma, die Vakuolenwände zum Trophoplasma. Nicht selten sind auch bei der Fixierung erst erfolgte Eiweißfällungen als Strukturen des Cytoplasma gedeutet worden⁽³⁷⁾.

Der Zellkern⁽³⁸⁾ stellt im ruhenden Zustande ein wabig-netzartiges Gerüstwerk dar, in dessen Substanz zahlreiche Körnchen eingebettet sind (Fig. 56). Am lebenden Objekt ist von diesem Aufbau wenig zu erkennen und die Substanz des Kerns erscheint nur fein punktiert. Eine Strömung findet im Innern des Zellkerns nicht statt. Einblick in die Kernstruktur ist nur an entsprechend fixierten und gefärbten Präparaten zu erlangen. Man stellt dann auch fest, daß die Hauptmasse des Gerüsts sich nur schwächer färbt, während die Körnchen Farbstoff speichern. Die Substanz des Gerüsts hat man als Linin, die der Körnchen als Chromatin unterschieden. Zwischen den Maschen des Gerüsts liegen, in Ein- oder Mehrzahl, die größeren, sich auch intensiv, doch meist anders als die Chromatinkörnchen, färbenden Kernkörperchen oder Nucleolen (*n*). Das Gerüstwerk des Kerns befindet sich innerhalb der Kernhöhle, die mit Kernsaft gefüllt und von einer Kernwandung (*kw*) umgeben ist. Die Kernwandung gehört zu dem umgebenden Cytoplasma; sie ist eine Hautschicht, mit der sich das Cytoplasma gegen die Kernhöhle abschließt. — In jungen protoplasmareichen Zellen ist der Zellkern im allgemeinen rund, in dem cytoplasmatischen Wandbeleg älterer Zellen oft scheibenförmig, in gestreckten Zellen nimmt er auch langgestreckte Formen an; ausnahmsweise zeigt er sich in älteren Zellen spindelförmig gestaltet, oder gabelig geteilt, oder gelappt, oder sonst unregelmäßig ausgebildet. Um eine solche Form zu erlangen, macht der Zellkern langsame Gestaltsveränderungen durch, meist aber so langsam, daß sie sich der direkten Beobachtung entziehen. In embryonalen Geweben ist der Kern besonders groß im Verhältnis zur Gesamtmasse des Protoplasten. Sezernierende Zellen pflegen mit großen Kernen ausgestattet zu sein.

Fast ausschließlich haben wir es im Aufbau der Kormophyten nur mit einkernigen Zellen zu tun; bei den Thallophyten hingegen sind vielkernige Zellen sehr verbreitet, und bei den Pilzen und den Schlauchalgen (Siphoneen) herrschen sie vor. Der ganze Organismus wird alsdann entweder von einer einzigen solchen vielkernigen Zelle gebildet, die bei einigen Schlauchalgen eine weitgehende äußere Gliederung erlangt hat (Fig. 295), oder er besteht aus einer größeren Zahl vielkerniger Zellen in gegenseitiger Verbindung. So folgen vielkernige Zellen, zu einem Faden verbunden, aufeinander, bei der uns schon bekannten Süßwasseralge *Cladophora glomerata* (S. 9, Fig. 6). Jede Zelle des Fadens läßt, nach entsprechender Behandlung, in den äußeren Teilen ihres Cytoplasma zahlreiche Kerne erkennen (Fig. 61).

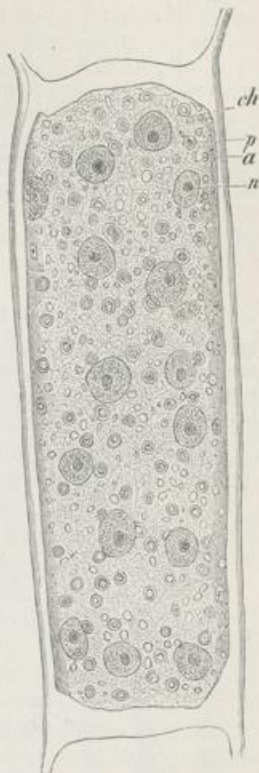


Fig. 61. Eine Zelle von *Cladophora glomerata*, nach einem mit 1% Chromsäure fixierten und mit Karmin tingierten Präparate. *n* Kerne, *ch* Chromatophoren, *p* Amylumherde, *a* Stärkekörnchen. Vergr. 540.

Die langen vielkernigen Zellen der Pilze, von schlauchförmiger Gestalt, bezeichnet man als Hyphen. Ein Stück einer solchen Hyphe zeigt Fig. 62. Die Kerne der Pilze (*n* Fig. 62) und vieler Schlauchalgen zeichnen sich durch geringe Größe aus.

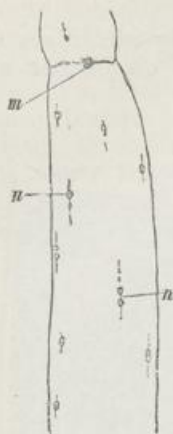


Fig. 62. Zwei Stücke aufeinander folgender Zellen einer Hyphe aus dem Stiel des Fruchtkörpers von *Psalliotia arvensis*. *n* Kerne, *m* Tüpfel. Vergr. 540.

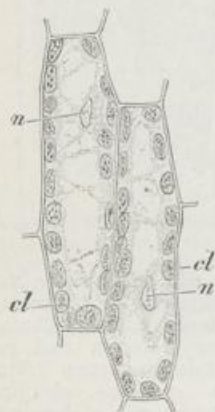


Fig. 63. Zwei Zellen mit Chlorophyllkörnern (*cl*) aus dem Blatt des Laubmooses *Funaria hygrometrica*. *n* Zellkerne. Vergr. 300.

Die Centriolen und Centrosomen. Bei den niederen Kryptogamen (Thallophyten und Bryophyten) gelang es in einer Anzahl von Fällen, Gebilde nachzuweisen, welche den tierischen Centriolen und Centrosomen entsprechen. Wo Centriolen vorhanden sind, wie bei gewissen Meeresalgen (*Fucus*, Fig. 57), zeigen sie hantelförmige Gestalt. Größere Abgrenzungen von aktivem Cytoplasma kommen verschiedenen Pilzen zu und wären mit den tierischen Centrosomen zu vergleichen, doch ohne, wie jene, im Innern Centriolen einzuschließen. Ähnliche Gebilde stellen sich endlich in den Mutterzellen der Spermatozoiden bei den Bryophyten, Pteridophyten und bestimmten Gymnospermen⁽³⁹⁾ ein. Sie werden dort als Blepharoplasten bezeichnet und geben das Material zum Aufbau der Cilien der Spermatozoiden ab. Im übrigen sind in den Zellen der höher organisierten Pflanzen Gebilde, die sich mit Centriolen und Centrosomen vergleichen ließen, nicht nachgewiesen worden.

Die Chromatophoren⁽⁴⁰⁾. In den embryonalen Zellen der Keimanlagen und Vegetationspunkte stellen die Chromatophoren kleine farblose, stark lichtbrechende Gebilde dar, die sich vornehmlich in der Nähe des Zellkerns (Fig. 56 *ch*) aufhalten. Sie können dieses Aussehen auch in älteren Zellen behalten (Fig. 111 *A, l*), oder erfahren dort eine weitere Ausbildung zu Chloroplasten, Leukoplasten oder Chromoplasten, die, als Gebilde gleichen Ursprungs, unter der Bezeichnung Chromatophoren zusammengefaßt werden.

Chloroplasten. In peripherischen dem Lichte ausgesetzten Teilen der Pflanze werden aus den Anlagen der Chromatophoren meist grüne Chloroplasten oder Chlorophyllkörper erzeugt. Sie liegen im protoplasmatischen Wandbeleg der Zellen und zeigen für gewöhnlich die Gestalt ellipsoidischer, etwas abgeflachter Körner (Fig. 63). In dieser Form, als Chlorophyllkörner, treten sie uns bei allen Kormophyten und bei einem großen Teile grün gefärbter Thallophyten entgegen. Bei den niederen Algen können die Chlorophyllkörper aber auch anders gestaltet sein und handförmige (Fig. 264 *c*), sternförmige oder plattenförmige Gestalten aufweisen. Sie

schließen dann oft Pyrenoide ein, runde Proteinkörper, die einen Eiweißkristall in sich bergen und von kleinen Stärkekörnern umhüllt werden (Fig. 264). Die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper ist farblos, führt aber zahlreiche gefärbte Körnchen, die man als Grana bezeichnet. Letztere bestehen aus einer fettartigen Substanz, welche grüne und gelbe Farbstoffe enthält. Mit Alkohol lassen sich diese Farbstoffe extrahieren, der Chlorophyllkörper bleibt farblos zurück. Am schnellsten läßt sich eine intensive Chlorophylllösung aus Laubblättern erhalten, die man mit siedendem Alkohol

auszieht. Außer in Alkohol sind die Chlorophyllfarbstoffe auch in Äther, fetten und ätherischen Ölen, Paraffin, Petroleum, Schwefelkohlenstoff löslich. Die alkoholische Lösung erscheint bei durchfallendem Lichte smaragdgrün, bei auffallendem Lichte blutrot, letzteres infolge von Fluoreszenz. — Wird eine alkoholische Chlorophylllösung mit Benzin geschüttelt, so sammelt sich letzteres hierauf, wie KRAUS zuerst zeigte, als grüne Lösung über dem gelben Alkohol an. — Nach MARCHLEWSKI und C. A. SCHUNK⁽⁴¹⁾ enthalten die alkoholischen Extrakte der höher organisierten Gewächse zwei grüne Farbstoffe, das eigentliche Chlorophyll, das niemals fehlt, und das Allochlorophyll, das unter Umständen fehlen kann. Die gelben Farbstoffe der Chlorophyllkörner pflegen als Xanthophylle zusammengefaßt zu werden. Unter diesen Farbstoffen ist nur das Chrysophyll, das glänzend rote Kristalle bildet, bisher sicher unterschieden. Die übrigen Xanthophylle bilden amorphe Massen. — Das eigentliche Chlorophyll ist durch drei Absorptionsbänder im weniger brechbaren Teile des Spektrums und drei im stärker gebrochenen ausgezeichnet, während für Allochlorophyll bis jetzt nur ein Band im Rot sicher steht. Die gelben Farbstoffe der Chlorophyllkörper geben drei ausgesprochene Absorptionsbänder in der violetten Region des Spektrums. — Die Menge des bei grünen Pflanzenteilen vorhandenen Chlorophyllgrüns ist nur gering. TSCHIRCH⁽⁴²⁾ berechnet, daß aus einem Quadratmeter grüner Laubblätter nur 0,2–1,0 g Chlorophyll zu gewinnen ist.

Aus den Untersuchungen von MARCHLEWSKI und von NENCKI hat sich die wichtige Tatsache einer chemischen Verwandtschaft des Chlorophylls mit dem Hämoglobin der roten Blutkörperchen ergeben⁽⁴³⁾.

Die grüne Färbung des Chlorophylls wird in bestimmten Abteilungen der Algen durch andere Färbungen ersetzt. Aus den Chlorophyllkörpern vieler blaugrünen und spangrünen Spaltalgen sind außer dem Chlorophyllgrün und den dasselbe begleitenden gelben Farbstoffen, auch ein blauer Farbstoff, das Phycocyan, aus den roten Meeresalgen ein roter, das Phycoerythrin gewonnen worden. Diese Farbstoffe sind im Wasser löslich und zeigen schöne Fluoreszenz. Um blaugrüne Spaltalgen, die man in einer Pflanzenpresse trocknet, bildet das Phycocyan oft einen blauen Saum.

Ob ein Gemenge dieser Farbstoffe mit Chlorophyll vorliegt, oder eine chemische Verbindung, ist noch nicht entschieden⁽⁴⁴⁾. Für die Diatomeen, die braunen Meeresalgen und auffallender Weise auch die Orchidee *Neottia nidus avis*, sucht HANS MOLISCH⁽⁴⁵⁾ neuerdings zu erweisen, daß sie ihre braune Färbung nicht dem Gemenge eines braunen Farbstoffes mit Chlorophyll, vielmehr einem einzigen, dem Chlorophyll nahe verwandten Farbstoff, dem Phaeophyll verdanken, das durch chemische Veränderung leicht in gewöhnliches Chlorophyll übergeführt wird.

Bevor die Blätter der Holzgewächse im Herbst abgeworfen werden, wandert ihr Zellinhalt mehr oder weniger aus und es lösen sich auch die Chloroplasten. In den mit wässrigem Inhalt erfüllten Zellräumen sieht man dann nur noch einige Öltröpfchen und Kristalle, außerdem gelbe, stark lichtbrechende Kugeln. Unter Umständen, so bei hohem Zuckergehalt, färbt sich die Flüssigkeit in den Zellräumen rot und veranlaßt die herbstliche Laubfärbung. — Anders bei den im Winter sich bräunenden Nadelhölzern. Das in ihren Chloroplasten enthaltene Chlorophyllgrün verwandelt sich in einen braungrünen Körper, aus welchem sich im nächsten Frühjahr das Chlorophyllgrün wieder regeneriert.

In den nicht grünen phanerogamen Schmarotzern und Humusbewohnern gelangen die Chloroplasten nicht zur Ausbildung, sind vielmehr durch weiße, auch wohl bräunliche oder rötliche Chromatophoren ersetzt. Den Pilzen gehen, wie schon hervorgehoben wurde, die Chromatophoren ganz ab.

Leukoplasten. In den inneren Teilen der Pflanzen, zu welchen das Licht nicht gelangt, bilden sich die Anlagen der Chromatophoren zu farb-

losen Leukoplasten aus. Letztere sind von dichterem Gefüge als die Chloroplasten, meist kugelig, nicht selten gestreckt, infolge eines im Innern eingeschlossenen Eiweißkristalls. Dem Lichte ausgesetzt, wandeln sie sich häufig in Chloroplasten um; so in den äußeren Partien von Kartoffelknollen.

Chromoplasten. In vielen Blumenblättern und Früchten gehen entweder direkt aus den farblosen Anlagen, oder aus zuvor ausgebildeten Chloroplasten, die Chromoplasten hervor. Die Chromoplasten können in ihrem Aussehen den Chloroplasten gleichen und bilden dann rundliche Körner wie diese, die meist aber kleiner sind; oder sie zeigen sich, infolge der Kristallisation des Farbstoffes, nadelförmig gestreckt, oder zu dreieckigen oder rhombischen Tafeln und Fächern ausgestaltet (Fig. 64, 65). Ihre Färbung hält sich zwischen gelb und rot und rührt entweder von orangerotem Karotin oder gelben Xanthophyllen her. Das Karotin führt seinen Namen nach den Karotten, den spindelförmigen Wurzeln der Möhre (*Daucus Carota*), in welchen



Fig. 64. Zelle mit Chromoplasten von der Oberseite des gelb gefärbten Kelches der Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*). Vergr. 540.



Fig. 65. Farbkörper aus der Möhre, zum Teil mit Stärkeeinschlüssen. Vergr. 540.

es reichlich vertreten ist (Fig. 65) und denen es auch die gelbrote Färbung verleiht. Das Karotin neigt zum Auskristallisieren und bedingt hierdurch die eben erwähnten kristallähnlichen Formen bei vielen Chromoplasten. Nadel-förmige Gestalt können die Chromoplasten aber auch einem eingeschlossenen Eiweißkristalle verdanken. Die sonstigen Xanthophylle sind auch in den Chromoplasten stets in amorphem Zustande vertreten.

Das Karotin ist mit dem Chrysophyll der Chlorophyllkörper wohl identisch. Sein Spektrum unterscheidet sich von jenem des Chrysophylls nur dadurch, daß seine Absorptionsbänder ganz wenig gegen das violette Ende verschoben sind⁽⁴⁶⁾.

Anlage und Bau der Zellhaut⁽⁴⁷⁾. Die Zellhaut, welche die pflanzlichen Protoplasten umgibt, ist ein Produkt des Protoplasma. Viele niederen Gewächse aus der Abteilung der Algen entlassen aus ihren Zellen nackte Protoplasten (Fig. 97 A), die als Schwärmsporen der ungeschlechtlichen Vermehrung dienen. Diese Schwärmsporen setzen sich alsbald fest, scheiden eine dünne Zellhaut auf ihrer Oberfläche aus und verlängern sich dann weiter meist zu einem Zellfaden. Auch die höher organisierten Pflanzen beginnen ihre Entwicklung als nackte Eizelle, die ohne Zellhaut ist und erst nach

vollzogener Befruchtung eine solche erhält. Auf allen folgenden Entwicklungszuständen sind die pflanzlichen Zellen von Zellhäuten (Zellwänden, Membranen) umgeben. Daher fanden wir auch schon die Zellen der Vegetationspunkte durch äußerst dünne Wandungen voneinander getrennt. Bei der raschen Vermehrung der Zellen, die dort erfolgt, werden neue Scheidewände zwischen die vorhandenen fortdauernd eingeschaltet. Das ausgiebige Längenwachstum, das sich in einiger Entfernung von den Vegetationspunkten einzustellen pflegt, muß von einem entsprechenden Flächenwachstum der Zellhäute begleitet sein. Während dieses Flächenwachstums bleiben die Zellhäute dünn. Nachdem aber die Zellen ihre definitive Länge erreicht haben, stellt sich für gewöhnlich ein Dickenwachstum ihrer Zellhäute ein. Das Flächenwachstum ist entweder mit Substanzeinlagerung verbunden, oder erfolgt ohne diese. Im letzteren Falle muß die Zellhaut dünner werden, doch findet dann ihre Ver-

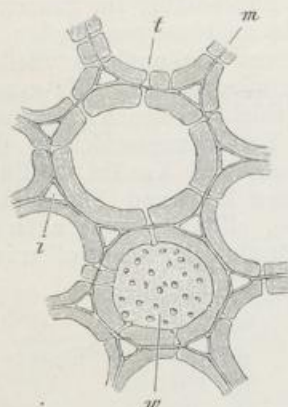


Fig. 66. Stark verdickte Zellen aus dem Marke eines älteren Stammstückes von *Clematis vitalba*. *m* Mittellamelle, *i* Interzellularraum, *t* Tüpfel. In der einen Zelle ist die untere getüpfelte Wand *w* zu sehen. Vergr. 300.



Fig. 67. Teil einer Sklerenchymfaser von *Vinca major*. Die Streifung der äußeren Schichten tritt deutlicher als diejenige der inneren hervor. Auch die inneren Grenzen der Wand wurden bei tieferer Einstellung in das Bild eingetragen. Vergr. 500.

stärkung durch Anlagerung neuer Membranlamellen statt. Das Wachstum durch Substanzeinlagerung wird als Intussuszeptionswachstums, dasjenige durch Substanzeinlagerung als Appositionswachstum bezeichnet. Das spätere Dickenwachstum der meisten Zellhäute erfolgt durch Substanzeinlagerung und zwar durch Anlagerung neuer Membranlamellen. So kommt die Schichtung solcher Membranen zustande (Fig. 66). Es wechseln dann in ihnen im allgemeinen dickere, dichtere, mit dünneren, weniger dichten Schichten ab. Die dichteren Schichten zeichnen sich durch stärkere Lichtbrechung aus. In manchen Fällen werden durch Apposition angelegte Lamellen weiter durch Intussuszeption verstärkt, wobei sie auch Strukturänderungen erfahren können. Nicht selten ist in stärker verdickten Zellhäuten, besonders den Zellen des Holzes, eine Sonderung in drei, ihrem optischen und ihrem chemischen Verhalten nach verschiedene Schalen zu konstatieren, die sich als primäre, sekundäre und tertiäre Verdickungsschichten unterscheiden lassen. Am stärksten pflegt dann die sekundäre Verdickungsschicht entwickelt zu sein, sie bildet die Hauptmasse der Wandung. Die

innerste Verdickungsschicht einer Zellhaut ist meist stärker lichtbrechend und wird als Grenzhäutchen oder Innenschicht bezeichnet.

Durch Quellung in starken Säuren oder Alkalien kann man oft in scheinbar homogenen Zellhäuten Schichtung nachweisen. In manchen Fällen zeigen sich die Verdickungsschichten einer Membran, wenn sie von der Fläche aus betrachtet werden, gestreift. Diese Streifen pflegen schräg zur Längsachse der Zelle aufzusteigen. Ist ihre Wandung deutlich geschichtet, so zeigen die Streifen in den aufeinander folgenden Verdickungsschichten meist entgegengesetzte Neigung (Fig. 67), sie erscheinen gekreuzt. Ein ähnliches Bild der Kreuzung können übrigens bei Vorhandensein von nur einer gestreiften Verdickungsschicht die durchscheinenden Streifen einer anderen anschließenden Wandung veranlassen. — Bestimmte Fortpflanzungszellen, so die Sporen von Bryophyten, Pteridophyten und die Pollenkörner, umhüllen sich während ihrer Ausbildung mit besonderen Zellhautschichten, die getrennt von den schon vorhandenen entstehen und weiterhin erhalten bleiben, während letztere sich lösen. Dadurch werden die umschlossenen Zellen frei. Man hat einen solchen Vorgang als Vollzellbildung oder Verjüngung bezeichnet; Neubildung von Zellen liegt dabei nicht vor.

Im allgemeinen pflegt die Membran nicht gleichmäßig im ganzen Umfang der Zelle verdickt zu werden. Sie bleibt an einzelnen Stellen dünn, während die anderen Stellen in die Dicke wachsen. Es entstehen auf solche Weise Kanäle, welche die Verdickungsschichten durchsetzen. Diese Kanäle, die Tüpfel, können kreisrund (Fig. 66 bei *w*, 71 *m*), elliptisch oder auch spaltenförmig sein. Sie treffen in den

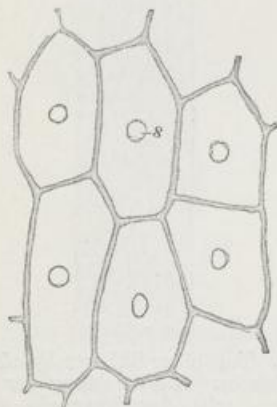


Fig. 68. Oberflächenansicht einiger Epidermiszellen der Rankenunterseite von *Cucurbita Pepo* mit Fühlertüpfeln *s*. Vergr. 540.

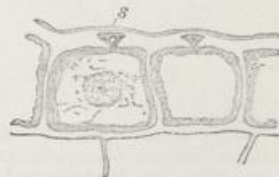


Fig. 69. Querschnitt durch ebensolche Epidermiszellen wie in Fig. 68; im Fühlertüpfel *s* ein sehr kleiner Calciumoxalatkristall. Vergr. 450.

benachbarten Zellen aufeinander. Die unverdickte Zellhaut, welche sie dort trennt, ist ihre Schließhaut. Spaltenförmige Tüpfel benachbarter Zellen kreuzen sich bei schräger Orientierung. Nicht selten werden mehrere gesonderte Tüpfel bei fortschreitender Verdickung der Membran zu einem einzigen vereinigt. Man bezeichnet solche Tüpfel als verzweigt. Sie pflegen sehr eng zu sein und kommen vornehmlich stark verdickten und harten Zellwänden zu, so jenen der sog. Steinzellen oder Sklereiden. Ein einfacher Tüpfel kann sich andererseits nach der primären Zellhaut hin erweitern.

Eine besondere Art sich an der Basis erweiternder Tüpfel wird in den Außenwänden mancher Ranken erzeugt⁽⁴⁸⁾. Diese Tüpfel sind mit Cytoplasma dicht angefüllt, dienen der Reizperzeption und erhielten daher den Namen Fühlertüpfel (Fig. 68 und 69). Nach außen sich stark erweiternde Tüpfel liegen auch in den behöften Tüpfeln vor. Dieselben können einseitig oder zweiseitig behöft sein. Das erstere liegt vor, wenn der

behöft Tüpfel eines wasserleitenden Elements, das ohne protoplasmatischen Inhalt ist, an eine mit lebendigem Inhalt versehene Zelle grenzt. Dann hat der Tüpfel einen Hof nur an dem wasserleitenden Element aufzuweisen. An Tüpfeln zwischen zwei wasserleitenden Elementen, die ihrer Funktion entsprechend beide ohne protoplasmatischen Inhalt sind, wurde der Hof beiderseits ausgebildet. Diese Tüpfel nennt man kurzweg Hoftüpfel (Fig. 70). Die Schließhaut solcher Hoftüpfel ist in ihrer Mitte zu dem sog. Torus verdickt (Fig. 70 B, *t*). Sie vermag sich nach der einen oder der anderen Seite vorzuwölben und mit ihrem Torus den engen Ausgang des Tüpfels auf der entsprechenden Seite zu verschließen (Fig. 70 B, *t*). Es läßt sich annehmen, daß die Hoftüpfel als Klappenventile fungieren. Betrachtet man einen Hoftüpfel von der Fläche, so erscheint er in Gestalt von zwei konzentrischen Kreisen (Fig. 70 A). Der kleinere innere Kreis ist die enge Mündungsstelle des Tüpfels am Zellraum, der große äußere Kreis seine weiteste Stelle, mit der er an die primäre Wandung grenzt.

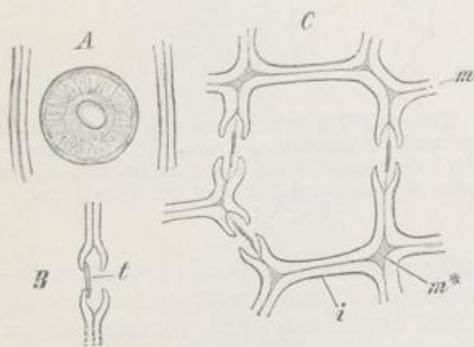


Fig. 70. Aus dem Holze der Kiefer (*Pinus silvestris*). A Hoftüpfel in Flächenansicht. B Ein Hoftüpfel in tangentialen Längsschnitt, *t* der Torus. C Querschnitt durch eine Tracheide, *m* Mittellamelle, *m** ein Zwickel in dieser, *i* das Grenzhäutchen. Vergr. 540.

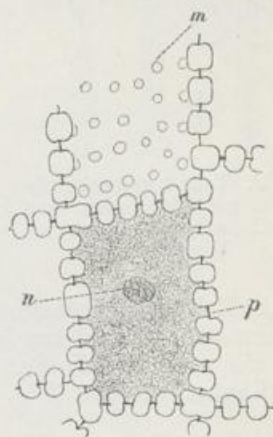


Fig. 71. Aus dem Endosperm von *Ornithogalum umbellatum*. *m* Tüpfel von oben, *p* Schließhaut, *n* Zellkern. Vergr. 240.

Vielfach zeigen sich die Schließhäute besonders weiter Tüpfel in dünnwandigen Zellen durch Leisten verdickt, die ihnen ein gitterförmiges Aussehen verleihen. Eine ähnliche Verdickungsart kommt den Schließhäuten der Siebtüpfel zu, die wegen ihrer deutlichen siebartigen Durchlöcherung als Siebplatten bezeichnet werden (Fig. 72).

Bleibt der größte Teil der Membran unverdickt, so sind es ihre verdickten und nicht ihre unverdickten Stellen, welche den Charakter der Verdickung bestimmen. So, wenn die Zellwand in Abständen ringförmig verdickt wurde, oder wenn sie ein oder mehrere Schraubenbänder, oder auch ein Netzwerk als Verdickung erhielt (Fig. 73). Auch ring-, schrauben- und netzförmige Wandverdickungen kommen, wie die Hoftüpfel, nur den ihren lebenden Inhalt bald einbüßenden, der Wasserleitung dienenden Elementen zu. Diese Wandverdickungen haben die Aufgabe, die mechanische Festigkeit jener Elemente zu erhöhen und es zu verhindern, daß die benachbarten lebenden Zellen sie zusammendrücken.

Die Verdickungsleisten, auf welchen diese Wandverdickungen beruhen, sind mit verschmälelter Kante⁽⁴⁹⁾ der primären Wandung angefügt. Die dünnen Membranstellen

zwischen den Leisten verhalten sich wie die Schließhäute der Tüpfel, und weisen, wenn sie zwei wasserleitende Elemente trennen, in ihrer Mitte, wie der Torus der Hoftüpfel, eine etwas stärkere Verdickung auf. Nur die mit ring- oder spiralförmigen Verdickungsleisten versehenen Elemente sind dehnbar, daher werden sie in wachsenden Pflanzenteilen zuerst als Wasserbahnen angelegt. Die schraubenförmigen Verdickungsleisten sind abrollbar, weil sie infolge ihrer schmalen Insertion an der primären Wandung sich leicht von ihr ablösen können.

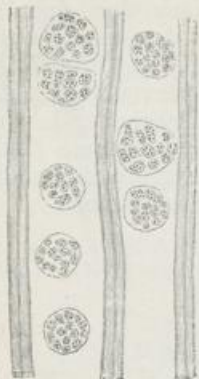


Fig. 72. Teile von zwei Siebröhren mit Siebtüpfeln von der Kiefer (*Pinus silvestris*). Vergr. 540.

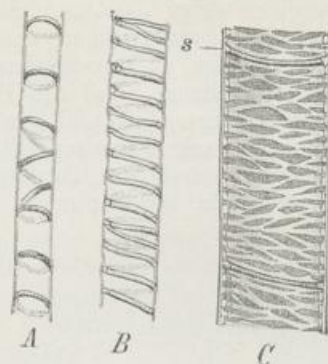


Fig. 73. Teile von Tracheiden und von einem Gefäß. A Ring- und Schraubentracheide. B Schraubentracheide. C Netzgefäß halb aufgeschnitten, bei *s* eine der beiden durchlöcherten Scheidewände. Vergr. 240.

Die Zellwandung bestimmter lebendiger Zellen, welche als besondere Gewebeart (S. 100) bei den höher organisierten Pflanzen weit verbreitet sind, und die man als Kollenchymzellen bezeichnet, wird vornehmlich an den Kanten verdickt (Fig. 74 c). — An den die Außenfläche der Pflanzen einnehmenden Oberhautzellen

pflegt die Außenwand dicker zu sein (Fig. 74 e).

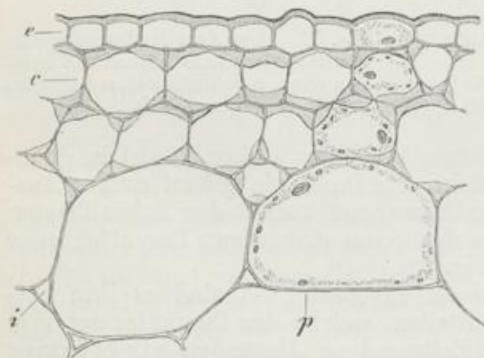


Fig. 74. Querschnitt aus der Peripherie eines Stengels von *Impatiens parviflora*. *c* Kollenchym, *e* Epidermis, *p* dünnwandige Parenchymzellen, *i* Interzellularraum. Vergr. 300.

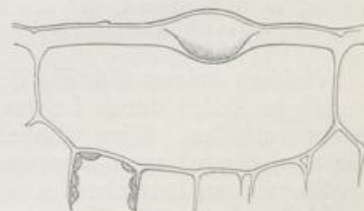


Fig. 75. Oberhautzelle vom Rande eines grundständigen Blattes von *Campanula persicifolia* mit Sammellinse in der Außenwand. Die Sammellinsen bei dieser Pflanze verkieselt. (Nach HABERLANDT.) Vergr. 515.

Besonders auffällig wird eine ungleichmäßige Wandverdickung, wenn sie auf eng begrenzte Stellen eingeschränkt bleibt. So ist es bei den linsenförmigen Verdickungen, welche die Außenwand der Oberhautzellen an der Oberseite der Laubblätter oft aufweist, und die, nach G. HABERLANDT⁽⁵⁰⁾, lichtkonzentrierende Sammellinsen darstellen sollen (Fig. 75). — Eine noch extremere Ausbildung weist die lokale Verdickung der

Zellwand auf, die zur Bildung der Cystolithen führt. In den Blättern des Gummibaumes (*Ficus elastica*) enthalten bestimmte, besonders große Zellen solche Cystolithen in Gestalt je eines traubenförmig gestalteten Körpers (Fig. 76). Dieser Körper entsteht durch Verdickung einer einzigen Wandstelle. Es wird zunächst ein dünner Stiel und dann an dessen Ende, durch Auflagerung neuer Lamellen, ein keulenförmiger Körper gebildet, der schließlich vorspringende Warzen erhält.

Bis jetzt waren es zentripetal erzeugte Verdickungen an der Innenseite der Membranen, die wir ins Auge faßten, doch kommen auch zentrifugale an deren Außenseite vor, naturgemäß beschränkt auf freie Oberflächen der Zellen. Kleine vorspringende Höcker sind an den Außenseiten der meisten Haare zu sehen; in besonders mannigfaltiger Ausbildung werden aber

solche zentrifugalen Verdickungen an Sporen und Pollenkörnern erzeugt (Fig. 77). Sie bilden an deren Oberfläche Stacheln, Warzen, Leisten, Netze oder Bänder von charakteristischem Bau.

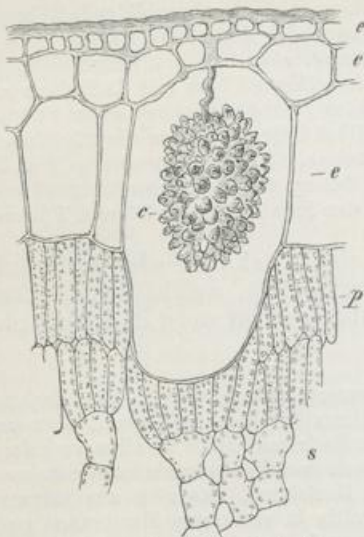


Fig. 76. Querschnitt durch das Blatt von *Ficus elastica*. *e* Cystolith, *eee* dreischichtige Epidermis, *p* Palissadenparenchym, *s* Schwammparenchym. Vergr. 240.

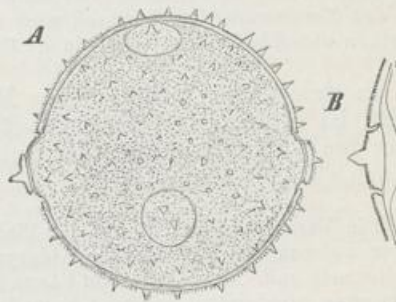


Fig. 77. *A* Pollenkorn von *Cucurbita Pepo* in Flächenansicht und zum Teil auch im optischen Durchschnitt. Das Präparat war mit Zitronenöl durchsichtig gemacht worden. Vergr. 240. *B* Teil eines Querschnittes durch die Pollenhaut von *Cucurbita verrucosa*. Vergr. 540.

Membranstoffe ⁽⁵¹⁾. Der wichtigste Bestandteil pflanzlicher Membranen ist die Cellulose. Sie findet sich in den Membranen aller Pflanzen vor, ausgenommen der meisten Pilze.

Die Cellulose ist ein Kohlehydrat von der allgemeinen Zusammensetzung $(C_6H_{10}O_5)_n$. Sie ist unlöslich in verdünnten Säuren und Alkalien, löslich, mit Umwandlung in Dextrose, in konzentrierter Schwefelsäure. Nach vorausgegangener Behandlung mit Schwefelsäure bestimmter Konzentration oder Phosphorsäure wird die Cellulose durch Jod blau gefärbt, ebenso bei gleichzeitiger Einwirkung der konzentrierten Lösungen bestimmter Salze, wie Chlorzink oder Chloraluminium, und von Jod. Daher ist das gebräuchlichste Reagens, um Blaufärbung der Cellulose zu erzielen, Chlorzinkjodlösung. GILSON⁽⁵²⁾ erhielt die Cellulose im kristallinen Zustande in Form von Sphäriten oder kristallinen Dendriten.

In keinem Falle bestehen die pflanzlichen Membranen aus reiner Cellulose, sie enthalten stets in erheblichen Mengen noch andere Substanzen, die sich mit Chlorzinkjodlösung nicht bläuen. Unter diesen spielen in unverholzten Membranen eine Hauptrolle die Pektinverbindungen. Sie sind

durch die Leichtigkeit ausgezeichnet, mit der sie sich, nach vorausgegangener Behandlung mit verdünnten Säuren, in Alkalien lösen.

Färbungen durch gewisse Farbstoffe, z. B. durch Kongorot, sind für Cellulose charakteristisch; andere Farbstoffe färben intensiver die Pektinverbindungen, so z. B. das Safranin und Methylenblau. Nach MANGIN⁽⁵³⁾ besteht die bei der Zellteilung angelegte Scheidewand höher organisierter Pflanzen fast ausschließlich aus Pektinverbindungen. Die weiterhin erzeugten Membranlamellen, die sekundäre Membranschicht, aus einem Gemisch von Cellulose mit Pektinverbindungen; die zuletzt gebildete tertiäre Membranschicht vornehmlich aus Cellulose. Die Pektinverbindungen nehmen in den äußeren Teilen der sekundären Membranschicht, wenn dieselbe unverholzt bleibt, mit dem Alter zu und tragen zur Verstärkung der Mittellamelle oder primären Membranschicht bei.

Außer Cellulose und den Pektinverbindungen kommt als membranbildende Substanz bei den Pflanzen Kallose in Betracht. Sie zeichnet sich durch ihre Unlöslichkeit in Kupferoxydammoniak, ihre Löslichkeit in Sodalösung, sowie in 1% kalter Kalilauge aus. Sie färbt sich in Chlorzinkjodlösung rotbraun, glänzend blau mit Anilinblau und glänzend rot mit Korallin (Rosolsäure). Ihr Auftreten bei höher organisierten Pflanzen ist auf bestimmte Elemente eingeschränkt; sie bildet Belege auf den Siebtüpfeln und ist stets in kalkreichen Membranschichten nachzuweisen, so in den Cystolithen (Fig. 76). In den Membranen der Pilze soll nach GILSON⁽⁵⁴⁾ das zu den Proteinstoffen gehörende Chitin dieselbe Rolle spielen wie die Cellulose in den Membranen der höheren Pflanzen.

In denjenigen Zellen, deren Membran sich verholzt oder verkorkt zeigt, ist es vor allem die sekundäre Membranschicht, welche den Holzstoff oder den Korkstoff enthält. Die tertiäre Membranschicht weist in den meisten Fällen Cellulosecharakter auf.

Die Verholzung beruht auf der Einlagerung verschiedener Stoffe in die Membran, unter welchen ein aromatisches Aldehyd, das CZAPEK⁽⁵⁵⁾ Hadromal nennt, sehr verbreitet sein soll. Nach F. C. VON FABER⁽⁵⁶⁾ ist aber Hadromal nicht in allen verholzten Membranen vorhanden, während es andererseits auch manchen unverholzten zukomme. Zum Hadromal bringt CZAPEK das Koniferin in Beziehung, das sich aus jüngstem Holz gewinnen läßt. Das Vorhandensein von Vanillin in verholzten Membranen stellt er in Abrede. Das Hadromal beträgt nicht mehr als 1—2% der Trockensubstanz des Holzes. Ihm sollen die verholzten Membranen ihre Violettfärbung mit Phloroglucin und Salzsäure und ihre Gelbfärbung mit schwefelsaurem Anilin verdanken. Allgemeiner trifft nach F. C. VON FABER bei verholzten Membranen die Kaliumpermanganatreaktion zu, eine Rotfärbung nach Behandlung mit 1prozentiger Kaliumpermanganatlösung und hierauf mit Ammoniak. Sie nur könne allgemein als Holzstoff- oder Ligninreaktion gelten. Mit Chlorzinkjodlösung werden verholzte Membranen gelb, nicht blau.

Die verkorkten Membranteile enthalten Suberin. Sie nehmen mit Chlorzinkjodlösung gelbbraune, mit Kalilauge eine gelbe Färbung an. Nach VAN WISELINGH⁽⁵⁷⁾ fehlt Cellulose in den verkorkten Membranschichten und soll das Suberin ein fettartiger Körper sein, der aus Glycerin-Estern und anderen zusammengesetzten Estern, sowie aus einer oder einigen nicht schmelzbaren, in Chloroform unlöslichen Materialien besteht, die durch Kalilauge zersetzt werden können.

Mit der Verkorkung nicht völlig übereinstimmend, wenn ihr auch nahe verwandt, ist die Cutinisierung. Sie beruht auf einer nachträglichen Einlagerung von Cutin in cellulosehaltige Membranen.

VAN WISELINGH gibt an, daß die Phellonsäure, welche in Suberin stets vorhanden ist, im Cutin konstant fehlt. Das Verhalten des Cutins sowohl als des Suberins variiert übrigens etwas je nach seiner Abstammung. Das Cutin widersteht besser der Kalilauge. Die Färbungen, welche cutinisierte Membranen mit Chlorzinkjodlösung oder mit Kalilauge annehmen, stimmen annähernd mit jenen verkorkter Membranen überein, auch werden beide durch Schwefelsäure und Kupferoxydammoniak nicht gelöst.

Ganz junge Membranen sind wenig elastisch, dagegen verhältnismäßig stark dehnbar, später pflegt sich dieses Verhältnis meist umzukehren. Durch Verholzen steigt die Widerstandsfähigkeit der Membranen. Cutinisierte und verkorkte Membranen setzen die Verdunstung an der Oberfläche der Pflanzen stark herab⁽⁵⁸⁾.

Die Membranschichten bestimmter Zellen, im besonderen an der Oberfläche einiger Früchte und zahlreicher Samen, wie der Salbeifrüchte, der Lein- und Quittensamen, verquellen bei Berührung mit Wasser zu Schleim. Nach G. KLEBS⁽⁵⁹⁾ hat dieser Schleim vor allem die Aufgabe, die Samen im Boden zu befestigen. Feste Zellmembranen können andererseits nachträglich in Gummi umgewandelt werden, so besonders auffällig bei Kirschen und Akazien, wo große Partien des Holzkörpers der sog. Gummosis verfallen.

Die Gummi- und Schleimarten verhalten sich verschieden, je nachdem sie von Cellulose oder von Kallose oder von Pektinverbindungen abstammen, bzw. mit einem dieser Körper verwandt sind. Mikrochemisch wird ihre Unterscheidung jetzt nach MANGIN durch Anwendung von Rutheniumrot möglich, das nur die von Pektinstoffen abstammenden, bzw. ihnen nahe stehenden Gummiarten und Schleime, so die Schleime der Cruciferen- oder Quitten- (*Cydonia*)-Samen, die Schleime aus den Schleimzellen der Malven, das Gummi der Kirschen und Akazien, das Tragantgummi von *Astragalus gummifer* färbt, während der Schleim der Orchis-Knollen, der mit Cellulose verwandt ist, ungefärbt bleibt.

In den Samen mancher Palmen, so auch des in Fig. 71 dargestellten *Ornithogalum*, werden die Zellwände mit starken, reichlich von Tüpfeln durchsetzten Verdickungsschichten versehen. Diese Verdickungsschichten sind glänzend weiß; sie können eine solche Härte erreichen, daß ihre technische Verwertung als „vegetabilisches Elfenbein“ möglich wird, so in den Samen der Palme *Phytelephas macrocarpa*. Sie enthalten außer Cellulose noch andere Kohlehydrate, die bei der Keimung unter dem Einfluß von Fermenten aufgelöst werden und somit einen Reservestoff des Samens bilden.

Häufig werden die Membranen nachträglich gefärbt durch Derivate von Gerbstoffen, vielfach sehr dunkel, so in Samenschalen, in älterem Holz. Auch die Farbstoffe der technisch benutzten Farbhölzer haben ihren Sitz in den Membranen. — In jeder älteren Membran sind anorganische Stoffe eingelagert, unter Umständen in bedeutender Menge. Besonders häufig trifft man in solchen Membranen Calciumoxalat an und zwar in Kristallen, außerdem, wenn auch weniger häufig, Calciumkarbonat. In den Cystolithen von *Ficus elastica* (Fig. 76) ist so viel Calciumkarbonat eingelagert, daß bei Zusatz von Säure ein Aufbrausen erfolgt. Manche Pflanzen, so die meisten Characeen unserer Seen und Teiche, enthalten solche Mengen Calciumkarbonat in ihren Membranen, daß sie starr und brüchig davon werden. — Kieselsäure ist in den peripherischen Zellwänden der Gräser, Schachtelhalme (*Equiseten*) und vieler anderer Pflanzen vertreten und verleiht ihnen dann meist eine sehr beträchtliche Härte. Die in den Außenwänden der Blattoberhautzellen von *Campanula pericifolia* ausgebildeten Sammellinsen (Fig. 75) erweisen sich auch als verkieselt.

Durch wasserentziehende Mittel kann eine Kontraktion der Protoplasten und so ihre Trennung von der Zellhaut veranlaßt werden (siehe Plasmolyse). Solche Protoplasten vermögen unter Umständen sich mit einer neuen Zellhaut zu umgeben. Die Entfernung der Cuticula, bzw. auch von Cuticularschichten, sowie von Wachsüberzügen von der Oberfläche bestimmter Pflanzen (*Agaven*, *Aloë*-Arten, *Ricinus*, *Sedum*) hat deren Regeneration zur Folge⁽⁶⁰⁾.

Gestalt der Zelle. Da das Cytoplasma als zähflüssiger Körper dazu neigt, im Gleichgewichtszustand Tropfenform anzunehmen, kann die Kugel-

gestalt auch als die ursprünglichste und naturgemäße Zellform gelten. Sie wird aber nur an frei lebenden oder frei werdenden Zellen, oder an solchen, die in ihrer Ausdehnung ganz ungehindert bleiben, sich ausbilden können. Im Zellverbände erzeugte Zellen sind zunächst fast stets polygonal. Bei nachträglichem Wachstum verändern sie ihre Gestalt. Die embryonalen Zellen der Vegetationspunkte sind meist annähernd kubisch. Ihr mittlerer Querdurchmesser pflegt ein bis zwei Hundertel Millimeter zu betragen. Solche Zellen strecken sich weiterhin zu langprismatischer Form, oder bleiben infolge fortgesetzter Teilung kurz tafelförmig. Ist das Wachstum der Zellen

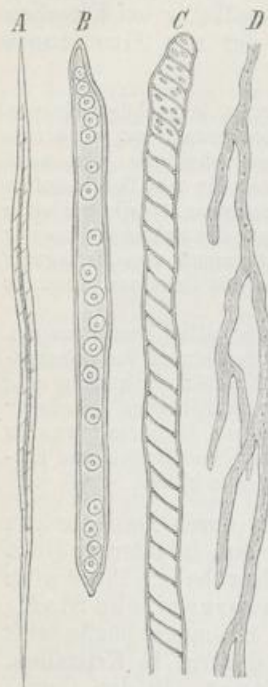


Fig. 78. A Eine Sklerenchymfaser. B Eine Tracheide. C Stück einer Gefäßtracheide. D Stück einer Milchröhre. A, B und C etwa 100 mal, D etwa 150 mal vergrößert.

auf einzelne regelmäßig verteilte Stellen ihrer Oberfläche beschränkt, so werden sie sternförmig, bei ungleichmäßiger Verteilung dieser Stellen entsprechend unregelmäßig. Infolge eines sehr ergiebigen Längenwachstums können faserförmige, an den Enden zugespitzte Zellen entstehen. Werden solche Fasern stark verdickt, so heißen sie Sklerenchymfasern (Fig. 78 A). Diese zeigen meist nur spärliche, schräg aufsteigende, spaltenförmige Tüpfel in der stark verdickten Wandung, führen im fertigen Zustande nur wenig lebendigen Inhalt, oder überhaupt nur noch Luft. Ist letzteres der Fall, so dienen sie nur als sog. mechanische Elemente (Stereiden) zur Festigung des Pflanzenkörpers. Für gewöhnlich kürzer, doch vor allem weiter, an ihren Enden nicht zugespitzt, sondern meist nur zugeshärft, mit Hoftüpfeln versehen und im fertigen Zustande stets ohne lebendigen Inhalt sind die Tracheiden (Fig. 78 B). Die Tracheiden dienen der Wasserleitung in der Pflanze. So lange sie tätig sind, enthalten sie Wasser und nur vereinzelte Luftblasen; wenn sie außer Funktion treten, füllen sie sich mit Luft. Besonders stark gestreckte und verdickte, zugleich englumige Tracheiden, die meist nur noch, so wie die Sklerenchymfasern, mechanische Funktionen vollziehen, werden als Fasertracheiden bezeichnet. Sehr lange, doch weitlumige, zugleich dünnwandige Tracheiden, wasserführend wie die typischen Tracheiden, lassen sich von ihnen als Gefäßtracheiden (Fig. 78 C) unterscheiden. Die Gefäßtracheiden sind durch ringförmige, schraubenförmige oder netzförmige Verdickung der Wände

ausgezeichnet, oder auch mit Hoftüpfeln versehen. Die Verdickungsschichten der Sklerenchymfasern sind unverholzt oder verholzt, die der Tracheiden stets verholzt.

Von allen Zellen im Körper der höher organisierten Pflanzen erlangen die bedeutendste Länge die Milchröhren. Sie gehen bei den Euphorbiaceen, Moraceen, Apocynaceen und Asclepiadaceen aus Zellen hervor, die sich schon in der Keimpflanze differenzieren. Diese Zellen wachsen dann weiter mit der ganzen Pflanze, verzweigen sich fort und fort, dringen in alle ihre Glieder ein und können so unter Umständen viele Meter durchlaufen. Sie stellen Röhren vor, welche mit einer meist unverdickten, glatten, elastischen Wand versehen sind, die auf Cellulose reagiert. Sie besitzen⁽⁶¹⁾ einen

lebenden Wandbeleg aus Cytoplasma und zahlreiche Zellkerne; als Zellsaft führen sie eine milchige, meist weiße, wässrige Flüssigkeit, welche an der Luft rasch gerinnt, die Gummiharze, d. h. Gemenge von Gummi und Harz, Kautschuk, Fett und Wachs in Emulsion hält, außerdem Enzyme, Leptomin, Gerbstoffe, manchmal giftige Alkaloide, Salze, besonders Kalkmalat, bei *Ficus Carica* und *Carica Papaya* auch peptonisierende Fermente, in Lösung führt, vielfach Proteinkörner, bei den Euphorbiaceen auch knochenförmige Stärkekörner aufweist. In Fig. 78 D ist ein Stück freigelegter Milchröhre aus dem Stengel der Asclepiadacee *Ceropegia stapelioides* dargestellt.

Einzelne Zellen, die sich durch ihre Gestalt, ihren Inhalt oder ihre Wandverdickung von ihren Nachbarn unterscheiden, werden als Idioblasten bezeichnet. Sind sie stark verdickt und verholzt, so heißen sie Steinzellen oder Sklereiden. In manchen Fällen enthalten sie Fermente, so bei Cruciferen und einigen anderen Pflanzenfamilien in schlauchartigen Behältern das Myrosin, beim Kirschchlorbeer (*Prunus Laurocerasus*) Emulsin. Meist führen sie Exkrete: Gerbstoff, Calciumoxalat. Einen Idioblasten, der Kristallnadeln von Calciumoxalat (Raphidenbündel S. 67) führt, stellt unsere Fig. 85 vor. Es gibt auch tracheidial entwickelte Idioblasten, die als Wasserbehälter fungieren, so zwischen den chlorophyllhaltigen Zellen in den Blättern einiger Orchideen und in Kaktaceen.

Zellgröße. Die einander entsprechenden Zellen gleichartiger Glieder derselben Pflanze, pflegen annähernd dieselbe Größe aufzuweisen, auch wenn jene Glieder selbst verschiedene Größe erlangten.

Differenzierung des Protoplasten. Bei einzelligen oder wenigzelligen Organismen, können unter Umständen die einzelnen Teile desselben Protoplasten hochgradige Sonderungen aufweisen, während bei den vielzelligen Organismen ganze Protoplasten sich in die mit einem bestimmten Bau verbundenen Leistungen teilen.

Einschlüsse des Protoplasma. Stärkekörner. In Pflanzen, die den Einwirkungen des Lichtes ausgesetzt waren, enthalten die Chloroplasten meist Stärkekörner. Diese Körner entstehen hier als erstes geformtes Produkt der Assimilation aus anorganischen Stoffen; sie treten meist in Mehrzahl auf, werden fortgesetzt gelöst, bleiben daher sehr klein. Große Stärkekörner findet man nur in den Reservestoffbehältern, also dort, wo Stärke aus zugeführter, assimilierter Substanz hervorgeht. Solche Stärke bezeichnet man als Reservestärke im Gegensatz zu der in den Chloroplasten entstehenden Assimilationsstärke. Alle Stärke des Handels ist Reservestärke. Die Kartoffelknollen, die wir bereits als Reservestoffbehälter kennen gelernt haben (S. 20), führen verhältnismäßig große Stärkekörner, welche im Mittel die Größe von 0,09 mm erreichen. Sie sind (Fig. 79 A) deutlich geschichtet. Diese Schichtung wird durch die verschiedenen Dichte der aufeinander folgenden Lagen verursacht und zwar wechseln dickere, dichtere Lagen, die im durchfallenden Lichte

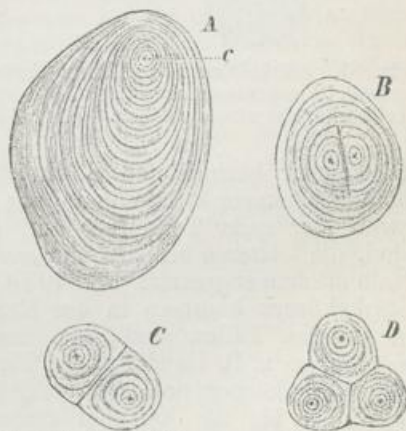


Fig. 79. Stärkekörner aus der Kartoffelknolle. A Ein einfaches, B ein halb zusammengesetztes Stärkekorn. C und D Ganz zusammengesetzte Stärkekörner. c Der Bildungskern des Stärkekornes. Vergr. 540.

heller erscheinen, mit dünneren, weniger dichten, die sich dunkler zeichnen, ab. Der Bau dieser Körner ist exzentrisch, denn ihr organischer Initialpunkt oder Bildungskern, um den die Schichten sich lagerten, ist dem einen Rande des Kornes bedeutend genähert. Dagegen sind die Stärkekörner der Hülsenfrüchte und der Getreidearten zentrisch gebaut; sie führen ihren Bildungskern in der Mitte. Die Stärkekörner der Bohne (*Phaseolus vulgaris*) stellen abgeflachte Kugeln oder Ellipsoide dar (Fig. 80) mit deutlichen Schichten, die meist von radialen Spalten durchsetzt sind. Die Stärkekörner des Weizens sind sehr ungleich groß, undeutlich geschichtet, scheibenförmig. — Schon der Vergleich der gleich stark vergrößerten Figuren 79 und 80 zeigt, wie ungleich groß die Stärkekörner verschiedener Pflanzen sind. Ihre Größe schwankt zwischen 0,002 und 0,170 mm. Stärkekörner, welche 0,170 mm erreichen, so die des Rhizoms von *Canna*, sind schon mit dem bloßen Auge als helle Körperchen zu unterscheiden. —



Fig. 80. Stärkekörner aus den Kotyledonen von *Phaseolus vulgaris*. Vergr. 540.



Fig. 81. Stärkekörner des Hafers (*Avena sativa*). Ein zusammengesetztes Korn und Teilkörner aus einem solchen. Vergr. 540.

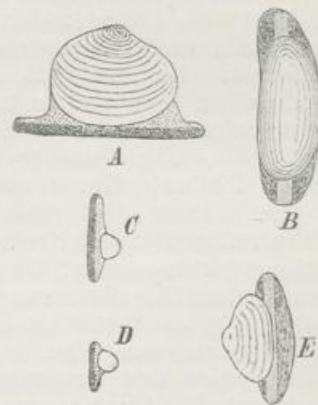


Fig. 82. Leukoplasten aus der oberirdischen Knolle von *Phajus grandifolius*. A, C, D und E von der Seite, B von oben gesehen. E Schon grünlich gefärbt, eine Übergangsform zu den Chloroplasten. Vergr. 540.

Die bisher betrachteten Stärkekörner waren einfach; es gibt aber auch halb zusammengesetzte und ganz zusammengesetzte. Die ersteren weisen zwei oder mehr Teilkörner auf, die von gemeinsamen Schichten umgeben sind, die letzteren bestehen nur aus Teilkörnern, ohne gemeinsame Schichten. Halb zusammengesetzte (Fig. 79 B) und ganz zusammengesetzte (Fig. 79 C, D) Stärkekörner kommen in der Kartoffelknolle zwischen den einfachen vor; in anderen Fällen sind ganz zusammengesetzte Stärkekörner allein vorhanden, so z. B. im Haferkorn (Fig. 81) oder Reiskorn. Im Reiskorn weisen die Stärkekörner nach NÄGELI⁽⁶²⁾ von 4 bis zu 100, im Haferkorn gelegentlich bis zu 300, bei *Spinacia glabra* bis über 30 000 Teilkörner auf. — Auch die im Innern der Pflanze aus assimilierter Substanz entstehende Stärke braucht Chromatophoren, die man als Stärkebildner oder Leukoplasten bezeichnet, zu ihrer Bildung. Bleibt das Stärkekorn während seines Wachstums von der Substanz des Leukoplasten gleichmäßig umgeben, so wächst es nach allen Seiten gleich stark, und erhält zentrischen Bau. Gelangt es während seines Wachstums in periphere Lage innerhalb des Leukoplasten, so wächst es stärker dort, wo die Substanz des Leuko-

plasten in größerer Dicke vorhanden ist, und wird exzentrisch (Fig. 82). Entsteht gleichzeitig eine größere Zahl von Stärkekörnern in einem Leukoplasten, so stoßen sie bei weiterem Wachstum aufeinander und bilden ein zusammengesetztes Korn, das zu einem halb zusammengesetzten sich ausbildet, wenn hierauf gemeinsame Schichten um die Teilkörner abgelagert werden.

Die Stärkekörner hat man für kristallinische Gebilde, Sphärokristalle oder Sphärite erklärt⁽⁶³⁾, die aus feinen, radial angeordneten Kristallnadeln, welche ARTHUR MEYER als Trichite bezeichnet, aufgebaut sein sollen. Die Schichtung gilt Letzterem als Ausdruck von Verschiedenheiten der Form und Menge der Kristallnadeln in den einander aufgelagerten Schichten. Dagegen sucht H. FISCHER⁽⁶⁴⁾ diese Schichtenbildung auf radial gestellte, zonenförmig angeordnete, wasserführende Spalten zurückzuführen, die er in einiger Entfernung von der gleichmäßig fortwachsenden Oberfläche durch innere Zusammenziehung der Substanz entstehen läßt. HENRY KRAEMER⁽⁶⁵⁾ tritt für das Vorhandensein einer kristalloidalen und einer kolloidalen Substanz in abwechselndem Mengenverhältnis in den aufeinander folgenden Lamellen der Stärkekörner ein. In einzelnen Fällen will ARTHUR MEYER festgestellt haben, daß die Schichtung dem Wechsel der Tag- und Nachtzeiten, und der dadurch bedingten Verschiedenheit der Ernährung entspricht. In das Wachstum der Stärkekörner greifen nach ihm auch Lösungsvorgänge ein, wodurch peripherische Schichten zum Teil wieder entfernt werden können und dann nicht mehr vollständig das ganze Korn umgeben. — Die Stärkekörner werden aus Kohlehydraten von der Zusammensetzung $(C_6H^{10}O_5)_n$ aufgebaut. Die meisten Stärkekörner bestehen aus Amylose und lassen sich durch Jodlösungen blau färben, außerdem sollen sie nach L. MAQUENNE und EUG. ROUX⁽⁶⁶⁾ noch einen schleimartigen Körper führen, den sie Amylopectin nennen. Seine Anwesenheit soll es bedingen, daß die Stärkekörner durch kochendes Wasser oder durch Alkalien in Kleister verwandelt werden. Sie quellen in Wasser von 60–70° C., sind in Wasser von 100° C. sehr wenig löslich, lösen sich hingegen rasch in Wasser im überhitzten Rohr bei 140–150° C. Bei gewöhnlicher Temperatur verquillt Stärke leicht in Kali- oder Natronlauge. Ohne Zusatz von Wasser erhitzt, d. h. geröstet, geht Stärke in Dextrin über, wird in Wasser relativ leicht löslich und damit verdaulicher. Die als Klebstärke bekannten Körner des Klebreises (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) und der Klebhirse (*Sorghum vulgare glutinosum*) färben sich in völlig ungequollenem Zustand mit Jod braun, im gequollenen Zustand, sowie mit verdünnten Jodlösungen, rot, weinrot bis purpurfarben. Nach O. BÜTSCHLI⁽⁶⁷⁾ bestehen sie aus Amyloerythrin, einem stärkeähnlichen Kohlehydrat. Im polarisierten Lichte zeigen die Stärkekörner, ebenso wie anorganische Sphärite, ein dunkles Kreuz. Diese Erscheinung wird meist auf die Doppelbrechung der das Stärkekorn aufbauenden Elemente zurückgeführt.

Die Menge der in einem Reservestoffbehälter vertretenen Stärke ist oft sehr bedeutend, sie beträgt etwa 25 % des Gesamtgewichts bei der Kartoffelknolle und sogar bis 70 % beim Weizen. Die aus Reservestoffbehältern befreiten Stärkekörner bilden das, was man als Stärkemehl bezeichnet. Reines Stärkemehl gewinnt man durch Auswaschen aus den zerkleinerten Pflanzenteilen. Bei Darstellung des gewöhnlichen Mehls werden hingegen auch die das Stärkemehl führenden Gewebe zermahlen.

Aleuron. In den Samen zahlreicher Gewächse, ganz besonders aber in ölreichen Samen, werden Aleuronkörner oder Klebermehlkörner erzeugt. Sie gehen aus Vakuolen hervor, deren Inhalt sehr eiweißreich wird und schließlich bei Wasserverlust in Form eines rundlichen Korns, nur in einzelnen Fällen eines unregelmäßigen, sogar gelappten Gebildes erhärtet. Dieses Eiweiß besteht nach A. TSCHIRGH und H. KRITZLER⁽⁶⁸⁾ vornehmlich aus Globulinen. Ein Teil davon kristallisiert in vielen Fällen aus und bildet ein, selten einige im Aleuronkorn eingeschlossene Kristalle. In Aleuronkörnern, die Eiweißkristalle bergen, finden sich meist auch rundliche Körner, die sog. Globoide vor, in welchen, nach PFEFFER⁽⁶⁹⁾, Magnesia, Kalk, und eine gepaarte Phosphorsäure im Verein mit organischer

Substanz sich nachweisen lassen. Auch Kristalle von Calciumoxalat können in Aleuronkörnern eingeschlossen sein.

Als Beispiel für Aleuronkörner mit Eiweißkristallen und Globoiden kann der Same von *Ricinus* (Fig. 83) dienen. Dort sind diese Körner in ein Cytoplasma eingebettet, das reiche Mengen von Öl aufweist. — Relativ kleine, einschlußfreie Aleuronkörner enthält die äußere Zellschicht der Samenkörner unserer Getreidearten (Fig. 84 *al*). Diese äußere Zellschicht führt nur Aleuron, der übrige Samen fast nur Stärke. Daher ist es klar, daß, je nachdem beim Mahlen und Beuteln des Korns, dessen äußere Schichten von den inneren getrennt und mehr oder weniger vollständig entfernt werden, das Mehl ärmer oder reicher an Eiweißkörpern ist. Die inneren Teile der Körner liefern „feineres“, die äußeren nahrhafteres Mehl. — Die Reaktionen des Klebermehls sind im wesentlichen die nämlichen, die wir früher schon für Eiweißkörper kennen gelernt haben. Die Behandlung eines durch das Weizenkorn geführten Querschnittes (Fig. 84) mit Jodlösung würde beispielsweise eine gelbbraune Färbung der Aleuronschicht veranlassen, die tieferen, Stärke führenden Schichten aber blau tingieren.

Eiweißkristalle. Die Eiweißkristalle sind eine in den Geweben der Pflanzen verhältnismäßig häufige Erscheinung. Besonders verbreitet sind sie in den Aleuronkörnern (Fig. 83). Wir lernten

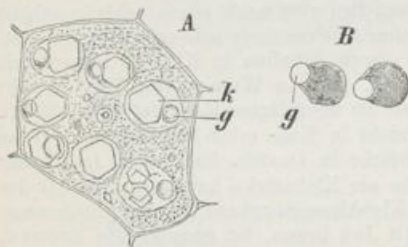


Fig. 83. A Zelle aus dem Endosperm von *Ricinus communis* unter Wasser beobachtet. B Einzelne Aleuronkörner unter Olivenöl. *k* Eiweißkristalle, *g* Globoid. Vergr. 540.

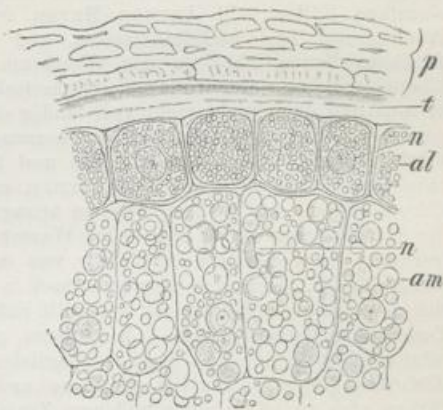


Fig. 84. Äußerer Teil eines Querschnittes durch ein Weizenkorn (*Triticum vulgare*). *p* Fruchthülle, *t* Samenhaut. An die Samenhaut schließt das Endosperm an. In diesem *al* Aleuronkörner, *n* Zellkern, *am* Stärkekörner. Vergr. 240.

sie bereits in den Samen von *Ricinus* kennen, besonders groß werden sie in dem Nährgewebe der Paranüsse, der Samen der Lecythidacee *Bertholletia excelsa*. Auch fanden wir sie zuvor schon in den Chromatophoren. Die in Fig. 82 dargestellten Leukoplasten von *Phajus grandifolius* zeigen die stäbchenförmigen Kristalle als helle Streifen (in *B* und *E*). — Es können Eiweißkristalle auch unmittelbar im Cytoplasma auftreten, so in peripherischen, stärkearmen Zellen der Kartoffelknolle; man findet sie endlich im Innern der Zellkerne, so nicht selten bei der Schuppenwurz (*Lathraea squamaria*) und ganz allgemein bei den Scrophulariaceen und Oleaceen⁽⁷⁰⁾. Diese Eiweißkristalle gehören im allgemeinen dem regulären oder dem hexagonalen Kristallsystem an. Im Vergleich mit anderen Kristallen erscheinen sie dadurch merkwürdig, daß sie, wie auch sonst tote Eiweißkörper, Farbstoffe aufspeichern und daß sie quellbar sind. Beim Quellen in Wasser oder in verdünnter Kalilauge nehmen sie zunächst an Größe zu, ohne ihre Kristallform einzubüßen.

Kristalle von Calciumoxalat kommen in sehr vielen Pflanzen vor. Sie werden im Cytoplasma innerhalb von Vakuolen angelegt, die sich weiterhin vergrößern und unter Umständen fast den ganzen Zellraum beanspruchen. In letzterem Falle erscheinen die übrigen Bestandteile der Zelle sehr reduziert, die Zellwände nicht selten verkorkt. — Es entstehen entweder Einzel-

kristalle, von oft ansehnlicher Größe, von denen es sich feststellen läßt, daß sie dem tetragonalen, beziehungsweise dem monosymmetrischen Kristallsystem angehören, oder zahlreiche kleinere Kristalle, unter Umständen so klein und zahlreich, daß ihre Gestalt nicht mehr sicherzustellen ist und sie als Kristallsand die Zelle füllen. Besonders häufig begegnet man morgesternförmigen Kristalldrüsen, aus Kristallen zusammengesetzt, die von einem organischen Kern ausstrahlen. Bei Liliaceen, Orchideen und anderen monokotylen Gewächsen sind verbreitet die sog. Raphiden, nadelförmige Calciumoxalatkristalle (Fig. 85), die in Bündeln vereinigt liegen. Ein solches Bündel ist stets in eine große, mit Gummischleim erfüllte Vakuole eingeschlossen. Der Konzentrationsgrad der Lauge, aus der die Kristalle entstehen, soll es nach KNY⁽⁷¹⁾ bedingen, ob sie nach dem tetragonalen oder dem monosymmetrischen System sich bilden.



Fig. 85. Eine mit Schleim und einem Raphidenbündel erfüllte Zelle aus der Rinde von *Dracaena rubra*. *r* das Raphidenbündel. Vgr. 160.

Kieselkörper, die nur in Fluorwasserstoffsäure sich lösen lassen, werden im Cytoplasma mancher Zellen, besonders bei Palmen und Orchideen gebildet und füllen oft fast die ganze Zelle aus.

Gerbstoffe. Mit konzentrierter Gerbstofflösung erfüllte, stark lichtbrechende Vakuolen sind besonders im Cytoplasma der Rindenzellen eine häufige Erscheinung. Sie wachsen unter Umständen zu bedeutender Größe heran. Die dunkelblaue oder grüne Färbung mit Ferrichlorid- oder Ferrisulfatlösung, der rotbraune Niederschlag mit wäßriger Kaliumbichromatlösung, gelten im allgemeinen als Gerbstoffreaktionen, Reaktionen, welche freilich einer ganzen Gruppe ähnlich sich verhaltender Stoffe zukommen.

Fette und Öle der Pflanzen sind stets Gemenge von Fettsäureestern. Vielfach, so bei den meisten Monokotylen, stellt sich fettes Öl in alternden Chlorophyllkörnern ein. In Gestalt stark lichtbrechender Tröpfchen finden wir das Ricinusöl im Cytoplasma der aleuronhaltigen Zellen des Ricinussamens verteilt. So tritt das Öl auch in den meisten anderen Fällen auf. Doch können die fettartigen Substanzen unter Umständen unregelmäßig geformte, mehr oder weniger weiche Körner im Cytoplasma bilden, so als vegetabilische Butter, als Talg oder Wachs in verschiedenen Samen; selbst in Form kristallinischer Nadeln findet man sie, in dem Samen der Paranaß (*Bertholletia excelsa*) und in der Muskatnuß (*Myristica fragrans*). — Eigenartige cytoplasmatische Gebilde mit eingelagerten Fettröpfchen, die besonders oft in den Oberhautzellen der Orchideen und Liliaceen vorkommen, sind Elaioplasten genannt worden⁽⁷²⁾.

Cholesterin. Die Cholesterine gehören zu den regelmäßigen Bestandteilen besonders der grünen Zellen, dürften somit im Stoffwechsel eine wichtige Rolle spielen⁽⁷³⁾.

Glukogen. Dieser der Stärke verwandte Körper⁽⁷⁴⁾, der im Tierreich sehr verbreitet ist, hat nach ERRERA⁽⁷⁵⁾ für die Pilze dieselbe Bedeutung, wie Stärke und Zucker für die höheren Gewächse. Durch Jodlösungen wird das glukogenhaltige Cytoplasma rotbraun gefärbt, die Färbung schwindet größtenteils beim Erwärmen, um bei der Abkühlung wieder aufzutreten.

Ätherische Öle und Harze. In manchen Fällen sind es auch ätherische Öle oder Harze, die man als stark lichtbrechende Tröpfchen im Zellinhalt verteilt findet. So die ätherischen Öle in zahlreichen Blumenblättern, welchen sie ihren Wohlgeruch verleihen. Unter Umständen nehmen sie auch Kristallform an, so in den Blumenblättern der Rose. In den meisten Fällen werden aber als Entstehungsort der ätherischen Öle und Harze besondere Aussackungen⁽⁷⁶⁾ oder Schichten⁽⁷⁷⁾ der Zellwandung angegeben, aus denen sie erst in das Zellinnere, bzw. in besondere durch Auseinanderweichen oder Auflösung der Zellen erzeugte Behälter gelangen sollen. Als Beispiele ätherische Öle oder Harze

führender Zellen können die Rhizome verschiedener Pflanzen, so des Kalamus (*Acorus Calamus*), des Ingwers (*Zingiber officinale*), oder Rinden, so der Zimmetbäume (*Cinnamomum*), oder Blätter, so des Lorbeers (*Laurus nobilis*), endlich die Fruchtschale und der Samen des Pfeffers (*Piper nigrum*), die Fruchtschale des Sternanis (*Illicium anisatum*) angeführt werden. Die Wände solcher Zellen sind vielfach verkorkt.

Schleim als Inhalt ist häufig in den Zellen von Zwiebeln, so bei *Allium Cepa* und *Urginea Scilla*, von Orchideknollen, doch auch in oberirdischen Pflanzenteilen, besonders den Blättern der Fettpflanzen (Sukkulente), welche trockene Gegenden bewohnen und durch ihre Schleimzellen befähigt werden energisch das Wasser festzuhalten.

Kautschuk und Guttapercha. Diese Körper treten in einer Anzahl von Pflanzenfamilien, so besonders bei den Moraceen, Euphorbiaceen und Sapotaceen im Milchsaft bestimmter Zellen auf. Sie sind in diesem Saft in Gestalt kleiner Kügelchen suspendiert und verleihen ihm ein milchiges Aussehen.

Fermente. Fermentartige Körper sind in den lebenden Pflanzenzellen allgemein verbreitet. Auf ihre Bedeutung für die Oxydationsvorgänge im Organismus haben R. CHODAT und A. BACH⁽⁷⁸⁾ und Andere hingewiesen. In den Siebröhren und den Milchsaft führenden Elementen der höher organisierten Gewächse, in der Kokosnussmilch und den Geweben der Kartoffelknolle fand RACIBORSKI⁽⁷⁹⁾ ein katalytisch wirkendes Enzym, das er Leptomin nannte.

Schwefel. Merkwürdig ist das Auftreten von Schwefel in Form kleiner, stark lichtbrechender Körner im Protoplasma bestimmter Bakterien, der Beggiatoen. Diese Bakterien leben in einem Wasser, das geringe Mengen von Schwefelwasserstoff enthält. Sie gewinnen aus diesem, nach WINOGRADSKY⁽⁸⁰⁾, den Schwefel und verbrennen ihn dann, nach Bedarf, zu Schwefelsäure.

Der Zellsaft. Als Zellsaft wird die Flüssigkeit bezeichnet, welche den inneren Saft Raum ausgewachsener Zellen der Pflanzen füllt. Sie ist im allgemeinen wässriger und klarer als die Flüssigkeit der kleineren, im Cytoplasma verteilten Vakuolen. Eine scharfe Grenze läßt sich aber zwischen Saft Raum und Vakuolen nicht ziehen und kann der Saft Raum durch eine große Zahl von Vakuolen vertreten sein. Der Zellsaft reagiert für gewöhnlich sauer und zwar infolge der organischen Säuren beziehungsweise organisch-sauren Salze, die er führt. Die Substanzen, die der Zellsaft außerdem in Lösung halten kann, sind sehr verschieden. Zu besonders häufigen Bestandteilen des Zellsaftes zählen die löslichen Kohlehydrate. Unter diesen herrschen vor die Zuckerarten, Traubenzucker und Rohrzucker, vor allem Traubenzucker oder die Glukosen. Die Glukosen sind an ihren reduzierenden Eigenschaften kenntlich.

Glukosehaltige Schnitte in Kupfersulfatlösung gelegt, dann abgespült und in Kalilauge und Seignettesalzlösung erwärmt, geben innerhalb der Zellen einen ziegelroten Niederschlag von Kupferoxydul. Bei Vorhandensein von Rohrzucker (Saccharose) wird durch die nämliche Behandlung nur eine Bläuung des Zellsaftes erzielt.

Die Kohlehydrate wandern innerhalb des Pflanzenkörpers vornehmlich als Glukosen; Rohrzucker wird hingegen als Reservestoff aufgespeichert, so in der Zuckerrübe, der Mohrrübe, dem Stengel des Zuckerrohrs und in anderen Pflanzen, aus denen man ihn gewinnt. — Ähnlich verhält sich bei den Kompositen das Inulin. Dieses kann man mit Alkohol in Form kleiner Kügelchen niederschlagen und durch Erwärmen im Wasser den Niederschlag wieder auflösen. Wenn inulinreiche Pflanzenteile, z. B. die Wurzelknollen der Georgine (*Dahlia variabilis*), in Spiritus oder Glycerin gelegt werden, so fällt das Inulin in kugelförmigen Sphäriten aus, die von radialen Spalten durchsetzt sind, leicht in keilförmige Stücke zerfallen, manchmal auch deutliche Schichtung zeigen. Ganz allgemein führt der Zellsaft Amide, vor allem Asparagin und Glutamin. Häufig sind Gerbstoffe, Alkaloide, auch Glukoside, wie das Koniferin, Hesperidin, Amygdalin, Solanin, Äsculin, Saponin und die den Glukosiden verwandten Bitterstoffe im Zellsaft gelöst. Sehr verbreitet im Zellsaft sind, wie schon erwähnt, die organischen Säuren, Äpfelsäure,

Weinsäure, Oxalsäure; die Äpfelsäure ganz allgemein in den Blättern der Fetterpflanzen. Meist sind diese organischen Säuren mit Basen verbunden und manche ihrer Salze auskristallisiert. Der Sauerampfer (*Rumex*) und der Sauerklée (*Oxalis*) sind reich an saurem oxalsaurem Kali. *Salicornia*- und *Salsola*-Arten enthalten saures oxalsaures Natron. Jeder Zellsaft führt anorganische Salze in Lösung, besonders Nitrate, Sulfate und Phosphate. — Verschiedene Vakuolen können innerhalb desselben Protoplasten verschiedenen Inhalt führen, so gerbstoffhaltig oder gerbstofffrei, gefärbt oder farblos sein.

Vielfach ist der Zellsaft gefärbt, vornehmlich durch sog. Anthokyan, die HANS MOLISCH, zum mindesten in bestimmten Fällen, für stickstofffreie Glukoside erklärt⁽⁸¹⁾. Das Anthokyan ist blau in alkalisch reagierendem, rot in sauer reagierendem Zellsaft, unter Umständen auch dunkelrot, violett, dunkelblau, selbst schwarzblau. Bei einer beträchtlichen Anzahl intensiv gefärbter Pflanzen kann es aus dem übersättigten Zellsaft auch in kristallinischer oder amorpher Gestalt ausgeschieden werden. Blutfarbige Laubblätter, so die der Blutbuche, verdanken dem Zusammenwirken des roten Anthokyans und des grünen Chlorophylls ihre eigenartige Färbung. Die verschiedenen Färbungen der Blüten beruhen auf der verschiedenen Farbe des Zellsaftes, auf der verschiedenen Verteilung der Farbstoffe führenden Zellen, endlich auf der Kombination der gelösten Farbstoffe mit gelben, gelbroten oder roten Chromoplasten und grünen Chloroplasten. Nur selten kommt auch ein gelber dem Xanthophyll nahe verwandter, doch in Wasser löslicher gelber Farbstoff, das Xanthein, im Zellsafte vor.

2. Ontogenie der Zelle.

Ursprung der lebendigen Elemente des Protoplasma. Alle Zellkerne in einem Organismus sind Nachkommen von Zellkernen vorausgegangener Generationen. Eine freie Neubildung von Kernen findet nirgends statt. Ebenso ist alles Cytoplasma eines Organismus von älterem Cytoplasma abzuleiten. Nicht minder gehen, so weit bis jetzt bekannt, die Chromatophoren nur aus ihresgleichen hervor.

Kernteilung. Von bestimmten ganz begrenzten Fällen abgesehen, vermehren sich die pflanzlichen Zellkerne auf dem Wege sog. mitotischer oder indirekter Teilung. Dieser Teilungsvorgang wird auch als Karyokinese bezeichnet. Er spielt sich in ziemlich komplizierter Weise ab, die aber notwendig erscheint, um die Substanz des Mutterkerns völlig gleichmäßig auf die beiden Tochterkerne zu verteilen.

Indirekte Kernteilung⁽⁸²⁾. In seinen Hauptzügen stimmt dieser Vorgang bei höher organisierten Pflanzen und Tieren überein. Wir führen ihn in etwas schematisierten Bildern (Fig. 86) vor, welche seine Stadien im wesentlichen so darstellen, wie sie in den vegetativen Zellen der Pflanzen, etwa den Zellen eines Vegetationspunktes, aufeinander folgen.

Das feine Gerüstwerk des ruhenden Zellkerns (Fig. 86, 1 n) sehen wir auf einzelne Punkte sich zusammenziehen und in eine bestimmte Anzahl von Gebilden sich sondern (Fig. 86, 2 ch), die zunächst unregelmäßig umschrieben sind, alsbald Fadenform annehmen. Diese Fäden werden dichter, zugleich kürzer und dicker (3) und speichern dann die Farbstoffe stärker auf. Die färbbare Substanz der Fäden, das Chromatin, sammelt sich in mehr oder weniger regelmäßiger Weise zu Querscheiben an, die durch schmale Linienbrücken verbunden sind (3). Wir bezeichnen diese fadenförmigen Segmente des Kerns als Chromosomen (Fig. 86, 3, 4). Sie werden nach der Teilungsebene befördert, um die sog. Kernplatte oder Äquatorialplatte zu bilden

(5 *kp*, 6, 7). Jedes Chromosom hat zuvor schon eine Längsspaltung erfahren, die immer deutlicher wird (5, 6, 7). Die beiden Längshälften jedes Chromosoms rücken hierauf in entgegengesetzter Richtung auseinander (8), um die beiden Tochterkerne (9 *t*) zu bilden.

In die geschilderten Vorgängen greifen andere in bestimmender Weise ein. Während das Kerngerüst in die einzelnen Chromosomen sich sondert, legen sich der Kernwandung Cytoplasmafäden an und umgeben sie mit

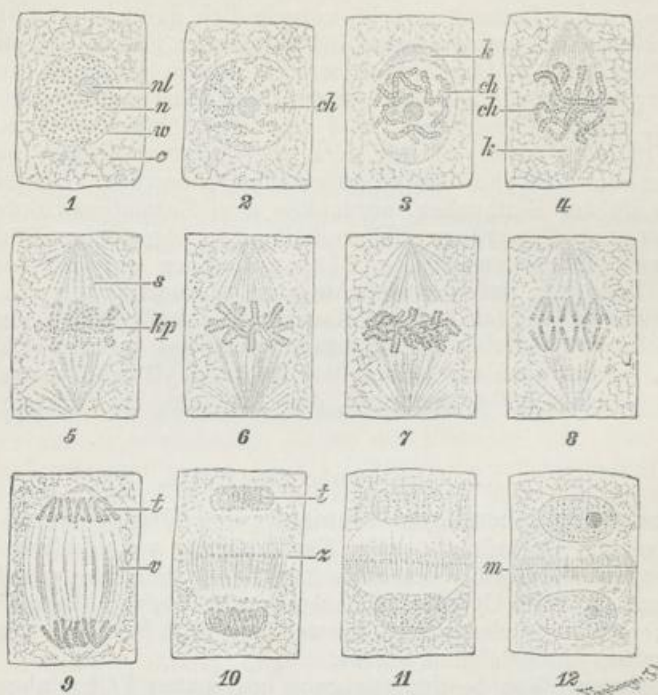


Fig. 86. Aufeinanderfolgende Stadien der Kern- und Zellteilung in einer embryonalen Gewebezelle. *n* Kern, *nl* Nucleolus, *w* Kernwandung, *c* Cytoplasma, *ch* Chromosomen, *k* Polkappen, *s* Spindel, *kp* Kernplatte, *t* Tochterkernanlage, *v* Verbindungsfäden, *z* Zellplatte, *m* neue Scheidewand. In 1 der Kern in Ruhe. In 2 und 3 Sonderung der Chromosomen. In 4 die Chromosomen mit Querscheiben. In 5 Anordnung der Chromosomen zur Kernplatte, ihre Längsspaltung. In 3-5 Ausbildung der Spindel aus den Polkappen. In 6 die Längsspaltung der Chromosomen. In 7 ihre beginnende Trennung in Richtung der Pole. In 8 vollendete Trennung der Tochterchromosomen. In 9 ihre Beförderung nach den Polen. In 10, 11 und 12 Bildung der Tochterkerne. In 9-11 Anlage der Verbindungsfäden und der Zellplatte. In 12 Ausbildung der neuen Scheidewand. Vergr. ca. 600.

einer faserigen Schicht. Diese hebt sich alsbald an zwei gegenüberliegenden Seiten von der Kernwandung ab (3 *k*) und bildet Polkappen, die mit scheinbar homogenem Inhalte erfüllt sind, in welchem sich dann zarte Fasern sondern. Letztere verlaufen polwärts, ohne dort zunächst aufeinander zu treffen, neigen aber weiterhin zusammen, strecken sich und bilden einen zugespitzten Büschel (4 *k*). Hierauf wird das Kernkörperchen (*nl*) aufgelöst, die Kernwandung schwindet, und die Fasern der Kappen verlängern sich in die Kernhöhle hinein (4, 5). Sie setzen dort entweder von zwei Seiten her an die Chromosomen an, oder treffen aufeinander mit den Enden, um

sich zu vereinigen und als ununterbrochene Fäden von einem Pol zum andern zu verlaufen. So entsteht die Kernspindel (5, 6, 7). Die an die Chromosomen ansetzenden Spindelfasern werden als Zugfasern, die von Pol zu Pol verlaufenden als Stützfasern bezeichnet. Die Kernkörperchen scheinen einen Reservestoff darzustellen, der zur Ernährung der Chromosomen dient und dann noch besonders die Substanz zur Bildung der Spindelfasern liefert. Ein etwaiger Überschuß an Nucleolarsubstanz verteilt sich im umgebenden Cytoplasma, um dort sog. extranucleare Nucleolen zu bilden. Durch die Zugfasern werden die von ihnen erfaßten Chromosomen zunächst nach der Äquatorialebene (5) befördert. Das Auseinanderweichen der aus der Längsspaltung der Mutterchromosomen hervorgegangenen Tochterchromosomen (8, 9) dürfte auf einer Verkürzung der Zugfasern beruhen. So werden die Tochterchromosomen in Richtung der Spindelpole befördert. Die Stützfasern geben für diesen Vorgang die nötigen Widerstände ab. Vielfach lassen sich die Spindelenden bis an die Hautschicht verfolgen und man kann feststellen, daß sie an dieser befestigt sind. In den Tochterkernanlagen werden die freien Enden der Chromosomen alsbald einwärts gebogen (10); dann grenzt sich das umgebende Cytoplasma mit einer Hautschicht gegen die Kernanlage ab und bildet die Kernwandung (11). Innerhalb der Kernanlage nehmen die Chromosomen wieder einen wabenartigen Bau an und vereinigen sich miteinander zu einem Gerüstwerk, in welchem ihre Grenzen meist nicht mehr zu erkennen sind, in dem aber, wie man annehmen muß, sie ihre Selbständigkeit nicht einbüßen⁽⁸³⁾. Die Kernanlage wird dabei größer; es treten Nucleolen in Ein- oder Mehrzahl in ihr auf (12), während die extranuclearen Nucleolen gleichzeitig im Cytoplasma schwinden. Schließlich ist der Ruhezustand wieder erreicht.

So spielt sich der Vorgang in jugendlichen Geweben der höher organisierten Pflanzen für gewöhnlich ab. Bei Anlage der Kernspindel werden die Chromosomen annähernd in ihrer Mitte, seltener gegen ihr Ende, von den Zugfasern erfaßt. Die Zugfasern des einen Pols setzen an das eine, die des anderen an das andere Tochterchromosom jedes Paares an. Die Art, wie die Tochterchromosomenpaare an der Kernspindel orientiert sind und wie ihr Auseinanderweichen sich vollzieht, soll durch unsere schematische Figur 87 vergegenwärtigt werden. In dem mit 1 bezeichneten Bilde liegen

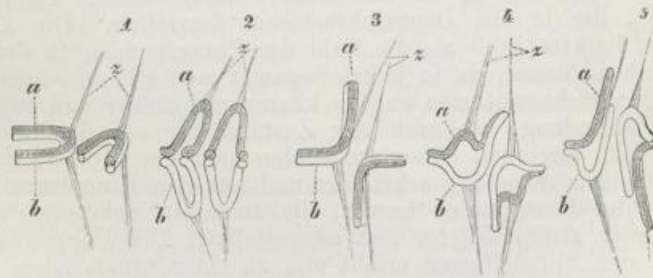


Fig. 87. Schematische Darstellung der verschiedenen Lage der Chromosomen an der Spindel und ihrer Trennung. *a* und *b* Tochterchromosomen desselben Mutterchromosoms, *z* Zugfasern der Spindel.

die beiden Schenkel jedes Paarlings annähernd in der Äquatorialebene. Dann zeigen die Tochterchromosomen bei ihrer Trennung die Gestalt von zwei entgegengesetzt gerichteten, mit ihren Schenkelenden aufeinander gestützten U (2). Meist pflegt aber der eine Schenkel jedes Paarlings (3) gegen den einen der beiden Pole, der andere annähernd äquatorial orientiert zu sein. Das gibt, wenn die Trennung begonnen hat

entweder Bilder wie in 4 oder wie in 5. Bilder wie in 4 kommen zustande, wenn die Tochterchromosomen an ihren beiden Schenkelenden zunächst verbunden bleiben, Bilder wie in 5, wenn an den polwärts gerichteten Enden alsbald eine Trennung erfolgt. In allen diesen Fällen geht die Trennung von der Stelle aus, an der die Zugfasern ansetzen. Liegt die Insertion eines Paarlings an der Spindel dem einen seiner Enden genähert, so werden naturgemäß mit Beginn des Auseinanderweichens die Tochterchromosomen alsbald an diesem Ende getrennt sein, mit dem entgegengesetzten hingegen länger verbunden bleiben. Das Verhalten wie im Schema 1 und 2 haben wir unserer Figur 86 zugrunde gelegt. Meist freilich tritt es nicht so rein auf, sondern mehr oder weniger kombiniert mit den anderen Typen.

Die Vorgänge, die sich während der Vorbereitung zur Teilung in einem Mutterkerne abspielen, werden als Prophase der Teilung bezeichnet. Sie reichen bis zur Bildung der Kernplatte, vor deren Fertigstellung auch die Längsspaltung der Chromosomen sich vollzieht. Das Stadium der Kernplatte ist die Metaphase. Das Auseinanderweichen der Tochterchromosomen erfolgt in der Anaphase, die Bildung der Tochterkerne in der Telophase der Teilung. Der Höhepunkt der ganzen Kernteilung, derjenige Vorgang, der zur Bildung quantitativ und qualitativ gleicher Teilungsprodukte führt, liegt in der Längsspaltung der Chromosomen (5, 6, 7 Fig. 86, Fig. 87). Die Anaphasen und Telophasen der Teilung sind im wesentlichen eine rückläufige Wiederholung der Prophasen.

Die Zahl der Chromosomen, die einem Kerne zukommt, ist eine bestimmte; weicht sie von der erwarteten Zahl ab, so ist es, weil einzelne Chromosome sich mit ihren Enden vereinigt haben. Die kleinste Zahl, die man bisher in den Gewebezellen der höher organisierten Gewächse angetroffen hat, war acht; meist ist diese Zahl aber größer und beträgt das Mehrfache.

In bestimmten der Fortpflanzung dienenden Zellen, die eine neue Generation einleiten, so in den Sporenmutterzellen der höheren Kryptogamen und Phanerogamen, vollzieht sich eine besondere Kernteilung, die als Reduktionsteilung bezeichnet wird. In der Prophase dieser Teilung vereinigen sich die Chromosomen zu Paaren (Fig. 88, 1, 2). Hierauf folgt eine starke Zusammenziehung des Kerninhalts, die für diesen Teilungsvorgang bezeichnend ist und Synapsis genannt wurde. Dann spinnen sich die Doppelchromosomen als zarte Doppelfäden wieder aus (4), um alsbald zu einem entsprechend dickeren Faden zu verschmelzen, der einen lockeren Knäuel bildet (5). In diesem wird die doppelte Zusammensetzung alsbald wieder sichtbar (6). Dann zerfällt der bis dahin ununterbrochene Doppelfaden in Segmente (7), die je ein Doppelchromosom darstellen. Die Zahl dieser Segmente ist halb so groß als die Zahl der Chromosomen in den Gewebezellen derselben Pflanze, da in jedem Segment zwei Chromosomen vertreten sind. Die Doppelchromosomen werden kürzer und dicker und verteilen sich an der Kernwandung, wodurch der Zustand der sog. Diakinese (8) erreicht ist. Nun beginnen Kinoplasmafäden sich der Kernwandung anzulagern (8), die Kernwandung schwindet und aus den Kinoplasmafäden geht die Anlage der Kernspindel hervor, die zunächst mehrpolig auftritt (9), allmählich aber zweipolig (10) sich ausgestaltet. Die Doppelchromosomen werden von den Spindelfasern erfaßt und zu einer äquatorialen Kernplatte angeordnet (10). Bald folgt die Trennung der zu Paaren vereinigten Chromosomen (11). Bei diesem die Reduktionsteilung bewirkenden Vorgang werden somit nicht Längshälften von Chromosomen, sondern ganze Chromosomen voneinander getrennt. Das hat zur Folge, daß die Zahl der Chromosomen, die jedem Tochterkern zufällt, nur die Hälfte jener Zahl darstellt, welche die Gewebezellen derselben Pflanze aufwiesen. Während ihrer Wanderung nach den Polen lassen die Chromosomen eine Längsspaltung erkennen. Diese Längsspaltung wurde tatsächlich schon in den Prophasen, also vor Anlage der Kernplatte vollzogen, führte aber nicht, wie bei einer

gewöhnlichen Kernteilung, zur Sonderung der Längshälften. Die beiden Längshälften jedes Chromosoms bleiben vielmehr aneinander und gelangen

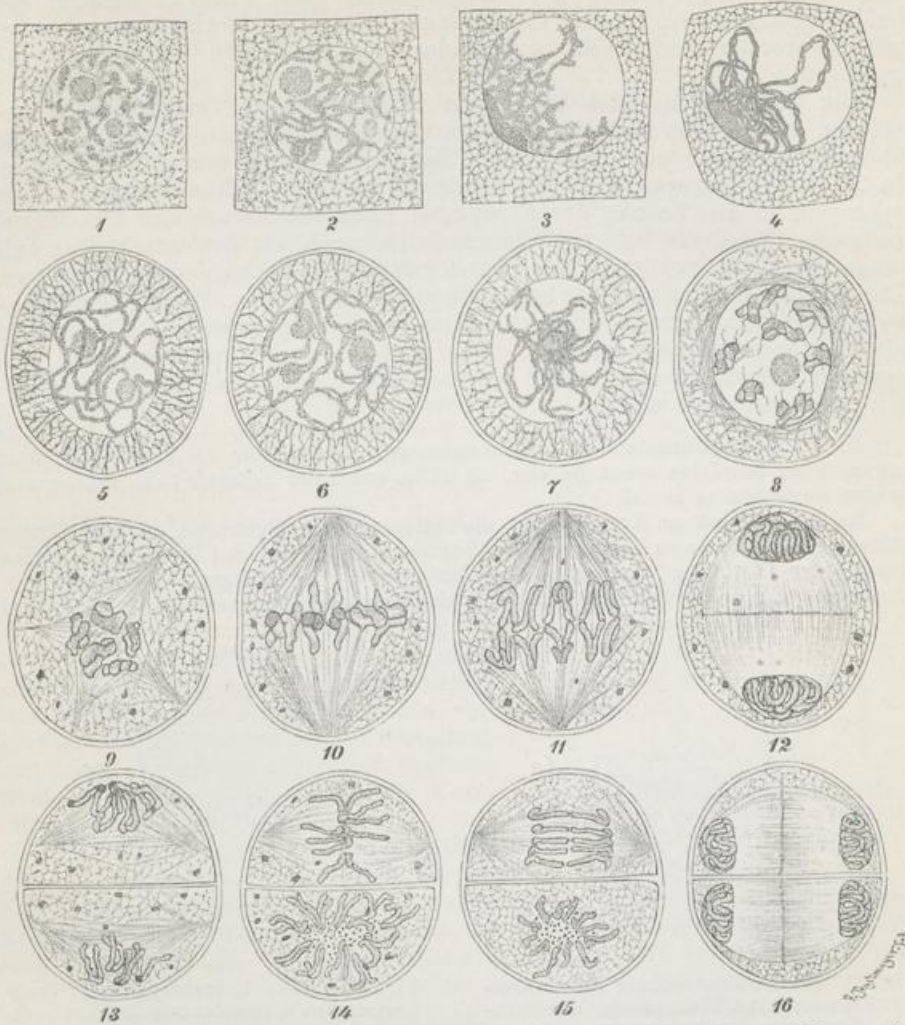


Fig. 88. Pollenmutterzellen einer Lilie in Teilung, etwas schematisiert. 1 Mutterzelle mit ruhendem Kern. 2 Die Sonderung der Chromosomen. 3 Synapsis. 4 Doppelfäden in Verschmelzung begriffen. 5 Der aus den verschmolzenen Doppelfäden entstandene, einen scheinbar einfachen Faden zeigende Knäuel. 6 Wiedererfolgende Trennung der Fäden; der Knäuel noch unsegmentiert. 7 Der Knäuel quer segmentiert, Doppelchromosomen. 8 Diakinese. 9 Multipolare Spindelanlage. 10 Mutterkernspindel, die Kernplatte von Doppelchromosomen gebildet. 11 Reduktionsteilung; die auseinanderweichenden Chromosomen eine teilweise Trennung ihrer Längshälften zeigend. 12 Anlagen der Tochterkerne. 13 Die Längshälften der Chromosomen (Tochterchromosomen) werden zu Paaren verbunden in die Kernspindeln eingereiht. 14 Tochterkernspindeln. 15 Auseinanderweichen der Tochterchromosomen. 16 Anlagen der Enkelkerne.
Vergr. etwa 800.

in denselben Tochterkern. — Die Bildung der Tochterkerne vollzieht sich wie bei einer gewöhnlichen Kernteilung (12). Rasch folgt aber auf die erste

Reduktionsteilung, die auch als heterotypische bezeichnet wird, ein zweiter Teilungsschritt, die sog. homöotypische Teilung⁽⁸⁴⁾, bei der eine neue Längsspaltung der Chromosomen nicht erfolgt, vielmehr die beiden Längshälften jedes Chromosoms, die den Tochterkernen zugewiesen worden sind, sich voneinander trennen und in die Enkelkerne gelangen.

Die Vorgänge, die sich bei diesem homöotypischen Teilungsschnitt abspielen, stimmen im übrigen mit jenen einer gewöhnlichen Kernteilung nahe überein und sollen uns durch die Teilfiguren 13 bis 16 verdeutlicht werden. In 13 ist die Anlage, in 14 die Fertigstellung der Tochterkernspindeln zu sehen; in 15 die Teilung der Kernplatte, in 16 die Anlage der Enkelkerne vollzogen. Daß die beiden Teilungsschritte rasch, oft fast unmittelbar aufeinander folgen, gehört zu den charakteristischen Merkmalen des Vorgangs. Der heterotypischen und der homöotypischen Kernteilung, die sich als allotypische zusammenfassen lassen, kann man die gewöhnliche Kernteilung als typische gegenüberstellen. Der allotypischen Kernteilung ganz entsprechende Erscheinungen stellen sich auch im Tierreich auf bestimmten Entwicklungszuständen ein.

Die kleinste reduzierte Zahl der Chromosomen, die man für die Kerne der höher organisierten Gewächse kennt, ist vier, die Hälfte somit der kleinsten Zahl, welche man in den Gewebszellen antrifft.

Bei solchen niederen Kryptogamen, die individualisierte Centriolen an ihren Kernen führen, erfahren diese zu Beginn der Karyokinese eine Teilung und ihre Hälften rücken auseinander (Fig. 89 c), um schließlich die Pole der zukünftigen Kernspindel einzunehmen. Um solche Centriolen ist meist eine bestimmte Plasmamasse als Centrosom

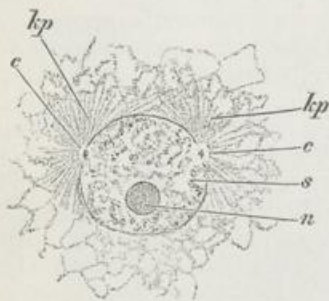


Fig. 89. Ein sich zur Teilung anschickender Kern aus einer Keimpflanze der braunen Meeresalge *Fucus serratus*. Die aus der Teilung des einen Centriols hervorgegangenen zwei Centriolen (*c*) sind bereits eine Strecke weit auseinandergerückt, *kp* Strahlungen des Kinoplasma, *s* Chromosomen, *n* Nucleolus. Vergr. 1000.

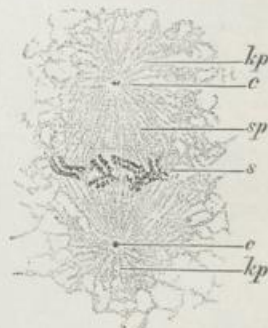


Fig. 90. Eine Kernspindel mit längsgespaltene Chromosomen in der Kernplatte aus einer Zelle der Keimpflanze der braunen Meeresalge *Fucus serratus*. *c* Centriolen, *kp* Strahlungen des Kinoplasma (Astrosphären), *sp* Spindelfasern, *s* längsgespaltene, die Kernplatte bildende Chromosomen. Vergr. 1000.

abgegrenzt und um dieses bildet sich alsbald eine aus Kinoplasma bestehende Strahlung (*Kp*), eine Astrosphäre, aus. Haben die beiden Centriolen die Kernpole erreicht, so schwindet dort die Kernwandung und es treten Spindelfasern in der Kernhöhle auf, die von den Centrosomen ausgehen und sich bis an die Chromosomen fortsetzen. Die fertige Kernspindel (Fig. 90) ist mit je einem Centrosom und kinoplasmatischer Strahlung (*Kp*) an den Polen versehen, stimmt im übrigen in ihrem Bau mit den centriolenfreien Kernspindeln der höher organisierten Pflanzen überein. So spielen sich auch die Teilungsvorgänge und die Ausbildung der Tochterkerne der Hauptsache nach in

beiden Fällen übereinstimmend ab. Die Centriolen bleiben an den Tochterkernen erhalten und vermehren sich durch Zweiteilung bei jedem weiteren Teilungsschritte der Zellkerne. Die kinoplasmatische Strahlung um die Centrosomen ist nur während der Dauer des karyokinetischen Vorgangs vorhanden⁽⁸⁵⁾.

Direkte Kernteilung. Außer der mitotischen oder indirekten Kernteilung kommt auch noch eine direkte oder amitotische Teilung, auch Fragmentation genannt, vor (Fig. 91). Bei den niedersten Organismen werden zwischen ihr und der indirekten Kernteilung Übergänge angegeben, bei den höheren Organismen lassen sich solche nicht nachweisen. Bei den höher organisierten Pflanzen stellt die direkte Kernteilung wohl stets einen reduzierten, oft senilen Vorgang dar, der sich meist erst in älteren Zellen oder auch solchen einstellt, deren Inhalt alsbald desorganisiert werden soll.

Lehrreiche Beispiele für direkte Kernteilung bieten uns die langen Gliederzellen der Armleuchtergewächse (Characeen), und alte Internodialzellen von Tradescantien (Fig. 91). Die direkte Kernteilung beruht im wesentlichen auf einem Durchschnürungsvorgang, wobei die Teilstücke durchaus nicht in ihrer Größe übereinzustimmen brauchen. Bei den Armleuchtergewächsen folgen die Teilungsschritte so rasch aufeinander, daß oft perlschnurförmige Reihen zusammenhängender Teilstücke entstehen. In alten Internodialzellen von Tradescantia (Fig. 91) zeigen die besonders häufig nur halbdurchschnürten Kerne die unregelmäßigsten Gestalten. — Während in den einkernigen Zellen eine indirekte Kernteilung von einer Zellteilung fast stets begleitet wird, folgt eine solche auf direkte Kernteilung nicht.

Zellteilung. In den einkernigen Zellen der höher organisierten Gewächse pflegen Kern- und Zellteilungen ineinander zu greifen. Während die Tochterchromosomen sich trennen, verbleiben die von Pol zu Pol reichenden Stützfaser der Kernspindel als Verbindungsfäden an Ort und Stelle (Fig. 86 9, v, Fig. 88, 12, 16). Ihre Zahl wird durch die Einschaltung neuer Verbindungsfäden vermehrt (Fig. 86, 10). Sie bilden alsdann zusammen einen tonnenförmigen Körper, der sich entweder von den Tochterkernanlagen ganz trennt oder mit ihnen durch eine periphere Hülle, den Verbindungsschlauch, verbunden bleibt. Ersteres findet in Zellen statt, die mit Cytoplasma dicht erfüllt sind, letzteres in saftreicheren Zellen. Jeder Verbindungsfaden schwillt alsbald in der Äquatorialebene stäbchenförmig an (86, 10), wodurch die Zellplatte entsteht. Ist die betreffende Zelle sehr plasmareich, oder besitzt sie nur geringe Weite, so erreicht der Komplex der Verbindungsfäden allseitig ihre Seitenwände (86, 11). Aus der verschmelzenden Substanz der Elemente der Zellplatte geht alsdann eine cytoplasmatische Hautschicht hervor, die sich spaltet und in der Spaltungsfläche die Scheidewand aus Zellhautstoff ausscheidet, welche simultan die Mutterzelle in zwei Tochterzellen teilt (86, 12). Ist die betreffende Zelle mit einem größeren Saft Raum versehen, so vermag der Komplex der

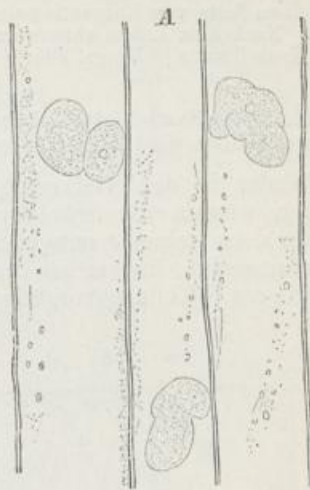


Fig. 91. Kerne älterer Zellen aus dem Stengel von *Tradescantia virginica*, in direkter Teilung. Vergr. 540.

Verbindungsfäden sie nicht mit einem Mal zu durchsetzen; er bildet die Scheidewand vielmehr *succedan* aus (Fig. 92), zunächst einen Teil, der an eine Seitenwand der Mutterzelle anschließt (Fig. 92 A), dann einen folgenden Teil, wobei er an seinem freien Rande die Zellplatte ergänzt, von den schon gebildeten Teilen der Scheidewand sich zurückzieht (B) und so fort und fort, bis daß der ganze Querschnitt der Mutterzelle durchsetzt und ihre Teilung damit vollendet ist (C).

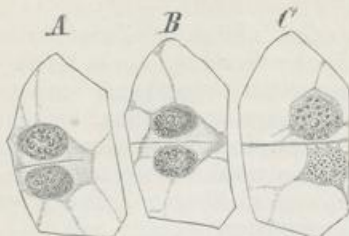


Fig. 92. Drei Teilungszustände in derselben Zelle von *Epipactis palustris*. Nach dem Leben entworfen. (Nach TREUB.) Vergr. 365.

Die Verbindungsfäden bestehen aus Kinoplasma. Da die zwischen den Schwesterzellen entstehende Zellplatte aus Anschwellungen dieser Verbindungsfäden hervorgeht, so zeugt das auch für ihre kinoplasmatische Natur. Indem sie sich spaltet versieht diese Zellplatte die beiden Schwesterzellen an der Trennungsstelle mit den erforderlichen Hautschichtabschnitten. Durch Trennung des Verbindungsfadenkomplexes in zwei Hälften wird das Kinoplasma gleichmäßig auf die entstehenden Zellen verteilt.

Weder in den vielkernigen noch den einkernigen Zellen der Thallophyten werden die Scheidewände in Verbindungsfäden erzeugt. Sie entstehen dort vielmehr entweder simultan in vorgebildeten Cytoplasmaplatten, oder *succedan*, indem sie von der Mutterzellwand aus in das Zellinnere vordringen. Teilungsvorgänge der letzteren Art (Fig. 93 und 94) hatte

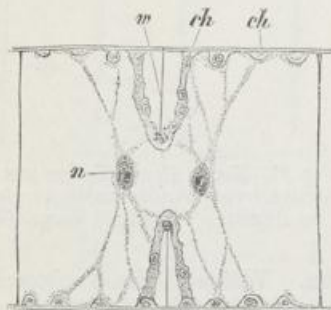


Fig. 93. Eine Spirogyrazelle in Teilung. *n* Einer der beiden Tochterkerne, *w* die wachsende Scheidewand, *ch* ein durch dieselbe nach innen gedrücktes Chlorophyllband. Vergr. 230.

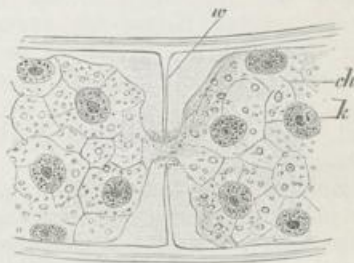


Fig. 94. Stück einer sich teilenden Zelle von *Cladophora fracta*. *w* Die wachsende Scheidewand, *ch* die nach innen gedrückten Chromatophoren, *k* Kerne. Vergr. 600.

man zuerst eingehend und zwar bei Süßwasseralgen studiert; sie waren es, welche die Aufstellung eines Zellteilungsschemas veranlaßten, das lange Zeit die tierische und die pflanzliche Histologie beherrschte. Die Anlage der neuen Scheidewand tritt in solchen Fällen als ringförmige Leiste an der Mutterzellwand auf, dringt immer tiefer in den Protoplasten ein (Fig. 93, 94) und durchschneidet ihn schließlich. In einkernigen Zellen (Fig. 93) geht auch bei dieser Art der Teilung, die Teilung des Kerns der Teilung der Zelle voraus, wobei die neue Scheidewand in gleicher Entfernung von den beiden Tochterkernen erzeugt wird. In vielkernigen Zellen der Thallophyten hingegen teilen sich zwar die Kerne ebenso so wie in einkernigen, der Zellteilungsvorgang (Fig. 94) wird aber von der Kern-

teilung völlig unabhängig. In vielkernigen Thallophyten, die einzellig bleiben, teilen sich nur die Zellkerne, Zellteilung erfolgt nicht.

Das Ineinandergreifen der Kern- und Zellteilung in einkernigen Zellen ist notwendig, um jeder Tochterzelle einen Kern zu sichern, in vielkernigen Zellen ist es nicht notwendig, da jeder Tochterzelle die nötigen Kerne ohnedies bei der Teilung zufallen.

Freie Kernteilung und Vielzellbildung. Die Kernteilungen in den vielkernigen Zellen der Thallophyten können bereits als Beispiel für eine freie, d. h. von Zellteilung nicht begleitete Kernteilung angeführt werden. Auch in Pflanzen mit typisch einkernigen Zellen findet in bestimmten Zellen freie Kernteilung statt, doch pflegt dort auf diese Kernteilung schließlich ein Zellbildungsvorgang zu folgen. Der Vorgang beruht darauf, daß die Kerne durch fortgesetzte Zweiteilung an Zahl zunehmen, ohne daß diese ihre Vermehrung von Zellteilung zunächst begleitet wird. Erst nach Anlage der vollen Kernzahl grenzt sich das Cytoplasma simultan, zwischen den Kernen, in so viel Teile ab als Kerne vorhanden sind. Es liegt dann Vielzellbildung vor. Besonders lehrreich ist dieser Vorgang in bestimmten, oft bedeutende Größe erlangenden Zellen der Phanerogamen, den Embryosäcken, jenen Zellen, in welchen der Embryo ausgebildet wird. In Embryosäcken, die rasch wachsen, sieht man den zunächst einzigen Zellkern sich in zwei Zellkerne teilen, diese und ihre Nachkommen den Vorgang wiederholen und so nicht selten tausende von Zellkernen entstehen. Zellteilungen begleiten diese Kernteilungen nicht, vielmehr zeigen sich die Kerne frei in gleichen Abständen in dem cytoplasmatischen Wandbeleg des Embryosackes verteilt. Hört die Größenzunahme des Embryosackes auf, so umgeben sich die Zellkerne in ihrem ganzen Umkreis mit Verbindungsfäden, so daß sie wie strahlende Sonnen aussehen (Fig. 95). In diesen Verbindungsfäden treten dann Zellplatten auf, in denen Zellwände entstehen. So zerfällt durch „simultane Vielzellbildung“ der protoplasmatische Wandbeleg des Embryosackes meist in so viele Zellen, als er Zellkerne führte. — Die simultane Vielzellbildung in Embryosäcken ist durch alle Zwischenstufen mit succedaner Zweiteilung der Zellen verknüpft. Letztere findet in langsam wachsenden, meist auch klein bleibenden Embryosäcken statt. Die simultane Vielzellbildung ist somit von der Zweiteilung abzuleiten und als ein verkürzter Vorgang aufzufassen, der durch besonders rasche Größenzunahme einer Zelle bedingt werden kann.

Freie Zellbildung. Dieser Vorgang liegt von der gewöhnlichen Zweiteilung der Zellen schon weiter ab, denn es folgt in ihm auf die freie Kernteilung eine Zellbildung, bei welcher die entstehenden Zellen einander nicht berühren und nicht das gesamte Cytoplasma ihrer Mutterzelle aufbrauchen. Ein solcher Vorgang ist bei der Sporenbildung der Schlauchpilze (Ascomyceten), auch bei der Keimanlage einiger nacktsamiger Phanerogamen (Gymnospermen), so von Ephedra, zu beobachten. In den Schläuchen (Asci) der Ascomyceten ist zunächst nur ein Zellkern vorhanden, der sich frei teilt und dessen Nachkommen dieselbe Teilung wiederholen, so daß schließlich acht Zellkerne in dem Cytoplasma sich befinden. Um jeden Zellkern wird hierauf eine

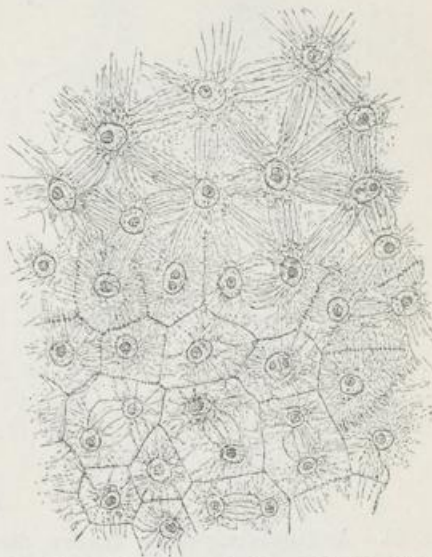


Fig. 95. Stück des protoplasmatischen Wandbelegs aus dem Embryosack von *Reseda odorata*, bei beginnender Vielzellbildung. Der Vorgang schreitet von unten nach oben fort. Nach einem fixierten und tingierten Präparate. Vergr. 240.

bestimmte Cytoplasmaportion durch eine Hautschicht abgegrenzt, die sich mit einer Zellhaut umgibt, so daß acht voneinander getrennte Sporen entstehen (vgl. Fig. 327). Wie die Untersuchungen von HARPER⁽⁸⁶⁾ zeigten, geht die Bildung der Hautschichten hierbei von einer centrosomenartigen Kinoplasmaansammlung aus, welche dem Spindelpol der vorausgehenden Teilungsfigur entspricht. Gegen diese Kinoplasmaansammlung ist der Kern lang vorgestreckt, und von ihr aus werden Kinoplasmastrahlen entsandt, welche den abzugrenzenden Sporenkörper umwachsen und schließlich zu dessen Hautschicht verschmelzen (Fig. 96).

Zellsprossung. Eine besondere Abart der gewöhnlichen Zweiteilung der Zellen ist die Sprossung. Die Mutterzelle wird bei ihr nicht halbiert, sie treibt vielmehr einen Auswuchs, der

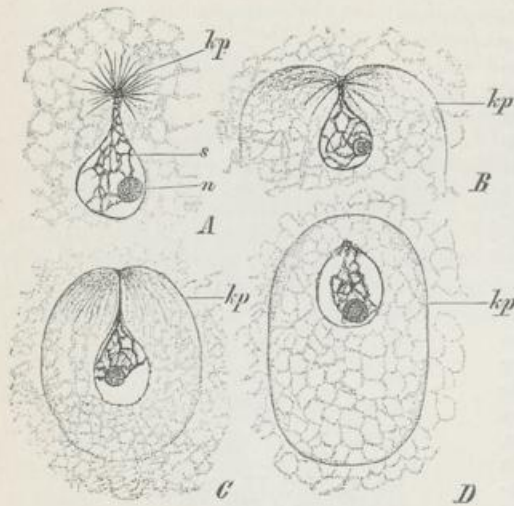


Fig. 96. Aufeinanderfolgende Stadien der Abgrenzung einer Spore im Ascus von *Erysiphe communis*. A Von der an dem vorgezogenen Kernpol angesammelten Kinoplasmaansammlung gehen freie Strahlungen (kp) in die Umgebung aus. In B beginnen sie die abzugrenzende Cytoplasmamasse zu umwachsen. In C ist dieser Vorgang vollendet, die Hautschicht um den Sporenkörper aus den verschmolzenen Kinoplasmastrahlen erzeugt. In D ist die kinoplasmatische Verbindung zwischen Zellkern und Hautschicht aufgehoben. s Kerngerüst, n Nucleolus. (Nach HARPER.)

Vergr. 1500.

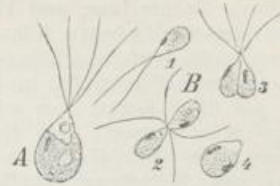


Fig. 97. A Eine ungeschlechtliche Schwärmspore von *Ulothrix zonata*. B, 1 ein Gamet, 2 und 3 kopulierende Gameten, 4 eine durch Kopulation erzeugte Zygote. Vgr. 500.

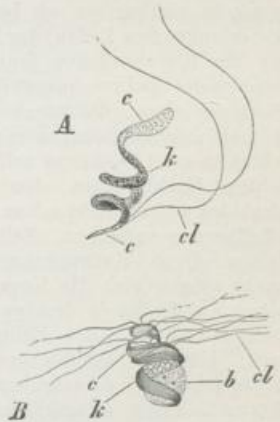


Fig. 98. A Ein Spermatozoid von *Chara fragilis*. B Spermatozoid des Farnes *Onoclea struthiopteris* (nach SHAW). Der Zellkern k ist dunkler gehalten, c der cytoplasmatische Abschnitt, cl Cilien die in B einer dichtereren Kante des Bandes entspringen, b Blase.

Vergr. A 540, B 850.

an seiner Ursprungsstelle später abgetrennt wird. So vermehrt sich die Hefe, die in unserer Fig. 2 (S. 7) zur Darstellung kam, und in solcher Weise entstehen auch die als Konidien bezeichneten Sporen bei zahlreichen Pilzen (Fig. 353).

Kopulation⁽⁸⁷⁾. Die Geschlechtsprodukte stellen Zellen dar, die, von seltenen Ausnahmen abgesehen, erst nach paarweiser Verschmelzung zur Weiterentwicklung befähigt sind. Die sich so vereinigenden Zellen können einander entweder gleichen und heißen dann Gameten, oder sie gleichen einander nicht und werden dann als Eier und Spermatozoiden unterschieden. Die Spermatozoiden stellen die männlichen, die Eier die weiblichen Geschlechtsprodukte vor. Die Gameten sind unbeweglich oder beweglich (Fig. 97 B); die beweglichen pflegen den ungeschlechtlichen Schwärmsporen (Fig. 97 A) derselben Pflanzen zu gleichen, stehen ihnen aber meist an Größe nach, und besitzen

vielfach nur halb so viel Cilien. Auch bei fortgeschrittener Sonderung der Geschlechtsprodukte behalten die Eier für gewöhnlich den üblichen Zellenbau, während die Spermatozoiden eine wesentliche Veränderung erfahren. Im Cytoplasma des Eies lassen sich Zellkern und Anlagen von Chromatophoren unterscheiden. Die pflanzlichen Spermatozoiden (Fig. 98) stellen sich hingegen in extremen Fällen als korkzieherförmige, mit Cilien versehene Körper dar, die ein scheinbar homogenes Gefüge besitzen. Nur auf Grund der Entwicklungsgeschichte, sorgfältiger Härtungen und Tinktionen, gelingt es auch in solchen Spermatozoiden nachzuweisen, daß der hintere Abschnitt ihres Körpers von einem Zellkern (*k*) fast vollständig eingenommen wird, der vordere, samt den Cilien, aus Cytoplasma (*c*), und zwar vornehmlich Kinoplasma, besteht, das Bläschen am hinteren Körperende (*b*) aus dem Saft Raum der Zelle hervorgeht⁽⁸⁸⁾.

Nur den Kryptogamen und, wie sich neuerdings zeigte⁽⁸⁹⁾, auch einem Teile der Gymnospermen (Cycadeen, Ginkgo) kommen Spermatozoiden zu. Bei den Kryptogamen werden sie frei aus den Geschlechtsorganen entlassen, brauchen Wasser zu ihrer Verbreitung und gelangen schwimmend zu den Eiern, die meist an ihrer Ursprungsstelle verbleiben. Bei solchen Gymnospermen, welche mit Cilien versehene Spermatozoiden bilden, führt ein aus dem Pollenkorn hervorstwachsender Schlauch, der Pollenschlauch, diese an ihren Bestimmungsort. In gleicher Weise gelangen auch die cilienlosen männlichen Zellen der übrigen Gymnospermen und der Angiospermen im Innern eines Pollenschlauches (Fig. 99) bis an das Ei. — Bei der Vereinigung der männlichen mit der weiblichen Zelle, im Befruchtungsakt, verschmelzen ihre Kerne, die als Spermakern (*sk*) und Eikern (*ek*) unterschieden werden, zum Keimkern; das Cytoplasma der männlichen Zelle tritt in das der weiblichen ein; Chromatophoren werden hingegen von der männlichen Zelle nicht eingeführt, sie gehören der weiblichen allein an. Wo die Spermatozoiden, wie das im Tierreiche und auch bei Thallophyten der Fall ist, mit einem Centrosom versehen sind, verschmilzt dieses Centrosom nicht mit dem Centrosom des Eies, letzteres pflegt vielmehr außer Funktion gesetzt zu werden und das Centrosom der Spermatozoiden allein am Keimkern in Wirksamkeit zu treten.

Die Kerne der Geschlechtsprodukte haben stets nur die reduzierte Zahl der Chromosomen aufzuweisen. Durch den Befruchtungs Vorgang wird diese Zahl verdoppelt, um früher oder später durch eine Reduktionsteilung wieder halbiert zu werden.

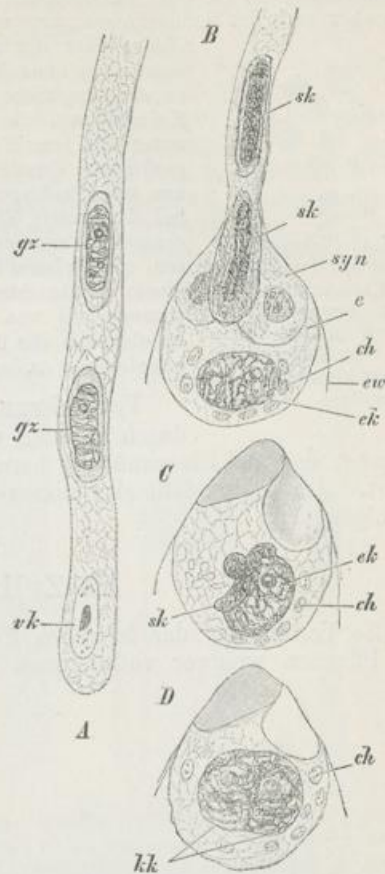


Fig. 99. Der Befruchtungs Vorgang bei einer phanerogamen, angiospermen Pflanze, etwas schematisiert. A Ende des Pollenschlauches, in ihm *gz* die generativen Zellen, welche je einen Spermakern enthalten, *vk* der vegetative Zellkern, der schließlich aufgelöst wird. B—D Eier in aufeinanderfolgenden Stadien der Befruchtung. Bei B die ins Ei eindringende generative Zelle, mit Spermakern *sk*, *syn* die in Rückbildung begriffenen Synergiden, *e* die Eizelle, *ew* Embryosackwandung. In C Vereinigung von Spermakern *sk* und Eikern *ek*. D Der Keimkern (*kk*) nach vollzogener Vereinigung von Spermakern und Eikern, *ch* die Anlagen der Chromatophoren. Vergr. ca. 500.

Erst die Befruchtung befähigt die Geschlechtsprodukte zur Weiterentwicklung, doch gibt es Ausnahmen, wo ein Gamet oder ein Ei auch ohne Befruchtung einen Keim bildet. Erfolgt diese Entwicklung aus einem Gameten oder einem Ei mit reduzierter Chromosomenzahl, so liegt jungfräuliche Zeugung oder Parthenogenesis vor. Es kann aber auch der Reduktionsvorgang vor der Anlage eines Eies unterbleiben, so daß

dieses über die zu seiner Weiterentwicklung nötige Chromosomenzahl ohne Befruchtung verfügt. Dann ist seine Weiterentwicklung nicht eigentlich Parthenogenesis, vielmehr vegetative Keimbildung, die durch Geschlechtsverlust veranlaßt ist und unter den Begriff der Apogamie fällt⁽⁹⁰⁾. Die bei höher organisierten Gewächsen beobachteten Vorgänge der Keimbildung aus unbefruchteten Eiern gehören in die letzte Kategorie, so bei *Antennaria alpina*⁽⁹¹⁾, *Alchimilla*⁽⁹²⁾, *Thalictrum purpurascens*⁽⁹³⁾, *Taraxacum*⁽⁹⁴⁾, *Hieracien*⁽⁹⁵⁾. Bei niederen Gewächsen, so gewissen Fadenpilzen (*Saprolegnien*) und wohl auch bei einem Armleuchtergewächs (*Chara crinita*)⁽⁹⁶⁾ liegt echte Parthenogenesis vor. Bei einem Wasserfarn (*Marsilia*)⁽⁹⁷⁾ gelang es ebenfalls die Teilung unbefruchteter Eier und ihre Weiterentwicklung zu beobachten.



Fig. 100. Chlorophyllkörner aus dem Blatte des Laubmooses *Funaria hygrometrica*; ruhend und in Teilung. Im Innern der Körner kleine Stärkeinschlüsse. Vgr. 540.

Vermehrung der Chromatophoren. Sie erfolgt durch Teilung, und zwar durch einen direkten Teilungsvorgang, der auf Einschnürung beruht und annähernd gleich große Hälften liefert. Am besten läßt sich dieser Teilungsvorgang bei den Chloroplasten verfolgen (Fig. 100).

B. Zellfusionen.

Die Verbindung der lebenden Protoplasten untereinander ist im Körper der Pflanzen weniger vollkommen als im Körper der Tiere. Es erklärt

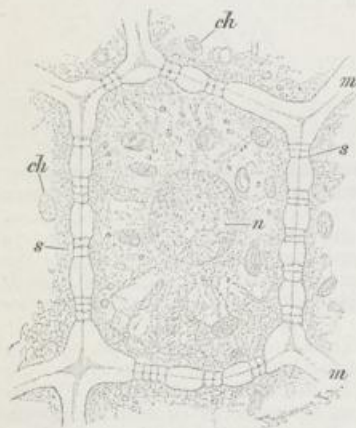


Fig. 101. Eine Zelle aus der Rinde der Mistel (*Viscum album*) nach entsprechender Härtung und Färbung der Protoplasten und Quellung der Wände (*m*). Die Schließhäute (*s*) der Tüpfel von Plasmodesmen durchsetzt, *ch* Chloroplasten, *n* Zellkern. Vgr. 1000.

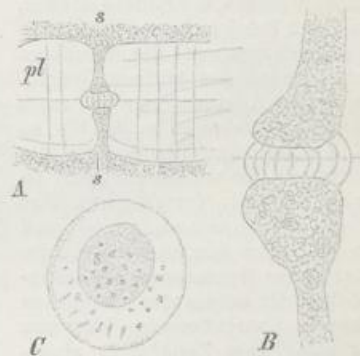


Fig. 102. A Ein etwas gequollenes Wandstück aus dem Endosperm der Elfenbeinpalm (Phytolophas macrocarpa). Bei *s* und *s* die aufeinander treffenden, mit Cytoplasma erfüllten Tüpfelkanäle der beiden angrenzenden Zellen, in der Schließhaut zarte Plasmodesmen, außerdem die ganze Dicke der Zellwand durchsetzende Plasmodesmen *pl*. Vgr. 375. B Der Inhalt der beiden angrenzenden Tüpfelkanäle und die Plasmodesmen der Schließhaut. 1500mal vergrößert. C Die Mündungsstelle eines Tüpfelkanals und die Plasmodesmen der Schließhaut von der Fläche gesehen, bei 1500facher Vergrößerung.

sich das aus dem Vorhandensein der Zellhäute, von welchen die pflanzlichen Protoplasten umschlossen sind. Doch haben die neueren Untersuchungen gezeigt⁽⁹⁸⁾, daß durch die Zellwände die pflanzlichen Protoplasten mit Hilfe äußerst feiner Cytoplasmafäden, die von der Hautschicht ausgehen und als Plasmodesmen bezeichnet werden, zusammenhängen. Meist sind diese Fäden auf die Schließhäute der Tüpfel (Fig. 101) beschränkt, doch können sie auch die Zellhäute ihrer ganzen Dicke nach durchsetzen (Fig. 102). Diese Verbindung der Protoplasten durch Fäden aus lebender Substanz erhebt den ganzen Pflanzenkörper zu einer organischen Einheit.

Durch wesentlich dickere Schleimstränge, die dem unmittelbaren Substanzan Austausch dienen, werden die aufeinander folgenden Glieder der Siebgefäße, oder wie man sie gewöhnlich nennt, der Siebröhren, verbunden. Die von jenen Schleimsträngen durchsetzten Querwände haben wir bereits

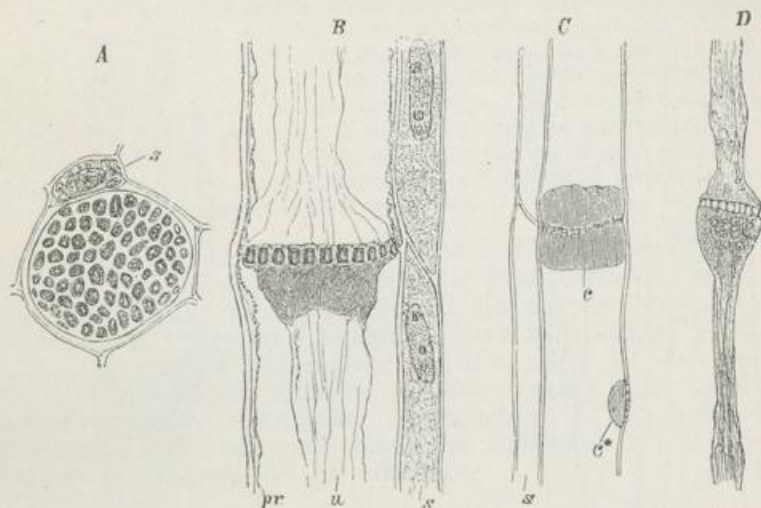


Fig. 103. Teile von Siebröhren des Kürbis (*Cucurbita Pepo*) in Alkohol gehärtet. A Eine Siebplatte von oben gesehen. B und C Je zwei aufeinander folgende Siebröhrenglieder im Längsschnitt. D Die Inhaltmassen von zwei Siebröhrengliedern nach Schwefelsäurebehandlung. s Geleitzelle, u eiweißhaltiger Inhalt, pr Wandbeleg aus Cytoplasma, c Callusplatte, c* kleiner seitenständiger Siebtüpfel mit Callusplatte. Vergr. 540.

als Siebplatten (S. 57) kennen gelernt. Bei Angiospermen erreichen die Poren der Siebplatten den weitesten Durchmesser (Fig. 103). Merkwürdig ist das Verhalten der Siebröhrenglieder dadurch, daß ihr cytoplasmatischer Wandbeleg noch längere Zeit am Leben bleibt, nachdem ihre Zellkerne aufgelöst wurden. In ihrem Safttraum führen die Siebröhren wäßrige, mehr oder weniger verdünnte Eiweißlösungen, außerdem finden sich in ihnen fast immer kleine Stärkekörner vor. Die Wandungen der Siebröhren sind stets unverholzt. Im allgemeinen funktionieren die Siebröhren nur durch eine oder durch wenige Vegetationsperioden. Bevor sie außer Tätigkeit treten, werden ihre Siebplatten mit stark lichtbrechenden Callusplatten (S. 60) belegt (Fig. 103 C).

Viel weiter noch als in den Siebröhren schreiten die Verschmelzungen der Protoplasten in den Milchgefäßen fort. Die Milchgefäße besitzen denselben Inhalt wie die schon behandelten Milchröhren (S. 62), unterscheiden sich von ihnen nur dadurch, daß sie aus Zellverschmelzungen

hervorgehen. Wie das Vorkommen von Milchröhren, so ist auch das der Milchgefäße auf bestimmte Pflanzenfamilien beschränkt. Als die bekanntesten Beispiele für Milchgefäße seien die Papaveraceen, so der Mohn (Papaver), oder das durch die orangerote Färbung seines Milchsafte ausgezeichnete Schöllkraut (Chelidonium) und die Kompositen, so der Lattich (Lactuca) angeführt. Die Milchgefäße entstehen aus Reihen langgestreckter Zellen, deren Querwände mehr oder weniger vollständig aufgelöst werden. Meist zeigen solche Gefäße auch seitliche Verzweigungen, die dort, wo sie aufeinander treffen, alsbald unter Auflösung der Wandungen verschmelzen (Fig. 104). — Den Milchgefäßen in vieler Beziehung ähnlich verhalten sich auch die Schleimröhren⁽⁶¹⁾, die vielen Monokotylen zukommen. Außer anorganischen Stoffen führt ihr Schleimsaft auch Eiweiß, Stärke, Glukose, Gerbstoffe.



Fig. 104. Tangentialer Längsschnitt aus der Peripherie des Stengels von *Scorzonera hispanica*, die netzförmig verbundenen Milchgefäße zeigend. Vergr. 240.



Fig. 105. Unteres Drittel eines Treppengefäßes aus dem Rhizom des Adlerfarns (*Pteris aquilina*). *t* Die quergestreckten Tüpfel an den Seitenwänden, *q* die leiterförmig durchbrochene Endfläche. (Nach DE BARY.) Vergr. 95.

Auch die Bildung der Gefäße oder Tracheen der Pflanzen beruht auf einem Verschmelzungsvorgang, nur daß die verschmelzenden Zellen alsbald ihren lebendigen Inhalt einbüßen. So stellen die fertigen Gefäße nur tote, der Wasserleitung dienende Membranröhren dar. Sie gehen aus Reihen von Zellen hervor, die ihre Seitenwände zunächst schraubenförmig oder netzförmig verdicken, oder, wie das meist der Fall, mit Hoftüpfeln versehen, ihre Querwände hierauf zur Quellung bringen und mehr oder weniger vollständig auflösen. Stehen jene Querwände rechtwinklig zu den Seitenwänden, so werden sie meist mit einem einzigen runden Loch durchbrochen (Fig. 73 C, bei *s*), und nur ihr Rand bleibt als verdickter Ring zurück. Sind die Querwände schräg orientiert, so pflegen sie mehrere Löcher zu erhalten, und die zwischen diesen befindlichen Membranteile erscheinen dann wie die Sprossen einer Leiter. Man bezeichnet demgemäß auch diese Art der Wanddurchbrechung als die leiterförmige (Fig. 105 *q*). Der lebendige Inhalt der

Gefäßglieder wird nach Durchbrechung der Querwände vollständig resorbiert, die fertigen Gefäße führen, so lange sie in Tätigkeit sind, Wasser und begrenzte Mengen von Luft. Nach der Art der Wandverdickung wird zwischen Ring-, Schrauben-, Netz- oder Tüpfelgefäßen unterschieden. Folgen an den Seitenwänden quergestreckte Tüpfel regelmäßig in geraden Reihen übereinander (Fig. 105), so wird das Gefäß als Treppengefäß bezeichnet. Die Wandverdickung der Gefäße ist stets verholzt.

Zwischen Gefäßstracheiden und Gefäßen gibt es einen anderen Unterschied nicht, als daß erstere aus einzelnen gestreckten Zellen, letztere aus verschmolzenen Zellreihen hervorgehen. Für gewöhnlich werden Gefäßstracheiden in den noch in Längsstreckung begriffenen Pflanzenteilen ausgebildet, Gefäße dagegen nach vollendetem Längenwachstum. Echte Gefäße treten zum ersten Mal bei einigen Farnkräutern, so unserem Adlerfarn (*Pteris aquilina*), auf. Im übrigen bleiben die Gefäßkryptogamen, ungeachtet des Namens, den sie führen, auf Gefäßstracheiden angewiesen. Auch bei den Gymnospermen ist nur eine kleine Familie, die Gnetaceen, mit Gefäßen ausgestattet. Erst bei den Angiospermen gelangen die Gefäße zur Herrschaft. Die Länge der Gefäße ist nicht unbegrenzt. Einzelne können zwar, im besonderen bei den kletternden Holzgewächsen, den Lianen (S. 24), doch auch bei der Eiche, einige Meter Länge erreichen, im allgemeinen bleibt aber ihre Länge unter 1 m stehen, und bei Pflanzen, deren Holzkörper mit Gefäßen allein das Wasser leitet, hält sie sich meist nur um 10 cm. Maßgebend ist für die Gefäßlänge die Verteilung unperforierter, nur mit Hoftüpfeln versehener Querwände innerhalb des an sich kontinuierlichen Gefäßsystems.

Eine ähnliche Verschmelzung, wie wir sie bei den Milchgefäßen kennen lernten, bieten uns oft auch die Hyphen der Pilze, indem die Wände ihrer aufeinander treffenden Zweige aufgelöst werden und der protoplasmatische Inhalt hierauf zur Vereinigung kommt. — Noch vollständiger ist die Verschmelzung der nackten Myxomyceten-Amöben, wenn sie sich zum Plasmodium (S. 47) vereinigen. Auch bei den Befruchtungsvorgängen sehen wir die generativen Zellen miteinander verschmelzen (S. 78), doch ist diese geschlechtliche Vereinigung durch bestimmte Merkmale charakterisiert, die sie zu einem Vorgang eigener Art erheben.

II. Gewebelehre⁽⁹⁹⁾.

Ursprung und allgemeine Eigenschaften der Gewebe. Jeder innigere Verband von Zellen wird als Gewebe bezeichnet. Die Entstehung pflanzlicher Gewebe ist im allgemeinen auf Zellteilung zurückzuführen. Nur bei den Pilzen und Schlauchalgen (Siphoneen) werden Gewebe durch Verflechtung schlauchförmiger Zellen, beziehungsweise Zellfäden, erzeugt (Fig. 106). Ist das Geflecht besonders dicht und kommt es zu einer innigen Vereinigung der verflochtenen Zellen, so macht das Produkt durchaus denselben Eindruck, wie ein Gewebe der höher organisierten Pflanzen (Fig. 107).

Die gegenseitige Abhängigkeit der Zellen in einem Gewebe gibt sich in dem Aufeinandertreffen der Tüpfel (Fig. 66, 70, 71) und sonstigen Übereinstimmungen der Membranverdickungen zu erkennen.

Die zu einem Gewebe verbundenen Zellen schließen entweder lückenlos zusammen (Fig. 70), oder sie sind stellenweise voneinander getrennt. Solche Lücken im Gewebe werden Zwischenzellräume oder Intercellularräume, auch kürzer Intercellularen genannt. In Geweben, die durch Verflechtung von Zellfäden entstanden sind, stellen die Intercellularen zurückgebliebene

Zwischenräume dar (Fig. 106). In Geweben, die aus Zellteilungen hervorgingen, müssen die Interzellularen nachträglich sich bilden, denn die Scheidewand, die eine Zelle teilt, ist ihrer ganzen Ausdehnung nach einfach.

Erst später, und zwar nach vorausgegangener Verdickung, wird somit die ursprüngliche Scheidewand gespalten und ein Interzellularraum erzeugt. Ursache der Spaltung ist die Verquellung der aus pektinartigen Stoffen bestehenden primären Wandung und die Abrundung der Zellen durch späteres Wachstum. Demgemäß geht die Bildung der Interzellularen meist von den Zellkanten aus.

Der einfachste und zugleich häufigste Fall ist der, daß die Interzellularen im Querschnitt die Gestalt kleiner Dreiecke und Vierecke besitzen (Fig. 66 i, 74 i). Sie verdanken der erwähnten Spaltung der Zellwand ihre Entstehung und werden als schizogene bezeichnet. Bei bevorzugtem Wachstum bestimmter Zellwandstellen werden derartige schizogene Interzellularen zu größeren Kammern oder Gängen von mehr oder weniger regelmäßiger

Gestalt erweitert. Ungleich verteiltes Wachstum führt oft zur völligen Trennung benachbarter Zellen, ja auch zu einer Dehnung und Zer-

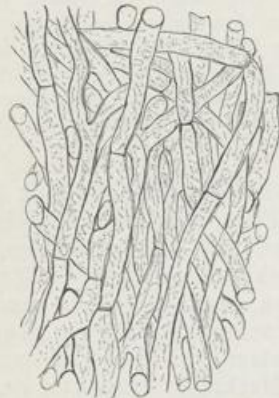


Fig. 106. Längsschnitt durch den Stiel des Fruchtkörpers des Steinpilzes (*Boletus edulis*). Vergr. 300.



Fig. 107. Längsschnitt durch das Mutterkorn (*Sclerotium* von *Claviceps purpurea*). Vergr. 300.

reißung einzelner Zellen oder ganzer Gewebegruppen. Die hohlen Stengel entstehen beispielsweise auf diesem Wege. Auch durch Auflösung von Zellen kann die Bildung von Zellzwischenräumen veranlaßt werden. Solche auf Zerreißen oder Auflösung von Zellen zurückzuführende Interzellularen heißen lysigene. In manchen Fällen werden schizogene Interzellularen weiterhin lysigen vergrößert. — Die meisten Interzellularen führen Luft, doch enthalten sie auch in bestimmten Fällen Wasser, in anderen Ausscheidungsprodukte wie Gummi, Schleim, Harz oder ätherische Öle, in noch anderen Fällen, doch selten, Milchsaft. Für gewöhnlich bildet Luft den Inhalt schizogener Interzellularen, deren allgemeine Aufgabe auch tatsächlich in der Durchlüftung des Pflanzenkörpers liegt, während die lysigenen Interzellularen oft Wasser oder Sekrete enthalten.

Unter den schizogenen Interzellularen wäre das Verhalten der mit ätherischem Öl oder Harz erfüllten besonders hervorzuheben. Ätherisches Öl führende kürzere Räume oder längere Gänge sind im Stamm, in den Wurzeln und Blättern bei zahlreichen Pflanzenfamilien anzutreffen; im besonderen reich an ihnen sind die Umbelliferen, bei welchen Ölgänge auch die charakteristischen Striemen (*Vittae*) in den Früchten bilden. Mit Harz erfüllte Kanäle zeichnen die Nadelhölzer (*Koniferen*) ganz besonders aus (Fig. 141 A, b). Schon während des Auseinanderweichens der Zellen erscheint der sich bildende Sekret-

behälter mit Sekret erfüllt. Die Erweiterung des Sekretbehälters wird meist von einer Teilung der ihn umgebenden Zellen begleitet, deren Zahl sich entsprechend vermehrt. Diese Zellen bleiben dünnwandig, schließen seitlich dicht aneinander, wölben sich auch wohl in den Sekretraum vor. — Die lysigenen Sekretbehälter stellen unregelmäßige Hohlräume im Gewebe vor. Soweit sie ätherisches Öl oder Harz führen, gehen sie aus Zellgruppen hervor, in welchen diese Stoffe entstanden sind und deren Wände allmählich aufgelöst wurden. Solchen Ursprung weisen unter anderem die mit ätherischem Öl erfüllten Sekretbehälter der Orangen und Zitronen auf. Der Entstehung von sog. Harzdrüsen oder Harzgallen bei den Koniferen geht die Bildung eines abnormen Gewebes voraus, das weiterhin verharzt. Solchen Ursprung hatte auch der Bernstein, der das fossile Harz der Bernsteinfichte (*Picea succinifera*) ist. In lysigenen Gummihöhlen geht die Gummibildung von den Zellwandungen aus. Entweder wird normales Gewebe von dieser Veränderung ergriffen, so bei der Erzeugung des Gummi arabicum in den Akazien, oder abnormes Gewebe wird zunächst erzeugt und geht dann in Gummi über, so bei der Entstehung des Kirschgummi. — Milchsaft kommt in lysigenen Interzellularen nicht vor.

Alle bei der Zellteilung auftretenden Scheidewände sind einfache Membranlamellen. In jedem durch Zellteilung erzeugten Gewebe kommen diese Lamellen den angrenzenden Zellen somit gemeinsam zu. Die auf Querschnitten durch älteres Gewebe hervortretenden, den angrenzenden Zellen scheinbar gemeinsamen Membranteile bestehen aber meist nicht aus den primären Zellwänden allein, sondern aus diesen und den primären Verdickungsschichten. Man hat erstere als Mittellamellen bezeichnet (Fig. 66 m, 70 m). In weichen Geweben bestehen die Mittellamellen nach DEVAUX⁽¹⁰⁰⁾ vornehmlich aus Pektinverbindungen; in verholzten und verkorkten Geweben sind sie außerdem verholzt. In weichen Geweben lassen sich die Zellen schon durch Kochen im Wasser, welches die Mittellamellen zum Quellen bringt, voneinander trennen. In reifen Früchten tritt diese Verquellung von selbst ein, daher die Zellen sich vielfach isolieren. Verholzte Mittellamellen widerstehen hingegen oft besonders gut der Einwirkung oxydierender Mittel. Demgemäß lassen sich durch das SCHULTZESCHE Mazerationsgemisch (chlorsaures Kali und Salpetersäure) bei nachfolgender Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure aus Querschnitten durch Kiefernholz alle sekundären und tertiären Membranschichten entfernen, so daß nur die Mittellamellen als zartes Netzwerk zurückbleiben. Wird das Mazerationsverfahren aber längere Zeit fortgesetzt ohne nachherigen Zusatz von Schwefelsäure, so führt das schließlich zur Auflösung der Mittellamellen, während die ihres Holzstoffes beraubten Verdickungsschichten der Membranen zurückbleiben. Das SCHULTZESCHE Mazerationsverfahren wird daher auch angewandt, um die Elemente eines verholzten Gewebes voneinander zu trennen. Das chemisch abweichende Verhalten der Mittellamellen führte seinerzeit zur Annahme einer besonderen Interzellulärsubstanz, die als Kitt die Zellen in den pflanzlichen Geweben verbinden sollte. — Eine nachträgliche weitere Einlagerung von Pektinverbindungen (S. 60) in die Mittellamellen führt in manchen Fällen zur Bildung von Stäbchen und Warzen, die in die Interzellularen hineinragen, oder zur Ausfüllung dieser Interzellularen und Bildung sogenannter Zwickel (Fig. 70 C, m*).

Gewebearten. Die fertigen pflanzlichen Gewebe lassen sich der Hauptsache nach in zwei Gruppen scheiden, zwischen welchen aber eine scharfe Grenze nicht zu ziehen ist, in Parenchyme und in Prosenchyme. Als typisch ausgebildetes parenchymatisches Gewebe kann ein solches gelten, dessen Zellen dünnwandig, in allen Richtungen annähernd gleich stark ausgedehnt sind, einen protoplasmatischen Wandbeleg und verschiedene Inhaltsstoffe führen. Als extrem ausgebildetes prosenchymatisches Gewebe ist ein solches anzusehen, das aus dickwandigen, in einer Richtung besonders ausgedehnten Zellen besteht, die spindel- oder faserförmig gestaltet sind, mit ihren zugespitzten Enden fest zwischen einander greifen, deren protoplasmatischer Wandbeleg sehr reduziert oder ganz geschwunden ist und in denen sonstige Inhaltsstoffe meist fehlen. — Dickwandiges gestrecktes Parenchym kann dem Prosenchym sehr ähnlich werden, von ihm sich aber noch durch die mangelnde Zuspitzung der Zellenden, beziehungsweise auch

durch reichlicheren Inhalt unterscheiden. Dünnwandige Prosenchyme brauchen andererseits nicht immer inhaltsarm zu sein, müssen sich aber doch durch Zuspitzung und ineinandergreifen ihrer Zellenden als Prosenchym kennzeichnen.

Ein noch undifferenziertes Gewebe, das in der Zellvermehrung steht, wird embryonales Gewebe oder Meristem genannt. Die Meristeme der embryonalen Anlagen und der Vegetationspunkte werden als Urmeristeme, alle von diesem Urmeristen direkt abzuleitenden Meristeme als primäre bezeichnet. Solche primären Meristeme vermögen auch zwischen fertigen Geweben ihren meristematischen Charakter zu behalten. Fertig ausgebildete Gewebe heißen im Gegensatz zu den Meristemen Dauergewebe oder werden ihnen auch als somatische Gewebe gegenübergestellt. Unter Umständen tritt ein Dauergewebe wieder in Zellteilung ein und bildet ein sekundäres Meristem oder Folgemeristem.

Bestimmte Gewebe sind im Pflanzenkörper zu höheren histologischen Einheiten vereinigt und werden dann als Gewebesysteme bezeichnet. Es lassen sich drei solcher Gewebesysteme bei den höher organisierten Pflanzen unterscheiden: das Hautgewebesystem, das Gefäßbündelsystem und das Grundgewebesystem.

Die Gewebe, welche an dem Aufbau der Gewebesysteme beteiligt sind, müssen aber, ihrer Entstehung nach, in primäre und sekundäre geschieden werden. Die primären sind solche, welche aus dem Urmeristem und primären Meristemen vor beendetem Längenwachstum hervorgehen, die sekundären solche, welche den primären Meristemen oder den Folgemeristemen nach beendetem Längenwachstum ihre Entstehung verdanken.

Wir müssen zuerst die primären Bestandteile der Gewebesysteme kennen lernen.

A. Primäre Gewebe.

Das Hautgewebesystem. Erst bei den Pteridophyten und Phanerogamen wird eine äußere Zellschicht an der Körperoberfläche als Oberhaut oder Epidermis scharf abgegrenzt, während diese Sonderung den niederen Gewächsen fast ausnahmslos noch abgeht. Eine typisch ausgestaltete Epidermis ist fast immer einschichtig (Fig. 74e), die Wände ihrer Zellen an der freien Außenfläche sind stärker verdickt. Im besonderen weisen alle für längere Lebensdauer eingerichteten, oberirdischen Pflanzenteile eine solche Verdickung auf, während diese an den vergänglichen Blumenblättern fehlt und auch an unterirdischen Pflanzenteilen, so vor allem den Wurzeln, nicht zur Ausbildung kommt. Daher man die Epidermis der Wurzel auch wohl als Epiblem früher unterschieden hat. Selbst solche Epidermiszellen, die an ihrer Außenseite stark verdickt sind, behalten in größerer oder geringerer Ausdehnung dünne Seitenwände. Die Außenwände der Epidermis an oberirdischen Pflanzenteilen sind mehr oder weniger cutinisiert; sie werden von einem zarten Häutchen bedeckt, das ununterbrochen über sie fortläuft und Cuticula heißt. Diese Cuticula scheint an der Epidermis der Wurzeln stets zu fehlen⁽¹⁰¹⁾. Wo sie vorhanden, ist die Cuticula besonders stark cutinisiert und widersteht selbst der Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure. Sie geht aus den primären Wänden der jüngeren Epidermiszellen, die während der Größenzunahme der Pflanzenteile gestreckt und durch Einlagerung von Cutin verstärkt werden, hervor. Die Cuticula der Blätter in den Tropen ist oft besonders glatt und glänzend. Sie wirft einen Teil des Sonnenlichtes zurück, wodurch die Glanzlichter entstehen, die für das Laub der Tropen charak-

teristisch sind; es ist das eine Schutz Einrichtung gegen zu starke Insolation. Häufig ist die Cuticula etwas faltig und erscheint infolgedessen wie gestreift (Fig. 114). Durch Verdickung und Cutinisierung ihrer Außenseite wird die mechanische Leistungsfähigkeit der Epidermiszellen erhöht und die Transpirationsgröße herabgesetzt. Durch besondere starke Verdickung und Cutinisierung der Außenwände pflegen die Epidermen von Pflanzen trockener Klimate, oder solcher, bei welchen aus anderen Gründen die Transpiration an der Oberfläche herabgesetzt werden muß, ausgezeichnet zu sein. Bei vielen Gramineen, den Schachtelhalmen (Equiseten) und manchen anderen Gewächsen sind die Zellwände der Epidermis verkieselt. Bei den Schachtelhalmen ist die Verkieselung so stark, daß man diese Gewächse zum Polieren benutzen kann. Durch Glühen wird die Struktur ihrer Epidermiszellen nicht zerstört. In den entinisierten Membranschichten der Epidermis ist auch Wachs eingelagert, daher das Wasser meist von der Epidermis der Pflanzenteile abfließt, ohne sie zu benetzen. Tritt das Wachs aus der Epidermis nach außen hervor, so entstehen Wachsoberzüge, welche an Früchten, und zwar besonders auffällig bei den Pflaumen, den sogen. Reif bilden. Diese Wachsoberzüge können aus Körnchen, kürzeren oder längeren Stäbchen (Fig. 108) oder Krusten bestehen. Zur größten Mächtigkeit gelangen die Wachskrusten auf den Blättern bestimmter Palmen; so bis zu 5 mm Dicke bei der peruanischen Wachspalme (*Ceroxylon andicola*). Dieses Wachs, so wie dasjenige von der Oberfläche der Früchte von *Myrica cerifera*, findet als Pflanzenwachstechnische Verwertung. Die Wachsoberzüge können an der Flamme zum Schmelzen gebracht werden, sie lösen sich in Äther oder in heißem Alkohol. In manchen Fällen werden die Wachsoberzüge durch Körnchen oder Schüppchen einer fettartigen Substanz ersetzt, die sich schon in kaltem Alkohol löst. Diese Überzüge erscheinen mehligweiß oder goldgelb, und sie sind es, die uns bei den Silber- oder Goldfarnen, besonders *Gymnogramme*-Arten, auffallen.

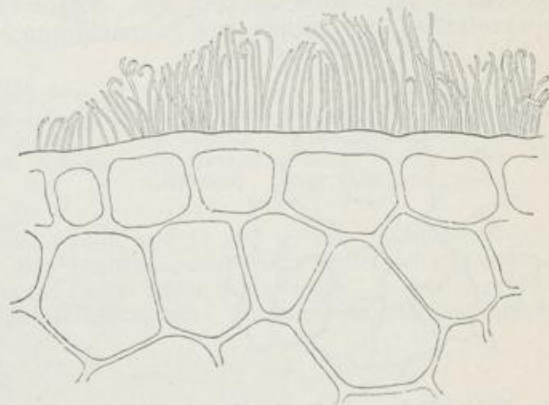


Fig. 108. Querschnitt durch einen Stengelknoten des Zuckerrohrs (*Saccharum officinarum*) mit stäbchenförmigem Wachsoberzug. Vergr. 540.

Zwischen den Verdickungsschichten der Epidermiszellen und der Cuticula wird in manchen Fällen eine schleimige, beziehungsweise klebrige Substanz erzeugt, welche die Cuticula abhebt und schließlich sprengt. Solche sezernierenden Drüsenflächen finden sich öfters an Knospenschuppen, manchmal als klebrige Zone am Stengel, so bei *Lychnis viscaria* und noch anderen Sileneen, um die höher gelegenen Blüten vor unbefugtem Besuch zu schützen. Kleine Tiere, die sonst den Blütenhonig aufzehren würden, vermögen nämlich diese klebrige Zone ebensowenig zu überschreiten, wie andere größere Tiere den Pechring, den man am Stamm von Obstbäumen anbringt. Sezernierende Epidermisflächen sind es andererseits, welche die Oberfläche von Blütennektarien bilden und durch das süße Sekret, das sie ausscheiden, Tiere, meist Insekten, anlocken, welche die Bestäubung vermitteln.

Die Zellen der Epidermis sind lückenlos miteinander verbunden; ihre seitlichen Umrisse meist wellig (Fig. 109). Der protoplasmatische Inhalt der

Epidermiszellen erscheint für gewöhnlich auf einen dünnen Wandbeleg eingeschränkt; ihr Saft Raum ist mit farblosem Zellsaft erfüllt, der unter Umständen aber auch gefärbt sein kann; ihre Chromatophoren umgeben meist in Gestalt kleiner, farbloser Anlagen den Zellkern, und zeigen somit, daß auch im Lichte die Ausbildung dieser Anlagen zu Chloroplasten unterbleiben kann, wenn die Zelle nicht bestimmt ist, sich an dem Assimilationsvorgang zu beteiligen. Solche Epidermiszellen mit unentwickelten Chromatophoren-Anlagen haben außer der Aufgabe des Schutzes und Abschlusses nach außen, auch noch die, als Wasserbehälter zu fungieren. Die unverdickten Partien der Seitenwände dieser Zellen können Falten bilden und befähigen sie so zu einem blasebalgartigen Spiel, das ihr Anschwellen bei Wasserzufuhr, ihr Zusammensinken bei Wassermangel ermöglicht. Bei Schattenpflanzen sind die Epidermiszellen meist chlorophyllhaltig.

Die Außenwände der Oberhautszellen an der Oberseite von Laubblättern zeigen sich nicht selten vorgewölbt, oder sie weisen eine linsenförmige Verdickung in ihrer Mitte auf (Fig. 75). Solche Einrichtungen dienen der Lichtkonzentration, sie wirken wie Sammellinsen. Das Lichtbrechungsvermögen

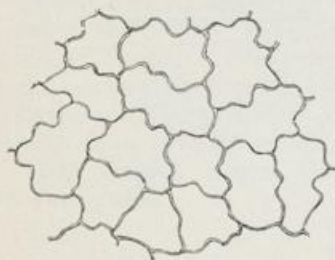


Fig. 109. Flächenansicht der Epidermis auf der Blattoberseite von *Mercurialis perennis*. Vergr. 300.

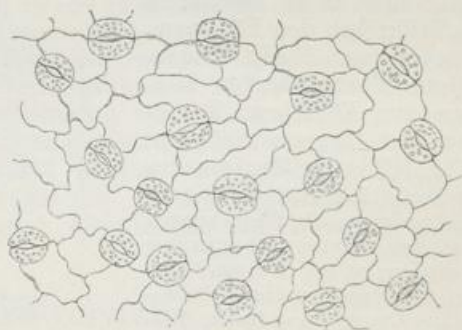


Fig. 110. Epidermis mit Spaltöffnungen auf der Blattunterseite von *Helleborus niger*. Vergr. 120.

der linsenförmigen Verdickungen wird durch Pektinisierung, Cutinisierung, Verkieselung, oder Wachseinlagerungen, noch gesteigert. In denjenigen Fällen, wo der optische Apparat auf einer Vorwölbung der gleichmäßig verdickten Außenwand beruht, gibt das lichtbrechende Medium der gerbstoffreiche Zellsaft ab⁽¹⁰²⁾.

Für die Epidermis aller an der Luft lebenden Teile höher organisierter Gewächse ist die Ausbildung von Spaltöffnungen (Stomata)⁽¹⁰³⁾ charakteristisch. Diesen Namen führen elliptische Zellenpaare, die zwischen sich einen spaltenförmigen Intercellulargang ausbilden (Fig. 110). Die beiden Zellen (Fig. 111A) heißen Schließzellen. Sie sind stets chlorophyllhaltig und zeichnen sich durch die eigentümliche Art ihrer Wandverdickung aus. Diese wird besonders an Querschnitten (Fig. 111B) kenntlich. Sie beruht auf der Ausbildung je einer oberen und unteren Verdickungsleiste an der Spaltseite der Schließzellen. In halber Höhe unterbleibt hingegen die Verdickung an jener Seite, wie das im besonderen der Querschnitt (Fig. 112) zeigt.

Wie unsere Querschnitte in Fig. 111B und 112 lehren, springen die Schließzellen an den verdickten Stellen nach der Spalte vor, was den Verschluß dort noch erleichtert. Die Fig. 112 zeigt zugleich deutlich, daß an der Einfügungsstelle der Schließzellen die verdickte Außenwand der angrenzenden Epidermiszellen sich plötzlich verdünnt, wodurch

gewissermaßen Scharniere, sog. Hautgelenke entstehen, welche die Schließzellen von den benachbarten Epidermiszellen mehr oder weniger unabhängig machen. Dasselbe Ergebnis wird in einzelnen Fällen erreicht durch ein Emporheben der Spaltöffnungen über die Epidermis, oder was viel häufiger ist, durch ihr Versenken zwischen die unteren, schwächer verdickten Teile der Epidermiszellen. Das Emporheben fördert zugleich die Verdunstung und ist daher bei Farnen, die sehr feuchte Standorte bewohnen, anzutreffen; das Versenken setzt die Verdunstung herab, indem es einen windstillen Hohlraum über den Schließzellen schafft, ist daher bei den Bewohnern trockener Landstriche (Xerophyten) verbreitet. Häufig werden die Schließzellen, wie in Fig. 111 zu sehen, von besonders, schwächer verdickten oder weniger hohen Zellen, die man als Nebenzellen bezeichnet, umgeben, denen meistens dieselbe Bedeutung wie den Hautgelenken zukommt. — Die Spaltöffnungen entstehen durch Teilung junger Epidermiszellen. Im einfachsten Falle zerfällt eine junge Epidermiszelle dabei in eine kleinere inhaltsreichere Zelle, die zur Spaltöffnungsmutterzelle wird, und in eine größere inhaltsärmere, die gewöhnliche Epidermiszelle bleibt. Die Spaltöffnungsmutterzelle rundet sich ellipsoidisch ab und teilt sich durch eine Längswand in die beiden Schließzellen. In der Längswand bildet sich hierauf der Spalt als Intercellularargang aus. Oft folgen mehrere Zellteilungen in der jungen Epidermiszelle aufeinander, bevor die Spaltöffnungsmutterzelle entsteht. Dann ist die fertige Spaltöffnung meist von Nebenzellen umgeben.

Die Spaltöffnungen finden sich vornehmlich auf den grünen Teilen der Pflanze, fehlen aber auch nicht auf den anders gefärbten Blumenblättern. In größter Zahl sind sie naturgemäß auf den Laubblättern vertreten, um dort den mit den Assimilationsvorgängen verknüpften Gasaustausch zu erleichtern. Ist das Blatt dorsiventral gebaut, so stehen die Spaltöffnungen vornehmlich,

wenn nicht ausschließlich, an dessen Unterseite. Dort findet man etwa 100 Spaltöffnungen auf den Quadratmillimeter; doch kann diese Zahl bis auf 700 steigen. Blätter, die auf beiden Seiten gleich gebaut sind, pflegen, bei mehr oder weniger senkrechter Stellung der Spreite, auch auf beiden Seiten mit Spaltöffnungen versehen zu sein. Schwimmende Blätter von Wasserpflanzen besitzen Spaltöffnungen nur auf ihrer der Luft zugekehrten Oberseite. In manchen Fällen, wie beim Oleander (*Nerium Oleander*), nehmen die Spaltöffnungen besondere krugförmige Vertiefungen der

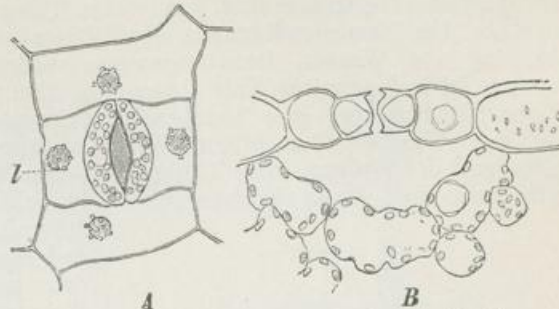


Fig. 111. Epidermis der Blattunterseite von *Tradescantia virginica*. A Von außen. B Im Querschnitt. l Farblose Anlagen von Chromatophoren in der Nähe der Zellkerne. Vergr. 240.

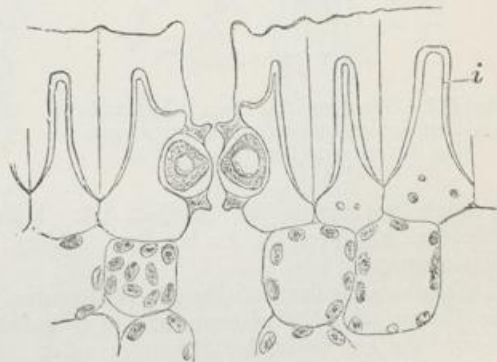


Fig. 112. Querschnitt durch die Epidermis von *Aloë nigricans*. i Innere, nicht cutinisierte Verdickungsschicht. Vergr. 240.

Blattunterseite ein und sind dort in größerer Zahl zusammengedrängt. — Unter jeder Spaltöffnung befindet sich im Blattgewebe ein großer Interzellularraum, die sog. Atemhöhle (Fig. 111 B). Sie steht mit den übrigen Interzellularen des Blattgewebes in Verbindung. Diese pflegen bei Pflanzen feuchter Standorte weiter als bei denjenigen trockener Standorte zu sein.

Alle dem Gasaustausch dienenden Spaltöffnungen können als Luftspalten zusammengefaßt und den Wasserspalten gegenübergestellt werden, welche weit spärlicher vertreten sind, bei vielen Pflanzen überhaupt fehlen, stets nur über den Nervenendigungen der Blätter sich befinden und der Ausscheidung von Wasser, beziehungsweise wäßrigen Lösungen dienen. In letzteren ist kohlensaurer Kalk besonders häufig vertreten, der dann, wie an den Blatträndern vieler Steinbrech-(*Saxifraga*-)Arten, weiße Schüppchen über den Wasserspalten bildet. Vielfach führen junge Blätter an ihrer Spitze und den Spitzen ihrer Zähne Wasserspalten, die am fertigen Blatte vertrocknet sind. Meist verlieren die beiden Schließzellen der Wasserspalten

frühzeitig ihren lebendigen Inhalt, und der Spalt zwischen ihnen steht dann unverändert weit offen. Die Wasserspalten sind größer als die Luftspalten, wie aus ihrem Bilde (Fig. 113) für die Kapuzinerkresse

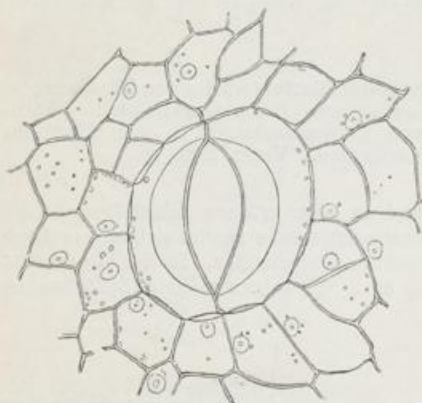


Fig. 113. Wasserspalte vom Blattrande von *Tropaeolum majus*, nebst angrenzenden Epidermiszellen. Vergr. 240.



Fig. 114. Oberhaut vom Blumenblatte des Stiefmütterchens, *Viola tricolor*. Die Zellen mit faltenartigen Leisten an den Seitenwänden und mit vorspringenden Papillen. Vergr. 250.

(*Tropaeolum majus*) zu sehen ist. Während an den Blättern submerser Pflanzen naturgemäß Luftspalten fehlen, kommen an ihnen nicht selten Wasserspalten vor.

Zu den charakteristischen Gebilden des Hautgewebesystems gehören auch die Haare oder Trichome und die äußeren Auswüchse. Die Zellen der Haare bleiben entweder lebendig, oder sie sterben ab und füllen sich mit Luft. Dann erscheint das Haar weiß. — In einfachster Form treten die Haare als kegelförmige Ausstülpungen der Epidermiszellen, als sog. Papillen, in die Erscheinung. Solche sind an Blumenblättern sehr häufig (Fig. 114) und erteilen ihnen ein sammetartiges Aussehen. Wachsen einzelne Epidermiszellen zu sehr langen Schläuchen aus, so entstehen entsprechend lange Haare, wie solche beispielsweise als Wurzelhaare (Fig. 170 r) für bestimmte Regionen der Wurzel (S. 39) bezeichnend sind. Nur begrenzte Stellen der Außenwand der Wurzelepidermiszellen sind es, die sich in solcher Weise ausstülpfen. Von ähnlicher Gestalt sind oft die Wollhaare, welche junge Pflanzenteile schon in der Knospe überziehen, alsbald absterben und dann entweder abgestreift werden, oder verbleiben, um als filziger Überzug den fertigen Pflanzenteil zu decken. Sie bilden einen Schirm, der vor

direkter Insolation schützt oder auch durch Erschwerung des Gaswechsels die Verdunstung herabsetzt. Eine ungewöhnliche Länge erreichen die einzelligen Haare, welche der Epidermis der Samenschale bei *Gossypium*-Arten entspringen und als Baumwollhaare bekannt sind (Fig. 115). Diese Haare können bis 6 cm Länge erreichen. Im älteren Zustande führen sie Luft. Ihre Wand erreicht eine für Haare relativ bedeutende Dicke und ist von einer zarten Cuticula überzogen. Das Haar ist meist etwas abgeflacht, dreht sich um seine Achse und erreicht in halber Länge seine größte Breite (Fig. 115 B_2). Nur eine Anzahl Oberhautzellen der Samenschale wächst in

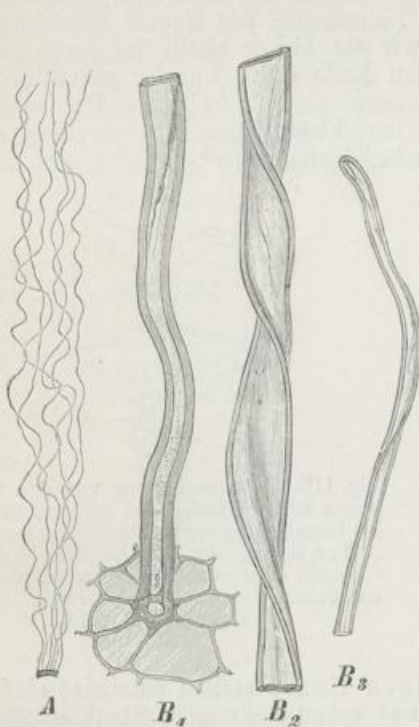


Fig. 115. Samenhaare der Baumwolle, *Gossypium herbaceum*. A Ein Stück der Samenhaut mit Haaren, 3mal vergrößert. B_1 Ansatzstelle und unterer Teil, B_2 mittlerer Teil, B_3 oberer Teil eines Haares, 300mal vergrößert.

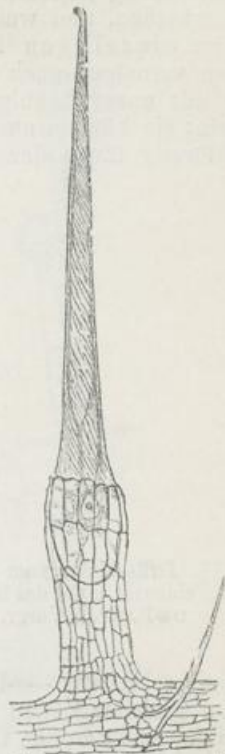


Fig. 116. Brennhaar von *Urtica dioica*, nebst einem Stück Epidermis, auf dieser rechts eine kleine Borste. Vergr. 60.

solche Haare aus (B_1). — Relativ kurze, zugespitzte Haare mit verdickten Wänden, in welche Kalk oder Kieselerde eingelagert ist, werden als Borsten (Fig. 116, unten rechts) bezeichnet.

Eine besondere Art solcher Borsten sind die Brennhaare, wie sie den Brennesseln (*Urtica*-Arten) (Fig. 116) und den Loasaceen zukommen. Diese Brennhaare gehen ebenfalls aus einer Epidermiszelle hervor, die während der Haarbildung stark anschwillt und von benachbarten Epidermiszellen becherförmig umwachsen wird. Durch Zellvermehrung in dem an die Haarbasis angrenzenden Gewebe erhält das Haar gleichzeitig einen säulenförmigen Fuß. Die Haarzelle spitzt sich oben zu und endet mit einem kleinen, schräg aufgesetzten Köpfchen. Unter diesem Köpfchen bleibt die Haarwandung

unverdickt. Das Ende des Haares ist verkieselt, die übrigen Wandteile bis auf die untere Anschwellung, den Bulbus, verkalkt, das ganze Haar daher sehr steif. Es bildet eine Schutzvorrichtung gegen Tiere. Wird es berührt, so bricht sein Köpfchen ab, seine Spitze erhält die Form der Mündungsstelle einer Einstechkanüle und dringt in die Haut ein, in die der Inhalt des Haares sich ergießt. Da dieser Inhalt sehr giftig ist, ruft er eine Entzündung, das sog. Brennen, hervor, welches, wenn durch gewisse tropische Brennesseln verursacht, gefährlich werden kann.

Die den Fuß eines Haares umgebenden Epidermiszellen sind oft ring- oder strahlenförmig angeordnet, oder auch sonst von den anderen Epidermiszellen unterschieden, und werden dann als Nebenzellen des Haares bezeichnet.

Die einzelligen Haare, wie wir sie bisher allein ins Auge gefaßt haben, vermögen auch an ihrem freien Ende stark kugelig anzuschwellen, oder mit unregelmäßigen Anschwellungen an den Seitenwänden versehen zu sein; sie können auch kurz bleiben und blasenförmig sich erweitern; auch spießförmig längs der Epidermisoberfläche sich strecken, oder sich stern-



Fig. 117. Drüsenhaar vom Blattstiel der *Primula sinensis*, oben das Sekret. (Nach DE BARY.) Vergr. 142.

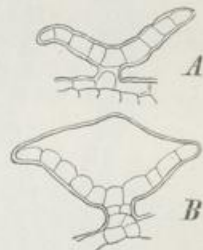


Fig. 118. Drüseneschuppen von den weiblichen Blütenständen des Hopfens (*Humulus Lupulus*) im senkrechten Durchschnitte. A Vor Beginn der Sekretbildung. B Die Cuticula durch das Sekret emporgehoben, das Sekret durch Alkohol entfernt. (Nach DE BARY.) Vergr. 142.

förmig ausbreiten. — Die vielzelligen Haare stellen entweder einfache Reihen gleicher Zellen dar, so die uns schon bekannten Staubfadenhaare von *Tradescantia* (Fig. 60), oder ihre Endzelle schwillt kugelig an (Fig. 117), so bei der chinesischen Primel (*Primula sinensis*), oder sie breiten sich auf der Epidermis zu einem scheibenförmigen, sternförmigen oder schüsselförmigen (Fig. 118) Gebilde aus, oder sie verzweigen sich in dieser oder jener Weise, bußen ihren lebenden Inhalt ein, füllen sich mit Luft und bilden wie die einzelligen Wollhaare seidige oder filzige Überzüge am Pflanzenkörper. In bestimmten Fällen, so bei Ausbildung der Spreuschuppen der Farne, erlangt das Haar die Gestalt eines Blättchens.

An der Bildung der äußeren Auswüchse oder Emergenzen beteiligen sich außer der Epidermis mehr oder weniger tief reichende Partien des unter ihr gelegenen Gewebes. Nur wenige subepidermoidale Zellreihen setzen sich beispielsweise in die, im übrigen nur aus Epidermis aufgebauten Auswüchse fort, die sich an den Enden und an den Zähnen der Nebenblätter des Stiefmütterchens (*Viola tricolor*) befinden (Fig. 119). Tiefer reichende Zellschichten sind mit am Aufbau derjenigen Auswüchse beteiligt, welche als Stacheln den Rosenstrauch schützen, zugleich ihn zum Klettern befähigen. Besonders kräftige Entwicklung erreichen die S. 44 erwähnten, den Wurzeln

der Podostemonaceen entspringenden Hapteren, die trotz ihrer Dicke im Innern doch nur aus Parenchym bestehen. Es gibt aber auch Auswüchse, in welche Gefäßbündel eintreten, so die keulenförmigen Digestionsdrüsen oder Tentakeln, welche das Sonnentauplänzchen (*Drosera*) auf der Oberseite seiner Blätter trägt (Fig. 120). Manche dieser Gebilde nähern sich in ihrem Aussehen gewissen metamorphosierten Gliedern des Pflanzenkörpers, so die Stacheln den Dornen, die Hapteren den Seitenwurzeln, doch sind sie nicht auf solche Glieder zurückzuführen und unter sich nicht von gleichem Ursprung (S. 43).

Die Haare und die Auswüchse vermitteln häufig die Sekretion, sie werden dann Drüsen genannt. Vielfach dienen sie der aktiven Wasserausscheidung, gegebenenfalls auch der Wasseraufnahme, und gehören dann zu den von G. HABERLANDT⁽¹⁰⁴⁾ als Hydathoden bezeichneten Gebilden. Andere Drüsen scheiden harzige Stoffe aus, so die Haare mancher Primeln

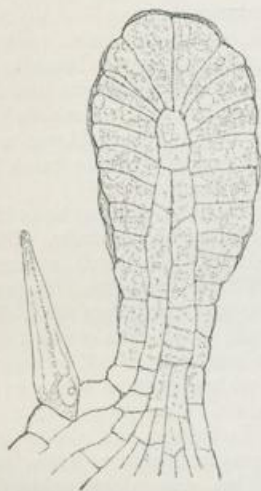


Fig. 119. Eine Drüsenzotte vom Nebenblatt von *Viola tricolor*, neben ihr ein einzelliges Haar. Vergr. 240.

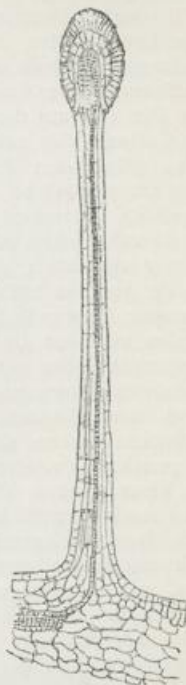


Fig. 120. Digestionsdrüsen von *Drosera rotundifolia*. Vergr. 60.

(Fig. 117). Bei diesen wird das harzige Sekret aus dem terminalen Köpfchen zwischen den Verdickungsschichten der Zellwand und der Cuticula abgesondert und hebt diese empor. Schließlich wird die Cuticula gesprengt und so das Sekret frei. *Primula sinensis*, mehr noch *Primula obconica*, können mit ihrem Sekret Haut- und Augenentzündungen beim Menschen veranlassen⁽¹⁰⁶⁾. Nicht alle Personen sind aber gegen dieses Gift gleich empfindlich. — Die gelben Drüsen (Fig. 118) an den Hochblättern der weiblichen, zapfenförmigen Blütenstände des Hopfens scheiden das Lupulin, jenen Stoff, der dem Bier den bitteren Geschmack und ein bestimmtes Aroma erteilt, ebenfalls unter der Cuticula ab, die als gemeinsames Häutchen von der Oberseite der schüsselförmigen Drüse abgehoben wird (Fig. 118 B). Protoplasmareiche Haargebilde und Auswüchse reizbarer Staubgefäße, Blumenblätter, Blattgelenke, können auch, wie G. HABERLANDT⁽¹⁰⁵⁾ zeigte, in Gestalt von mannigfach

gebauten Fühlpapillen, Fühlhaaren oder Fühlborsten als Reizempfänger fungieren. Unter Umständen sind sie selbst nicht empfindlich und dienen nur dazu, bei Berührung als Stimulatoren den Reiz auf ein sensibles Zellpolster zu übertragen.

Durch Verquellung der unter der Cuticula gelegenen Membranschicht wird der Schleim der sog. Leimzotten oder Kolleteren erzeugt. Diese Leimzotten sind verschiedenartig gestaltete Haargebilde, welche die jüngsten Anlagen in den Knospen häufig decken. Der von ihnen erzeugte Schleim schützt die jugendlichen Knospenteile vor dem Austrocknen. Der Schleim wird durch Sprengung der Cuticula frei. Eine neue Cuticula kann dann an der Kolletere entstehen und die Verschleimung unter ihr sich wiederholen. Wird in die verschleimten Membranschichten ein Sekret ausgesondert, so handelt es sich um Drüsenzotten. So scheiden in den Winterknospen vieler unserer Bäume, z. B. der Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*), die auf den Deckschuppen befindlichen Drüsenzotten ein Gemenge von Gummi und Harz ab, das sich zwischen die Deckschuppen ergießt und sie verklebt. Ebenso verhält sich die in Fig. 119 dargestellte Drüsenzotte des Stiefmütterchens. — Die als Digestionsdrüsen bezeichneten Auswüchse (Fig. 120) auf dem Blatte des Sonnentaupflänzchens (*Drosera*) sondern durch ihre poröse Cuticula eine schleimige Substanz an ihrem kolbenförmigen Ende aus, welche sich dort zu glänzenden Tropfen sammelt. An diesen schleimigen Tropfen bleiben kleine Tiere kleben, welche die Pflanze alsdann zu verdauen vermag. — Als Nektarien zusammengefaßte, verschiedenartig gestaltete Drüsen sezernieren ein zuckerreiches Sekret, das in zahlreichen Blüten erzeugt wird und zur Anlockung der Insekten, welche die Bestäubung vermitteln, dient, aber auch außerhalb der Blüten auftritt und dort eine Lockspeise für Ameisen bildet, welche die Pflanze schützen. Durch chemische Umwandlung bestimmter Außenwände solcher Nektarien, oder durch Ausscheidung aus ihrem Innern, werden zunächst die osmotisch wirksamen Stoffe erzeugt, welche durch Saugung eine Wasserausscheidung veranlassen und so den Nektar liefern.

Verschiedene Piperaceen, Begoniaceen, Ficusarten besitzen eine mehrschichtige Epidermis an ihren Blättern, doch ist ein solches Verhalten nicht häufig. Diese Epidermen entstehen, wenn die jungen Epidermiszellen nicht nur durch senkrecht zur Oberfläche gerichtete, sondern auch zu ihr parallele Wände sich teilen. So haben die Blätter von *Ficus elastica* (Fig. 76) eine dreischichtige Epidermis aufzuweisen, die einen entsprechend stark ausgebildeten Wasserbehälter darstellt. Die schon erwähnten Cystolithen (S. 59) liegen demgemäß bei *Ficus elastica* noch innerhalb der Epidermis in einzelnen stark angeschwollenen Epidermiszellen. Auch mehrschichtige Wurzelepidermen kommen vor, so bei *Asparagus*-, *Crinum*-, *Lycoris*-Arten⁽¹⁰⁷⁾. Eine ganz eigenartige Ausbildung erfährt die mehrschichtige Epidermis an den Luftwurzeln vieler Orchideen und verschiedener Araceen. Sie stellt eine dicke, pergamentartige Hülle, das sog. Velamen radicum (S. 41) dar, das in manchen Fällen eine nicht unbeträchtliche Dicke erreicht. Die Zellen dieser Hülle werden meist mit schrauben- oder netzförmigen Verdickungen versehen und büßen ihren lebendigen Inhalt ein. Sie erscheinen dann, je nach dem Feuchtigkeitsgrade der Umgebung, mit Luft oder mit Wasser gefüllt. Diese Wurzelhüllen saugen wie Fließpapier das Wasser auf. Sind die Zellen der Hülle mit Luft erfüllt, so erscheint diese Hülle weiß; führen sie Wasser, so schimmert das innere Gewebe mit grüner Farbe durch. — Eine besondere Mannigfaltigkeit in der Gestalt der Verdickung und dem Verhalten der Verdickungsschichten kommt den Epidermiszellen der Früchte und mehr noch der Samen zu. Es erklärt sich das daraus, daß diese Epidermen nicht allein für den Schutz und Abschluß der inneren Teile zu sorgen haben, sondern vielfach auch die Verbreitung und Befestigung jener Früchte und Samen fördern sollen.

Das Gefäßbündelsystem. Die primären Gefäßbündel durchziehen in Gestalt feiner Stränge den Körper der höher organisierten Gewächse. In den durchscheinenden Stengeln der als Unkraut verbreiteten *Impatiens parviflora* kann man die Gefäßbündel unmittelbar sehen, ihren Verlauf und ihre Verteilung feststellen. In den Blättern wird durch die Anordnung der Gefäßbündel die „Nervatur“ bestimmt. Aus manchen parallelnervigen

Blättern, so beim Wegerich (*Plantago media*), lassen sich die Gefäßbündel samt ihren Scheiden leicht befreien, wenn man die Teile eines umgebrochenen Blattes auseinander zieht.

Bereits unter jenen Thallophyten, deren Körper eine fortgeschrittene Gliederung aufweist, so bei einer Anzahl roter und brauner Meeresalgen (Rhodophyceen und Phaeophyceen), werden besondere Zellenzüge für die Aufgaben der Stoffleitung ausgebildet. Bei den Laminariaceen sind sogar siebröhrenähnliche Gewebeelemente in den leitenden Bahnen aufgefunden worden⁽¹⁰⁸⁾. Manche thalloiden Lebermoose weisen auch schon besondere

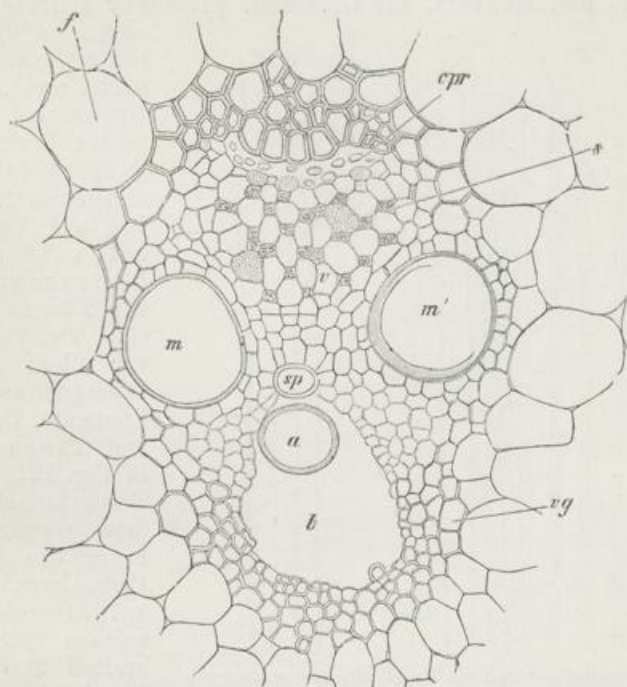


Fig. 121. Querschnitt durch ein Gefäßbündel aus dem Internodium des Stengels von *Zea Mays*. *a* Ring einer Ringtracheide, *sp* Schraubentracheide, *m* und *m'* behöft getüpfelte Gefäße, *v* Siebröhre, *s* Geleitzelle, *cpr* zerdrückte Cribralprimanen, *l* Inter-cellulargang, *vg* Scheide. Vergr. 180.

Zellenzüge auf, die wie Blattnerven ihren Körper durchziehen. Gegen die Umgebung deutlich abgegrenzt, treten uns aber erst die Leitbündel bei den Laubmoosen entgegen, häufig in den Blättern, seltener auch in den Stengeln. Den Querschnitt eines relativ einfach gebauten Leitbündels (*l*) dieser Art im Stämmchen von *Mnium undulatum* führt unsere Fig. 161 vor. Ihre vollkommenste Ausbildung erlangten die Leitbündel der Laubmoose in den Stämmchen der Polytrichaceen. Sie stellen dort einen zentralen Zylinder dar, in welchem langgezogene inhaltsleere, der Wasserleitung dienende Schläuche, siebröhrenähnliche Elemente, welche Eiweiß und gestreckte Zellen, welche Kohlehydrate führen, nachzuweisen sind⁽¹⁰⁹⁾. Die Anordnung dieser Elemente in den Strängen erinnert nicht selten auffällig an jene in den Gefäßbündeln der höher organisierten Gewächse, eine Ähnlichkeit, die

in das Gebiet der Analogien gehört, wie solche sich während der phylogenetischen Entwicklung des Pflanzenreichs so oft eingestellt haben.

Einen hohen Grad der Differenzierung erreichten erst die Gefäßbündel der mit Wurzeln ausgestatteten Kormophyten. Die Einschränkung der Wasseraufnahme auf die Wurzeln verlangt besonders vollkommen gebaute Leitungsbahnen. Zwei Bestandteile lassen sich in diesen Gefäßbündeln unterscheiden: der Gefäßteil oder Vasteil und der Siebteil oder Cibraltail. Diese können getrennt voneinander verlaufende Stränge bilden; im allgemeinen sind sie aber miteinander im Gefäßbündel zum Cribrovasalbündel vereinigt. Andere gebräuchliche Bezeichnungen für Gefäßbündel sind: Fibrovasalbündel und Mestom, für Gefäßteil: primärer Holzteil, Xylem

oder Hadrom, für Siebteil primäres Phloëm oder Leptom⁽¹¹⁰⁾. Der Unterschied im Bau der beiden Bestandteile des Gefäßbündels fällt am meisten an Querschnitten auf (Fig. 121, 123), mit welchen erst die Längsschnitte (wie Fig. 122) zu vergleichen sind. Der Vasteil führt vor allem vasale, der Wasserleitung dienende Elemente, Tracheiden und Tracheen (*a*, *sp*, *m* Fig. 121, 122), oder Tracheiden allein, außerdem lebende Zellen, in Form von gestrecktem Parenchym, das als Valsalparenchym sich bezeichnen läßt. Im Cibraltail dürfen die der Eiweißleitung dienenden Siebröhren (*v*) nicht fehlen; sie sind stets von anderen lebenden Zellen

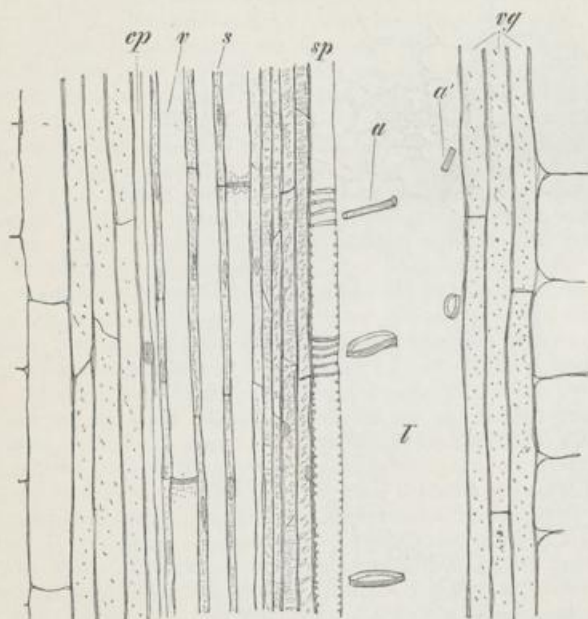


Fig. 122. Längsschnitt durch ein Gefäßbündel des Stengels von *Zea Mays*. *a* und *a'* Ringe einer Ringtracheide, *v* Siebröhren, *s* Geleitzellen, *cp* Cribralprimanen, *l* Interzellulargang, *vg* Scheide. Vergr. 180.

begleitet, entweder nur von sog. Geleitzellen (*s*), oder von diesen und von gestreckten Parenchymzellen, oder von letzteren allein. Geleitzellen kommen nur den Siebröhren der Angiospermen zu. Sie sind Schwesterzellen der Siebröhrenglieder, mit denen sie durch Längsteilung aus derselben Mutterzelle hervorgehen. Ihre Weite ist geringer als jene der Siebröhrenglieder; sie zeichnen sich vor letzteren auch durch ihren reichlichen protoplasmatischen Inhalt aus, vor allem aber dadurch, daß sie ihren Zellkern behalten, während dieser, wie schon erwähnt wurde (S. 81), im Siebröhrengliede alsbald schwindet. Bei den Monokotylen (Fig. 121 und 122) und bei den Ranunculaceen unter den Dikotylen (Fig. 123) sind Siebröhren nebst Geleitzellen die einzigen Elemente des Siebteils; bei den anderen Dikotylen ist außerdem noch gestrecktes Parenchym im Siebteil vertreten, das sich als Cibralparenchym bezeichnen läßt. Die Siebröhren der Gymnospermen und der Pteridophyten sind ohne Geleitzellen; der Siebteil führt außer Siebröhren nur Cribralparenchym.

Für gewöhnlich weisen die Phanerogamen (Gymnospermen und Angiospermen) kollateral gebaute Gefäßbündel auf, d. h. solche Gefäßbündel, bei welchen Gefäßteil und Siebteil sich einseitig berühren. Im allgemeinen kehrt in Stengelteilen das Gefäßbündel seinen Gefäßteil nach innen, seinen Siebteil nach außen, in Blättern seinen Gefäßteil nach oben, seinen Siebteil nach unten.

— Außer den kollateralen kommen auch bikollaterale Gefäßbündel vor, welche nicht nur nach außen, sondern auch nach innen mit einem Siebteil versehen sind, so bei den kürbisartigen Gewächsen (Cucurbitaceen)⁽¹¹¹⁾. — Die Wurzeln sind ganz allgemein durch gesonderte Vasal- und Cribralstränge ausgezeichnet

(Fig. 124 *s* und *v*); zugleich sind ihre Vasalstränge umgekehrt wie im Stengel orientiert; denn im Stengel kehren die Vasalteile ihre engsten Gefäße nach innen, die weitesten nach außen, in der Wurzel hingegen die weitesten Gefäße gegen die Mitte, die engsten gegen den Umkreis.

Die „konzentrischen“ Gefäßbündel der Pteridophyten (Fig. 125) weisen in ihrem Innern Tracheiden (*sp*) auf, nur in vereinzelten Fällen auch Tracheen (*sc*). Im allgemeinen gehen letztere noch den Pteridophyten ab, ungeachtet diese die Bezeichnung „Gefäßkryptogamen“ führen. Die wasserleitenden Elemente der Pteridophyten zeigen treppenförmige, nur die engsten (*sp*) unter ihnen auch schraubenförmige Verdickungen. Sie werden von Vasal-

Strasburger, Lehrbuch der Botanik. 8. Aufl.

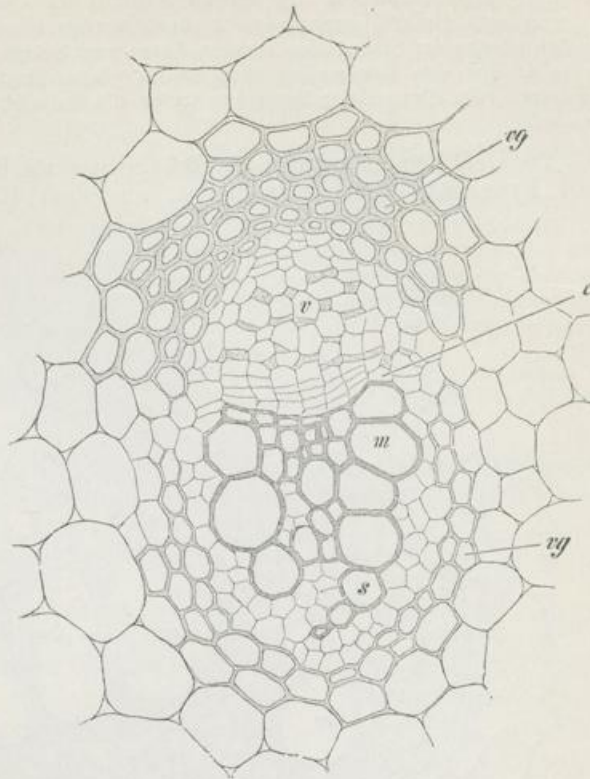


Fig. 123. Querschnitt durch das Gefäßbündel eines Ausläufers von *Ranunculus repens*. *s* Schraubentracheiden, *m* behöft getüpfelte Gefäße, *c* Cambium, *v* Siebröhren, *rg* Scheide. Vergr. 180.

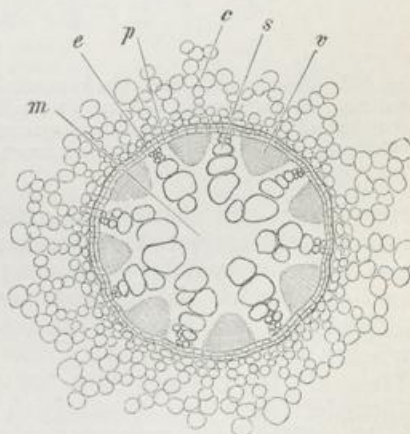


Fig. 124. Querschnitt durch die Wurzel von *Acorus Calamus*. *m* Mark, *s* Vasalteile, *v* Cribralteile, *p* Pericykel, *e* Endodermis, *c* Rinde. Vergr. 90.

parenchym (*lp*) umhüllt. An dieses schließt im Umkreis ein aus Siebröhren (*v*) und aus Cribralparenchym (*s*) bestehendes Gewebe an. Derartige Gefäßbündel pflegen im Stamm der meisten Farne und Selaginellen in Mehrzahl vorhanden zu sein. Bei den Lycopodien sind sie zu einem einzigen zentralen Zylinder verschmolzen. Im Stengel der Equiseten treten die Gefäßbündel bereits mit kollateralem Bau auf.

Die Gefäßbündel werden als Stränge von meristematischem Gewebe, die man Procambiumstränge nennt, aus dem Urmeristem angelegt. In

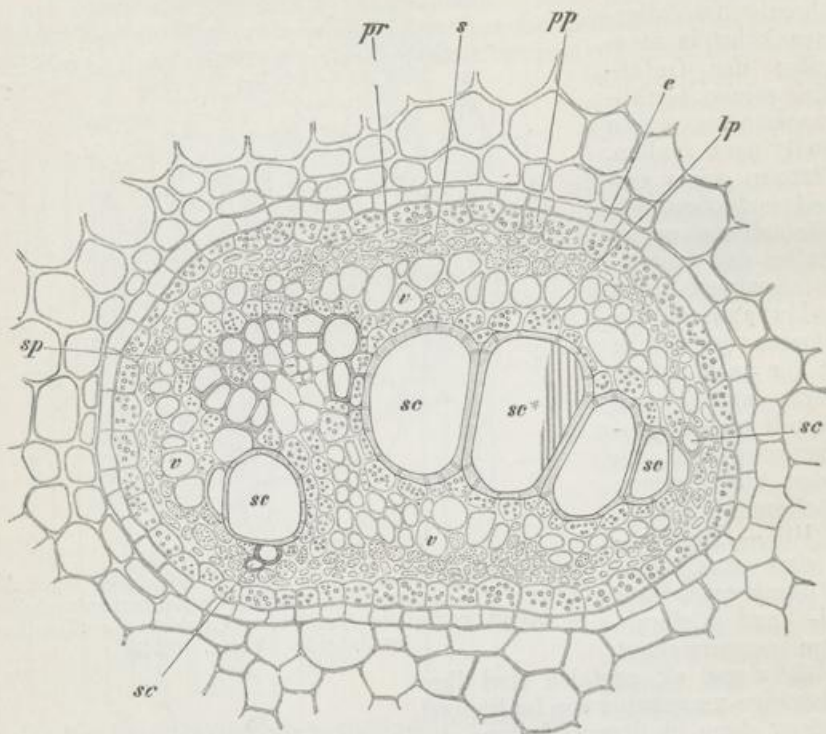


Fig. 125. Querschnitt durch ein konzentrisches Gefäßbündel aus dem Blattstiel von *Pteris aquilina*. *sc* Treppengefäße, *sp* Vasalprimanen (Schraubentracheiden), im Treppengefäß *sc** Stück einer leiterförmig durchbrochenen Querwand, *lp* Vasalparenchym, *v* Siebröhren, *s* Cribralparenchym, *pr* Cribralprimanen, *pp* Stärkeschicht, *e* Endodermis. Vergr. 240.

ihrem Innern tritt alsbald eine mittlere Gewebezone in tangentialen Teilungen ein und stellt ein primäres Meristem (S. 86) dar, das nach innen und außen neue Zellen in radialer Anordnung liefert. Wird während der Ausbildung des Gefäßbündels das gesamte Gewebe der Anlage verbraucht, so ist das Gefäßbündel ein geschlossenes; bleibt primäres Meristem (Fig. 123 *c*) zwischen dem Vasalteil und Cribralteil zurück, so ist das Gefäßbündel ein offenes. Die Pteridophyten besitzen fast ausnahmslos nur geschlossene Gefäßbündel; auch den Monokotylen kommen nur geschlossene Gefäßbündel zu (Fig. 121); den Gymnospermen und Dikotylen (Fig. 123) hingegen offene.

So lange ein Pflanzenteil noch in starkem Längenwachstum begriffen ist, bleiben seine Procambiumstränge, der Hauptmasse nach, undifferenziert. Denn nur an eng begrenzten Stellen treten in ihnen einzelne Zellenzüge aus dem meristematischen Zustande

heraus. Es sind das Elemente, die auf Streckung eingerichtet sind: enge ring- und schraubenförmig verdickte Gefäßtracheiden einerseits, Siebröhren beziehungsweise Siebröhren nebst Geleitzellen, andererseits. Die ersteren werden als Erstlinge des Gefäßteils, *Vasalprimanen*, oder auch *Protoxylem*, die letzteren als Erstlinge des Siebteils, *Cribralprimanen*, oder auch *Protophloëm*, bezeichnet. Die *Vasalprimanen* nehmen den Innenrand, die *Cribralprimanen* den Außenrand eines Procambiumstranges, aus dem ein kollaterales Gefäßbündel hervorgehen soll, ein. Erst nach vollendetem Längenwachstum des Pflanzenteils werden die Gefäßbündel fertiggestellt, wobei in einem kollateralen Gefäßbündel, das wir als Beispiel wählten, die Differenzierung der meristematischen Gewebe von dem Innen- und Außenrand gegen die Mittelebene fortschreitet. Die *Primanen* des *Vasal-* und *Cribralteils* sind im fertigen Gefäßbündel außer Funktion gesetzt. Die *Vasalprimanen* zeigen sich dann vielfach zerdrückt, auch wohl durch Dehnungen zerrissen (*a* und *a'* Fig. 122); in manchen Fällen ist ein lysigener Interzellulargang an ihrer Stelle ausgebildet (Fig. 121 und 122); die *Cribralprimanen* (*cp*) sind verquollen; ihre Siebplatten durch Callusbelege verschlossen.

Entsprechend ihrer umgekehrten Orientierung innerhalb der Wurzeln weisen die *Vasalteile* dort nicht an ihrem Innenrande, vielmehr an ihrem Außenrande *Vasalprimanen* auf (Fig. 124).

Gefäßbündelendigungen. In den Blättern, besonders den Laubblättern der angiospermen Pflanzen, pflegen die Gefäßbündel sich stark zu verzweigen und schließlich in ganz feine Stränge aufzulösen. Bei den Gymnospermen hingegen unterbleibt meist diese Verzweigung, ein einziges Gefäßbündel durchläuft vielfach die ganze Blattspreite. Den höchsten Grad erreicht die Verzweigung in den netzadrigen Blättern der Dikotylen.

Die feine Verteilung der Gefäßbündel in der Blattspreite erleichtert die Zufuhr von Wasser zu allen Teilen des Blattes, zugleich die gleichmäßige Entnahme der Assimilationsprodukte aus dem Blattgewebe. In dem Maße, als die Verzweigung der Gefäßbündel in der Blattspreite fortschreitet und diese schwächer werden, vereinfacht sich ihr Bau (Fig. 126). Zunächst schwinden aus den Gefäßbündeln die Gefäße, und nur netz- und schraubenförmig verdickte Tracheiden bleiben als wasserleitende Elemente im *Vasalteile* zurück; zugleich erfährt der Siebteil eine Reduktion. Bei den Angiospermen, deren Siebröhren von Geleitzellen begleitet werden, nehmen die Siebröhren an Weite ab, während die Geleitzellen ihren früheren Durchmesser behalten. Schließlich unterbleibt in den Zellen, welche die Siebröhren fortsetzen, die Teilung in Siebröhrenglieder und Geleitzellen, es werden sog. Übergangszellen⁽¹²⁾ gebildet. Mit diesen hört der Siebteil auf, während der *Vasalteile* noch durch kurze Schraubentracheiden vertreten ist. Die letzten Auszweigungen der Gefäßbündel schließen entweder blind ab oder setzen an andere Gefäßbündel an.

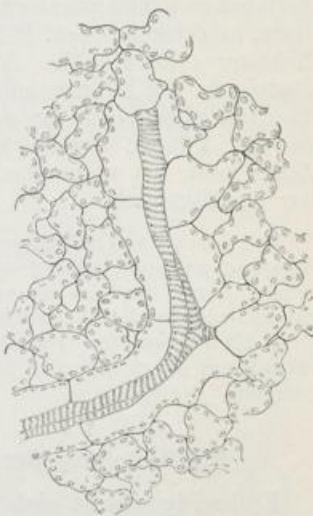


Fig. 126. Gefäßbündelendigung im Blatt von *Impatiens parviflora*. Vergr. 240.

Das Grundgewebesystem. Das Grundgewebe, auch Füllgewebe genannt, bildet für gewöhnlich die Hauptmasse der primären Gewebe des Pflanzenkörpers. Das gesamte Gewebe der niederen Gewächse, denen noch eine innere Differenzierung fehlt, läßt sich in gewissem Sinne als Grundgewebe auffassen. Aus ihm sonderten sich allmählich, im Laufe der phylogenetischen Entwicklung, die anderen Gewebesysteme heraus. Bei den höheren Pflanzen wird das Grundgewebe von dem Hautgewebe umgeben und von dem Gefäßbündelsystem im Innern durchsetzt. Während dem Hautgewebe

der Schutz der Pflanze nach außen, dem Gefäßbündelsystem vor allem das Geschäft der Leitung, auch der mechanischen Festigung zufällt, hat das Grundgewebe hauptsächlich für die Ernährung der Pflanze und Speicherung der Nahrungsstoffe zu sorgen. Demgemäß überwiegen im Grundgewebe, so tief als der Einfluß des Lichtes reicht, chlorophyllhaltige Parenchyme; tiefer folgen farblose Gewebe. Doch ist das Grundgewebe auch an den mechanischen Leistungen in der Pflanze beteiligt. Es besitzt in dem Kollenchym (Fig. 74 c) und dem Sklerenchym spezifisch mechanische Gewebe. Das Kollenchym (S. 58) ist unverholzt, leicht dehnbar und demgemäß auf Streckung eingerichtet; es stellt das mechanische Gewebe der noch in Längenwachstum begriffenen Pflanzenteile vor, in welchen es daher schon frühzeitig auftritt. Die meist auch nicht verholzenden, doch stark verdickten Sklerenchymfasern erlangen erst nach vollendetem Längenwachstum ihre volle Ausbildung. Später kommen oft noch Sklereiden (vgl. S. 63) als mechanische Elemente hinzu. Gestreckte Grundgewebezellen greifen auch in bestimmte Aufgaben der Leitung ein. Sie dienen im besonderen der Beförderung der Kohlehydrate. Auch werden Nebenprodukte des Stoffwechsels in besonderen Zellen oder Hohlräumen des Grundgewebes abgelagert. Daher im Grundgewebe kristallführende Idioblasten (vgl. S. 63) oder kristallführende Zellenzüge häufig anzutreffen sind, nicht minder auch mit Gerbstoffen, Gummi, Harz, ätherischen Ölen, Milchsaft oder Alkaloiden angefüllte Zellen, Schläuche, Behälter oder Kanäle. Vorwiegend werden solche Nebenprodukte in der Peripherie der Pflanzenteile untergebracht, um wirksame Schutzmittel gegen Tierfraß abzugeben, um auch eventuell später mit peripherischen Geweben von der Pflanze abgeworfen zu werden; vielfach begleiten kristallführende Zellen und, wo vorhanden, auch Milchröhren und Milchgefäße den Siebteil der Gefäßbündel.

Als Idioblasten auffälliger Art wären jene Zellen hervorzuheben, die bei Araceen, Nymphaeaceen und einigen anderen Pflanzenfamilien als sog. innere Haare in die Interzellularen des Grundgewebes hineinragen. In den weiten interzellularen Luftgängen, welche die Blattstiele und Blütenstengel unserer Seerosen aufweisen, haben diese Idioblasten eine sternförmige Gestalt. Ihre Wände sind stark verdickt und mit kleinen vorspringenden Höckern versehen, die Kristalle von Calciumoxalat einschließen.

Die Verteilung der primären Gewebe im Pflanzenkörper⁽¹¹³⁾.

Frühzeitig macht sich in vielzelligen Pflanzenkörpern eine Sonderung derart geltend, daß die äußeren Gewebe kleinzelliger und fester, die inneren großzelliger und lockerer werden. Die äußeren Gewebe gewähren solchermaßen besseren Schutz, die inneren werden geeigneter für Leitungs- und Speicherungszwecke. Um der Leitung zu dienen, strecken sich die Letzteren auch in die Länge. Soll der betreffende Pflanzenkörper selbständig für seine Ernährung sorgen, so bilden seine äußeren Gewebe, also die dem Licht zunächst ausgesetzten, assimilierende Chromatophoren aus und sind dementsprechend gefärbt, während seine inneren Gewebe farblos bleiben. Man pflegt dann solche äußeren Gewebe bereits als Rinde von den inneren, dem Mark zu unterscheiden. Erst bei einzelnen Moosen beginnt sich die Epidermis von der Rinde zu sondern. Zu einer scharfen Abgrenzung aller dieser Gewebe kommt es aber erst bei den höchst organisierten Pflanzen.

So tritt uns in dem Stengel einer phanerogamen Pflanze zu äußerst die Oberhaut oder Epidermis (e Fig. 128 B) entgegen; auf diese folgt ein als primäre Rinde zu unterscheidendes Gewebe (pr Fig. 127 und 128 A) und

hierauf der sog. Zentralzylinder, für welchen VAN TIEGHEM die Bezeichnung *Stele* (Säule) vorgeschlagen hat⁽¹¹⁴⁾. Die innerste Zellschicht der primären Rinde, die Rindengrenze (*Phloeoterma*), pflegt in oberirdischen Stengelteilen von Landpflanzen, namentlich wenn sie völlig ausgewachsen sind, nicht besonders aufzufallen, sie kann in ihnen aber auch als Stärkescheide, in den Rhizomen von Landpflanzen und in den Stengeln von Wasserpflanzen als Endodermis ausgestaltet sein. Tritt sie als Stärkescheide auf (st Fig. 128 A und B), so zeichnen sich ihre Zellen durch den Gehalt an leicht beweglichen Stärkekörnern aus. Vielfach ist eine Stärkescheide in jungen Pflanzentrieben vorhanden, schwindet aber in älteren oder bleibt⁽¹¹⁵⁾ dort nur auf bestimmte Stellen beschränkt. Bildet die innere Rindenschicht eine Endodermis, so sind ihre Seitenwände an einer schmalen Stelle verkorkt⁽¹¹⁶⁾. Der verkorkte Streifen der Seitenwände der Endodermiszellen erscheint im Querschnitt als dunkler Punkt (vgl. Fig. 130), im tangentialen Längsschnitt als etwas welliges Band. Der Zentralzylinder des Stengels

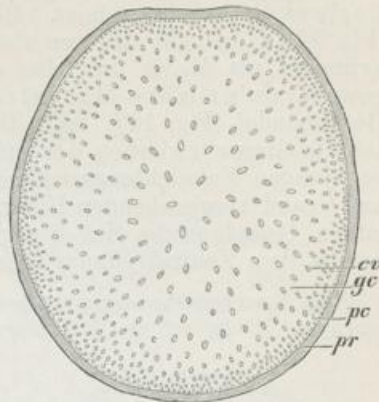


Fig. 127. Querschnitt durch ein Stengelglied von *Zea Mays*. *pr* Primäre Rinde, *pc* Pericykel, *cv* Gefäßbündel, *gc* Grundgewebe des Zentralzylinders. Vergr. 2.

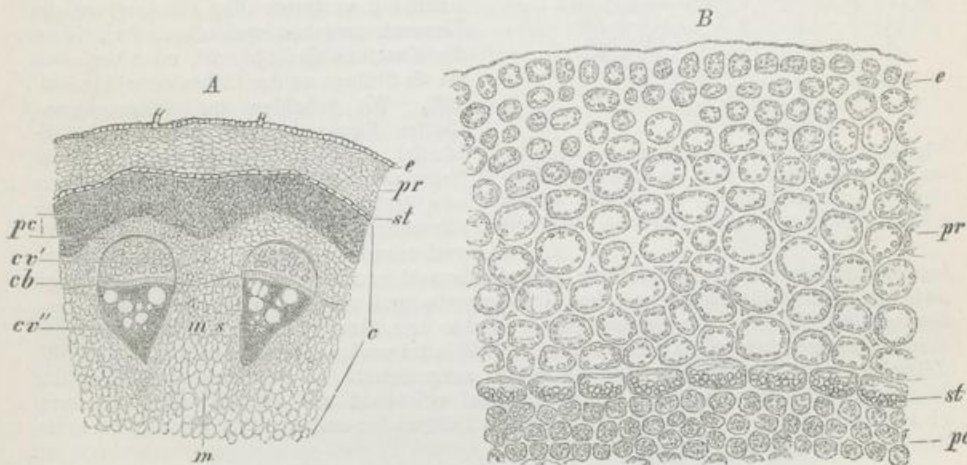


Fig. 128. A Teil eines Querschnittes durch einen jungen Stamm von *Aristolochia Sipho*. *e* Epidermis, *pr* primäre Rinde, *st* Stärkescheide, *c* Zentralzylinder, *pc* Pericykel, in diesem Falle mit einem Ring von Sklerenchymfasern, *cv* Gefäßbündel und zwar *cv'* Vasaileile, *cv''* Cribralteile, *cb* Cambiumring, *m* Mark, *ms* primäre Markstrahlen. Vergr. 48. B Kleiner Teil eines Querschnittes aus dem Umkreise eines noch jüngeren Stammteils. *e* Epidermis, *pr* primäre Rinde, *st* Stärkescheide mit leicht beweglichen Stärkekörnern, *pc* äußere Zellschichten des Pericykels. Vergr. 350.

schließt die Gefäßbündel (*cv*) ein, die bei den Schachtelhalmen (*Equiseten*), den Gymnospermen und den Dikotylen (Fig. 128 A) in einem Kreise angeordnet, bei den Monokotylen (Fig. 127) ohne Ordnung zerstreut sind. Die Gefäß-

bündel kehren in allen diesen Fällen ihren Vasalteil nach der Stengelmittle, ihren Cribralteil nach der Stengeloberfläche. Das außerhalb der Gefäßbündel gelegene, periphere Grundgewebe des Zentralzylinders wird als Pericykel (*pc*) bezeichnet. Sind die Gefäßbündel im Kreise angeordnet (Fig. 128A), so gilt das von ihnen umschlossene Grundgewebe des Zentralzylinders als Mark (*m*), das die Gefäßbündel seitlich trennende Grundgewebe als primäre Markstrahlen (*ms*). Bei zerstreuter Verteilung der Gefäßbündel (Fig. 127) fehlt diese Sonderung im Grundgewebe. Wo eine scharfe Grenze zwischen der primären Rinde und dem Zentralzylinder auch auf jungen Entwicklungszuständen nicht ausgebildet ist, da läßt sich nur auf Grund vergleichender Untersuchungen darüber entscheiden, welche primären Grundgewebe des Stengels noch der primären Rinde und welche bereits dem Zentralzylinder beizuzählen seien.

Das Grundgewebe der primären Rinde ist vorwiegend chlorophyllhaltiges Parenchym. Häufig ist ein Teil dieses Gewebes, im Anschluß an die Epidermis, zu

Kollenchym- oder Sklerenchymsträngen ausgebildet. Solche die Epidermis mechanisch verstärkenden Gewebe hat man unter der Bezeichnung Hypoderma zusammengefaßt. Im Zentralzylinder gehören Pericykel, primäre Markstrahlen und Mark, beziehungsweise das zwischen den Gefäßbündeln befindliche Gewebe zum Grundgewebe. Vorwiegend besteht dieses Gewebe aus farblosen Parenchyms; im Pericykel sind sklerenchymatische Elemente oft vertreten (Fig. 128Ape); solche Elemente umgeben auch oft als Scheiden die einzelnen Gefäßbündel, oder begleiten sie als Stränge an der Cribralseite (Fig. 121, 123). Wo Scheiden aus sklerenchymatischen Elementen die einzelnen Gefäßbündel umgeben, zeigen sie sich zu jeder Seite des Gefäßbündels, an der Grenze von Gefäß- und Siebteil, durch parenchymatische, oder schwächer verdickte und schwächer verholzte Elemente unter-

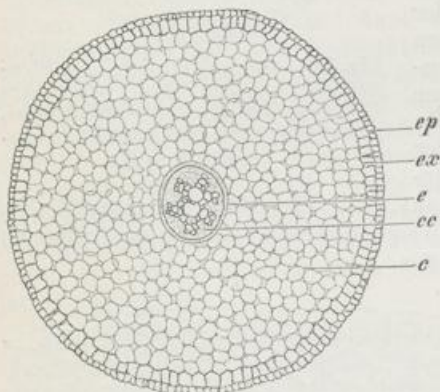


Fig. 129. Querschnitt durch eine Adventivwurzel von *Allium Cepa*. *ep* Reste der Epidermis, *ex* Exodermis, *e* primäre Rinde, *ec* Endodermis, *cc* Zentralzylinder. Vergr. 45.

brochen. Diese Stellen erleichtern den Austausch von Wasser und Nahrungsstoffen zwischen dem Gefäßbündel und dem Grundgewebe und werden als Durchlaßstreifen bezeichnet. Wo eine gemeinsame Stärkescheide dem Stengel fehlt, da sind unter Umständen Stärkescheiden um die einzelnen Gefäßbündel vorhanden, oder bestimmt verteilte Zellreihen mit beweglichen Stärkekörnern ausgestattet. — Der Zentralzylinder der Phanerogamen ist mehr oder weniger zentral orientiert und einfach; doch kommen einzelne Fälle vor, in welchen er in mehrere Teilzylinder zerlegt ist: so in den Stengeln der *Aurikeln* und der *Gunnera*.

Innerhalb der Wurzel ist die Grenze zwischen primärer Rinde und Zentralzylinder scharf gezogen. Die innerste Rindenschicht pflegt als Endodermis ausgebildet zu sein (Fig. 124, 129, 130e). Die Verkorkung des mittleren Membranstreifens in den Seitenwänden bedingt einen festen und lückenlosen Verband der Endodermiszellen und damit auch einen entsprechenden Abschluß des Zentralzylinders gegen die lufthaltigen Intercellularen der primären Rinde, während durch die dünnen Innen- und Außenwände der Endodermiszellen der Wasseraustausch zwischen der primären Rinde und dem Zentralzylinder ungehindert erfolgen und so dem letzteren das Wasser zugeführt werden kann, welches die Wurzelhaare, beziehungsweise die

entsprechenden Stellen der Wurzeloberfläche, dem umgebenden Boden entziehen. In etwas älter gewordenen Wurzelteilen, welche der Wasserauf-

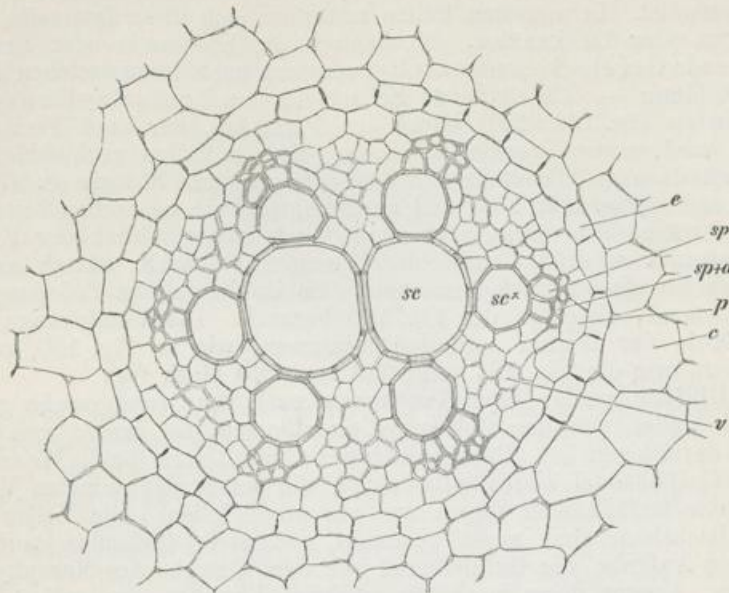


Fig. 130. Querschnitt durch eine Adventivwurzel von *Allium Cepa*. *c* Primäre Rinde, *e* Endodermis, *p* Pericykel, *a* Ringtracheiden, *sp* Schraubentracheiden, *sc* und *sc** Treppengefäße, *v* Cribralteil. Vergr. 240.

nahme aus dem Boden nicht mehr dienen, werden die Endodermiszellen vielfach und zwar meist einseitig verdickt, auch können sie cutinisieren. Treten solche Veränderungen frühzeitig auf, so bleiben bestimmte, vor den Vasalteilen gelegene Endodermiszellen von ihr ausgeschlossen und stellen dann die sog. Durchlaßzellen vor (*f* Fig. 131).

In den meisten Fällen ist es die Epidermis der Wurzel, welche innerhalb einer bestimmten Region die Wurzelhaare trägt. Es kann aber auch die Epidermis frühzeitig abgestoßen werden und die äußerste Rindenschicht in ihre Funktion treten. Unter allen Umständen stirbt die Epidermis rasch ab und es nimmt dann die nächstfolgende Rindenschicht, deren Zellwände mehr oder weniger cutinisieren, als Exodermis (Fig. 129 *ex*) die Oberfläche ein. In einer solchen Exodermis werden oft nicht cutinisierende Zellen ausgespart, die als Durchlaßzellen gelten können. Sie zeichnen sich in bestimmten Fällen durch geringere Größe aus und können regelmäßig zwischen den cutinisierten Zellen verteilt sein. An Luftwurzeln bildet sich die Epidermis meist zu der uns schon bekannten mehrschichtigen Wurzelhülle (vgl. S. 94) aus; auf diese folgt nach innen eine Exodermis.

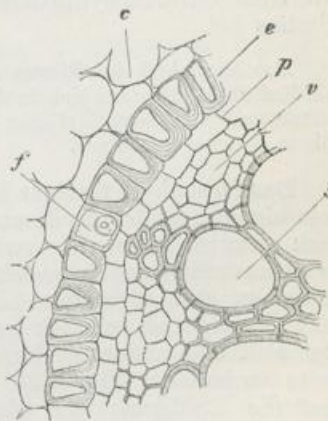


Fig. 131. Teil eines Querschnittes durch die Wurzel von *Iris florentina*. *c* Primäre Rinde, *e* Endodermis mit einseitiger Verdickung der Zellen, *f* Durchlaßzelle, *p* Pericykel, *v* Cribralteil, *s* Gefäß im Vasalteil. Vergr. 240.

Wurzelhülle (vgl. S. 94) aus; auf

Die primäre Rinde der Wurzel wird von farblosem Gewebe gebildet, das fast immer parenchymatisch ist, und in den äußeren Teilen lückenlos verbundene, in den inneren Teilen durch Intercellularen getrennte Zellen aufweist. In manchen Fällen erweitern sich diese Intercellularen zu Luftlücken oder Luftkanälen. Mechanisch die Epidermis oder Exodermis verstärkende Gewebe kommen als Hypodermen auch in zahlreichen Wurzeln zur Ausbildung. — Die äußerste Zellschicht des Zentralzylinders der Wurzeln (*p* Fig. 124, 131) bildet den Pericykel, der auch Pericambium genannt wird, meist einschichtig ist, in seltenen Fällen auch fehlen kann. Die Vassalteile und Cribralteile verlaufen als getrennte Stränge (S. 97) radial nebeneinander (Fig. 124, 130), und zwar kehren, wie uns schon bekannt ist, die Vassalstränge ihre engsten Elemente nach außen. Nach der Zahl der vorhandenen Vassalstränge wird die Wurzel als diarch, triarch usw. beziehungsweise als polyarch bezeichnet. So ist die in Fig. 124 dargestellte Wurzel octarch, diejenige der Fig. 130 hexarch. Die Vassalstränge stoßen in der Mitte der Wurzel entweder zusammen, wie in Fig. 130, oder sie lassen dort, wie die Fig. 124 zeigt, ein zentrales Mark frei.

Die **Blätter** werden ihrer Hauptmasse nach von Grundgewebe gebildet, das nach außen von der Epidermis umschlossen, im Innern von Gefäßbündeln durchzogen ist. Das Grundgewebe des Blattes heißt Mesophyll. Um die Gefäßbündel bildet es Scheiden, die selbst den feinsten Verzweigungen der Gefäßbündel folgen und sie umschließen. Die Zellen dieser Mesophyllscheiden sind meist gestreckt und stets lückenlos verbunden. Außer der Aufgabe, die Gefäßbündel von dem Gewebe des Mesophylls abzusondern, kommt ihnen noch die wichtige Funktion zu, gelöste Kohlehydrate aufzunehmen und aus dem Blatte in den Stengel zu leiten. Stärkere Gefäßbündel werden meist von Sklerenchymfasersträngen begleitet, welche an den feineren Auszweigungen weiterhin schwinden. Auch verlaufen oft freie Sklerenchymstränge im Mesophyll und tragen zur Festigung des Blattes bei.

Das Mesophyll des Blattes geht innerhalb des Stengels in die primäre Rinde über, die Gefäßbündel setzen sich in den Zentralzylinder des Stengels fort. Die der primären Rinde und dem Zentralzylinder des Stengels entsprechenden Gewebe bleiben auch im Blatte dauernd gesondert.

Das Mesophyll farbiger Blumenblätter der Angiospermen besteht meist aus einem ziemlich lockeren, von Intercellularen durchsetzten Gewebe, das sich ziemlich gleichartig zwischen der Epidermis der Ober- und der Unterseite ausbreitet und in welchem die Gefäßbündel verlaufen. Auch die Spreite mancher assimilierender Laubblätter, besonders von Schattenpflanzen, kann fast ebenso einfach gebaut sein, im allgemeinen ist das aber nicht der Fall und außerdem ein Unterschied im Bau der Ober- und der Unterseite vorhanden (Fig. 132). Bei solcher dorsiventralen Ausbildung pflegen auf die Epidermis der Oberseite (Fig. 132 *ep*) eine oder mehrere senkrecht zur Oberfläche gestreckte Lagen zylindrischer Parenchymzellen, die als Palisadenzellen bezeichnet werden (*pl*), zu folgen. Diese Zellen sind besonders chlorophyllreich und öfters seitlich voneinander getrennt, so daß die Stoffleitung auf die Richtung ihrer Längsachsen eingeschränkt bleibt. An dieses Palisadenparenchym schließt ein chlorophyllärmeres Parenchym aus vorwiegend unregelmäßig gestalteten Zellen mit weiten Intercellularen an, das als Schwammparenchym (*sp*) unterschieden wird. Es reicht bis an die Epidermis der Unterseite (*ep'*). Die Palisadenzellen sind in der Richtung gestreckt, in welcher die Lichtstrahlen die Blattspreite durch-

setzen und so für die assimilatorische Tätigkeit besonders geeignet. Das Schwammparenchym ist vornehmlich ein Durchlüftungsgewebe, für den Gasaustausch eingerichtet, bildet demgemäß weite Interzellularen, die mit den Spaltöffnungen der unteren Epidermis in unmittelbarer Verbindung stehen. HABERLANDT⁽¹¹⁷⁾ berechnet für einen Quadratmillimeter Blattfläche bei *Ricinus communis* durchschnittlich im Palisadenparenchym der Oberseite 403 200, im Schwammparenchym der Unterseite 92 000 Chlorophyllkörner, somit würden in diesem Falle 82% der Chlorophyllkörner der Blattoberseite, 18% der Blattunterseite angehören. Oft neigen die Palisadenzellen mit ihren inneren Enden deutlich zu Büscheln zusammen (Fig. 132), um an sogenannte Sammelzellen (*s*) anzuschließen, die an ihren Ansatzstellen trichterförmig erweitert sind. Solche Sammelzellen geben dann die Assimilate weiter an das Schwammparenchym ab. Letzteres führt sie den die Gefäßbündel umgebenden Mesophyllscheiden zu, fungiert somit nicht nur als Durch-

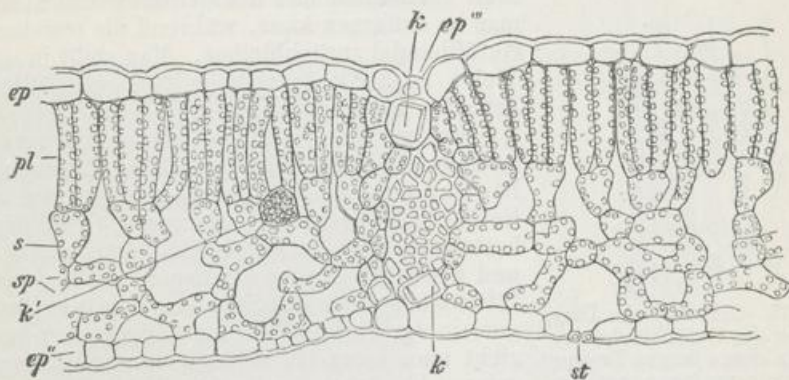


Fig. 132. Querschnitt durch das Blatt von *Fagus silvatica*. *ep* Epidermis der Oberseite, *ep''* Epidermis der Unterseite. *ep'''* längsgestreckte Epidermiszellen über einem Gefäßbündel, die der Querschnitt durch das Blatt auch der Quere nach trifft, *pl* Palisadenparenchym, *s* Sammelzellen, *sp* Schwammparenchym, *k* kristallführende Idioblasten, in *k'* eine Kristalldruse, *st* Spaltöffnung. Vergr. 360.

lüftungs-, sondern auch als Zuleitungsgewebe. Die Mesophyllscheiden dienen als Ableitungsgewebe nach dem Stengel.

An der Basis der Spreite zieht sich das Gewebe zusammen und tritt, falls ein Blattstiel vorhanden ist, in diesen ein. In einem Blattstiel ist der dorsiventrale Bau meist weniger scharf als in der Spreite ausgeprägt. Die Zellen zeigen sich vornehmlich in der Längsrichtung gestreckt, was die Stoffleitung fördert. In ihrer Verdickung und Verteilung sind sie den veränderten Ansprüchen an die mechanische Festigkeit angepaßt. Aus dem Blattstiel treten die Gefäßbündel in den Stamm, um in seinem Zentralzylinder mit anderen Gefäßbündeln entweder gleich zu verschmelzen, oder sich zunächst ihnen anzureihen. Im Blattstiel der Angiospermen sind die Gefäßbündel meist zu einem nach oben offenen Bogen angeordnet; sie können aber auch eine andere Figur bilden. — Die Gefäßbündel in den Blattstielen der Farne werden, wie im Stamme, von braunwandigen Sklerenchymsträngen oder Sklerenchymplatten begleitet. Solche Sklerenchymmassen sind es, welche dem Adlerfarn (*Pteris aquilina*) den Namen verschafften, weil sie auf Querschnitten durch den Blattstiel das Bild eines Doppeladlers abgeben.

Bei gewissen Familien der Dikotylen, vor allem bei den Crassulaceen, bildet das Mesophyll der Blattlamina zwischen besonders angeschwollenen Gefäßbündelendigungen und der Epidermis Gewebepropfen aus, die von kleinen meist chlorophyllfreien, wasserreichen Zellen gebildet werden, welche nur sehr kleine, mit Wasser erfüllte Intercellularen zwischen sich lassen. Diese Gewebepropfen nennt man Epitheme. Sie dienen aktiver Wasserausscheidung, sind demgemäß innere Hydathoden (vgl. S. 93). Vielfach sind über solchen Epithemen Wasserspalten (vgl. S. 90) angebracht. Die Blattspitze verschiedener monokotyle Wasserpflanzen weist ein Grübchen auf, in welches Tracheiden mit ihren Enden hineinragen. Diese Grübchen kommen durch Zerfall von Wasserspalten oder auch durch Zerstörung der Epidermis zustande. Sie werden unter Umständen durch die erhalten gebliebene Cuticula abgeschlossen. Diese Apikalöffnungen dienen ebenfalls der Wasserausscheidung⁽¹¹⁸⁾.

Gefäßbündelverlauf⁽¹¹⁹⁾. Die Gefäßbündel zeigen innerhalb des Pflanzenkörpers einen ganz bestimmten Verlauf. Ein anschauliches Bild dieses Verlaufs ist in manchen Fällen aus Mazerationspräparaten zu erlangen. Läßt man nämlich krautartige Pflanzenteile in Wasser längere Zeit liegen, so fault schließlich fast alles Grundgewebe, so daß man es entfernen kann, während die resistenteren Gefäßbündel zurückbleiben. Man stellt in solcher Weise sog. Skelette von Stengeln, Blättern, Früchten u. dgl. her.

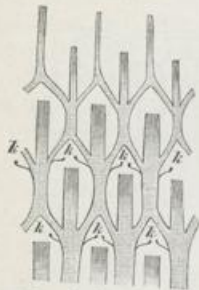


Fig. 133. Schematische Darstellung des Gefäßbündelverlaufs in einem jungen Zweige von *Juniperus nana*, auf der eben gelegten Zylinderfläche entworfen. Bei *k, k* die in die Achselprosse tretenden Gefäßbündel. (Nach GEYLER.)

sie verfolgen, ist das Bild des Gefäßbündelverlaufs ein anderes. Einen relativ einfachen Fall bieten uns die jungen Zweige des Zwergwacholders (*Juniperus nana*) Fig. 133. Ihre Blätter stehen in dreigliederigen, miteinander alternierenden Quirlen. Aus jedem Blatt tritt eine einsträngige Blattspur, somit ein einziges Gefäßbündel in den Stängel ein. Etwa in der Mitte des nächst unteren Internodiums gabelt sie sich in zwei Schenkel, die je rechts und links mit benachbarten Blattspuren verschmelzen. Das Bild dieses Verlaufs läßt sich am besten auf einer ebengelegten Zylinderfläche zur Darstellung bringen, wobei man sich den Stängel an der einen Seite der Länge nach aufgeschlitzt und dann flach ausgebreitet zu denken hat. So ist die Fig. 133 ausgeführt. In dieser Figur wurde auch der Anschluß der Gefäßbündel der Achselprosse an die Gefäßbündel des Muttersprosses (bei *k*) eingetragen. — Weniger einfach erscheint das Bild des in Fig. 134 dargestellten Gefäßbündelverlaufs in einem jungen Zweige der Eibe (*Taxus baccata*), ungeachtet auch dessen Blattspuren einsträngig sind. Jede Blattspur läßt sich hier frei durch zwölf Stengelglieder verfolgen, worauf sie mit einer anderen Blattspur verschmilzt. Zunächst läuft sie gerade abwärts durch vier Internodien, dann biegt sie seitlich aus, um einer eintretenden Blattspur Platz zu machen und sich hierauf mit ihr zu vereinigen. Durch die Stellung

der Blätter am Sproß wird naturgemäß der Eintrittsort ihrer Blattspuren bestimmt; demgemäß weist die Fig. 134, in Übereinstimmung mit der Blattstellung der *Taxus*-Sprosse, $\frac{5}{13}$ Divergenz für die eintretenden Blattspuren auf. Der weitere Verlauf der Blattspuren im Stengel ist von der Blattstellung unabhängig, so daß er bei der nämlichen Blattstellung sehr verschieden sein kann. — Ein Beispiel dreisträngiger Blattspuren sei durch einen jungen Zweig der italischen Waldrebe (*Clematis Viticella*) vorgeführt. Die Blattpaare an diesen Zweigen wechseln rechtwinklig ab. Die Medianstränge der Blattspuren (*ad*, *gk*, *nq*, *tc* Fig. 135) laufen durch ein Internodium, teilen sich im nächsten Knoten in zwei Schenkel und fügen diese den ihnen zugekehrten Lateralsträngen der Blattspuren des dortigen

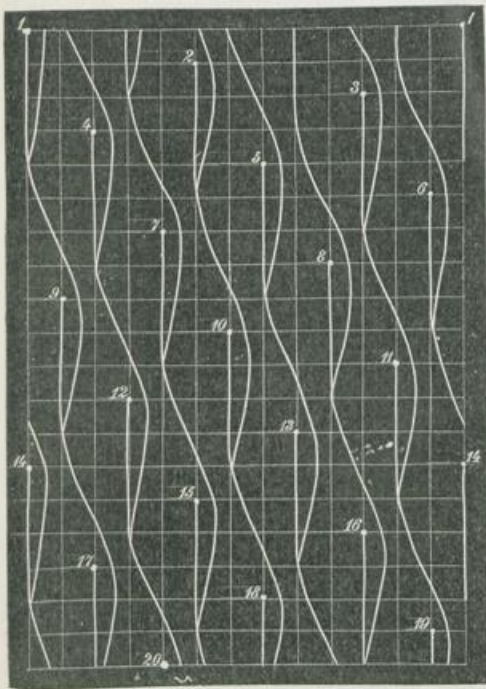


Fig. 134. Schematische Darstellung des Gefäßbündelverlaufs in einem jungen Zweige von *Taxus baccata*.

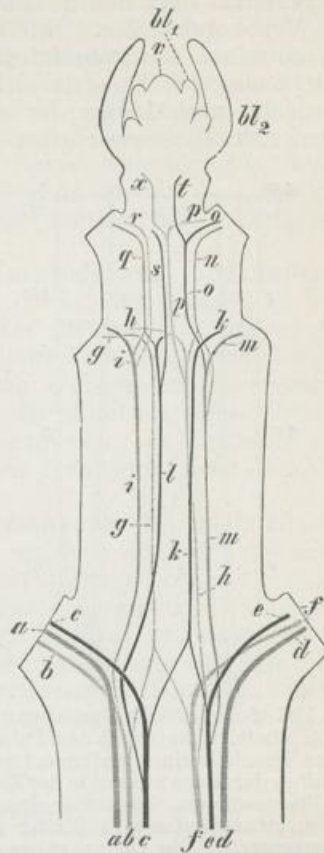


Fig. 135. *Clematis Viticella*. Zweigende durch Entfernung der Oberfläche und Einwirkung von Kalilauge durchsichtig gemacht, den Verlauf der Blattspuren zeigend. Die austretenden Enden der Stränge infolge leichten Druckes etwas verschoben. Die jungen Anlagen der beiden obersten Blattpaare *bl*¹ und *bl*² noch ohne Blattspuren, *v* Vegetationskegel. (Nach NÄGELI.)

Blattpaares an. Die zwei Lateralstränge jeder Blattspur (*bc*, *ef*, *hi*, *lm*, *op*, *rs*) sind ebenfalls durch ein Internodium frei abwärts zu verfolgen, biegen am nächsten Knoten zusammenneigend nach außen und legen sich den nämlichen Lateralsträngen wie die Schenkel des Medianstranges an.

Die Blattspuren der Achselsprosse pflegen bei den meisten Gymnospermen und Dikotyledonen zu zwei Strängen vereint in den Muttersproß einzutreten und an seine Blattspuren anzusetzen (Fig. 133 *k*).

Im allgemeinen ordnen sich bei den Gymnospermen und Dikotylen, wie uns bereits bekannt, die Blattspurstränge im Stengel zu einem Kreise an. Doch gibt es auch Dikotylen, bei denen die Gefäßbündel zwei (*Cucurbita*, *Phytolacca*, *Piper*) oder mehr (*Amarantus*, *Papaver*, *Thalictrum*) Kreise bilden. Der innere Kreis pflegt dann wenig regelmäßig zu sein.

Zerstreut über den ganzen Querschnitt fanden wir die Gefäßbündel bei den Monokotylen (Fig. 127). Diese zerstreute Anordnung beruht darauf, daß die einzelnen Blattspurstränge ungleich weit von der Oberfläche im Zentralzylinder des Stengels sich befinden. Veranlaßt wird dieses Verhalten durch das nach Anlage der einzelnen Procambiumstränge noch längere Zeit anhaltende Dickenwachstum des Vegetationskegels, wodurch die zunächst

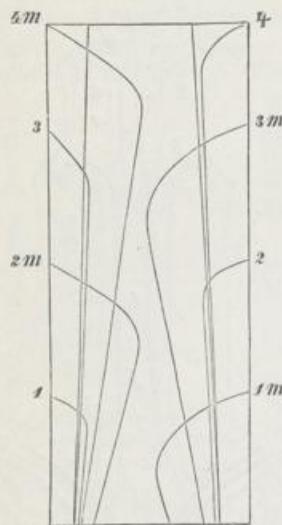


Fig. 136. Schematische Darstellung des Gefäßbündelverlaufs nach dem Palmentypus, innerhalb eines medianen Längsschnittes durch den Stengel in der Ebene der Blattmedianen. Zweizeilig alternierende, stengelumfassende Blätter sind vorausgesetzt. Die Zahlen geben die Aufeinanderfolge der Blätter an, *m* mediane Gefäßbündel. (Nach DE BARY.)

reichen Strängen in den Muttersproß ein, um im Bogen abwärts zu verlaufen und mit peripherischen Bündeln zu verschmelzen.

Außer den Blattspuren, deren Gefäßbündel den Blättern und dem Stengel gemeinsam zukommen, kann es aber auch stammeigene und blatt-eigene Gefäßbündel geben. Die ersteren sind solche, die nicht in die Blätter austreten, letztere solche, die gleich nach ihrem Eintritt aus dem Blatte in den Stengel sich dort mit stammeigenen Gefäßbündeln vereinigen. So laufen bei den Pteridophyten stammeigene Gefäßbündelstränge im Stengel fort, die aus den Blättern kommenden blatteigenen Gefäßbündelstränge setzen sich ihnen an.

In den Stengeln mancher Dikotylen (*Begonien*, *Aralien*) sind außer Blattspursträngen stammeigene Gefäßbündel vorhanden. Sie lassen sich innerhalb des von den Blattspursträngen gebildeten Ringes, im Mark verfolgen; in den Knoten sind sie mit den Blattspursträngen durch Seitenzweige verbunden.

peripherischen Procambiumstränge verschieden tief nach innen gelangen⁽¹²⁰⁾. Besonders ausgeprägt ist dieses Verhalten bei den Palmen, daher man den dadurch bedingten Gefäßbündelverlauf, als einen solchen, der dem Palmentypus folgt, bezeichnet. Jede Blattspur wird dann von zahlreichen Strängen gebildet, die aus einem stengelumfassenden Blattgrunde im ganzen Umkreise des Stengels in diesen eintreten. Das mediane Gefäßbündel dringt fast bis zur Mitte, die seitlich angrenzenden immer weniger tief in den Zentralzylinder ein. In ihrem Abwärtsverlauf nähern sich die Gefäßbündel langsam der Peripherie des Zentralzylinders, um dort mit anderen Gefäßbündeln zu verschmelzen. Die Zahl der Internodien, welche ein Gefäßbündel dabei durchläuft, ist verschieden, für die medianen Gefäßbündel besonders groß. Das Bild dieses Verlaufs soll uns der mediane Längsschnitt (Fig. 136) vorführen; das mediane Gefäßbündel (*m*) jeder Blattspur der zweizeilig alternierenden Blätter ist besonders hervorgehoben. — Auch die Blattspuren der Achselsprosse treten hier in zahl-

Im Zentralzylinder der Wurzeln laufen die radial angeordneten Vasal- und Cribralstränge in gerader Richtung nebeneinander fort. Die Vasal- und Cribralstränge der Seitenwurzeln gehen in die entsprechenden Stränge ihrer Ursprungswurzel über; jene von Adventivwurzeln finden ebenfalls an den gleichnamigen Gefäßbündelteilen von Wurzeln und Sprossen ihren Anschluß; so auch die Vasal- und Cribralstränge der Hauptwurzel einer phanerogamen Keimpflanze (S. 138) an den Blattspuren des Hypokotyls⁽¹²⁰⁾.

Dickenzunahme durch die eine Zeitlang andauernde Vermehrung des Urmeristems. Dieses Verhalten zeigen die Vegetationspunkte der stammbildenden Monokotylen (Palmen, Pandaneen, bestimmter Liliifloren). Dadurch erhalten diese Vegetationspunkte eine beträchtliche Dicke, und durch dieselbe Ursache wird bedingt, daß der junge Sproß, aus dem der Stamm hervorgehen soll, gleich mit bedeutendem Umfang in die Erscheinung tritt. Die Zellvermehrung dauert in einem Kegelmantel an, der in der Peripherie des Vegetationskegels liegt⁽¹²¹⁾.

Dickenzunahme durch andauernde Vergrößerung vorhandener Grundgewebszellen. Ein solcher Zuwachs kommt den Palmen zu und führt bei ihnen zur Bildung bis zu 1 m dicker Stämme, die sich in bestimmten Fällen nach oben zu verzweigen. Dieses Dickenwachstum beruht, wie EICHLER⁽¹²²⁾ zeigte, auf einem fortgesetzten Weiterwerden der Grundgewebszellen des Zentralzylinders, wobei auch die Sklerenchymfaserstränge, welche die Gefäßbündel an der Cribralseite begleiten, an Zellweite und Wandverdickung und daher auch an Mächtigkeit gewinnen. Neue Elemente werden dabei nicht gebildet.

Massenzunahme durch andauernde Vermehrung des vorhandenen Grundgewebes. Einen solchen Vorgang, bei welchem ohne Bildung neuer Meristeme eine bedeutende Volumenzunahme sich vollziehen kann, bieten uns vor allem die Früchte vieler Angiospermen. Durch fortgesetzte Zweiteilung werden die Zellen des Haut- und Grundgewebes in ihnen vermehrt, bleiben dabei dünnwandig oder erfahren eine bestimmte Verdickung und Ausgestaltung, wobei aus Anlagen von geringem Durchmesser schließlich Früchte von einer solchen Größe hervorgehen können, wie sie uns etwa in einem Kürbis entgegentreten.

B. Sekundäre Gewebe⁽¹²³⁾.

Wir wenden uns nunmehr zu den sekundären Geweben der Pflanzen. Sie werden nach beendigtem Längenwachstum durch Tätigkeit sowohl der primären Meristeme, wie der Folgemeristeme (vgl. S. 86), zu den primären Geweben der Pflanze hinzugefügt, beziehungsweise ersetzen diese. Sekundäre Gewebebildung trat in der phylogenetischen Entwicklung zuerst bei gewissen, jetzt nur aus fossilen Überresten bekannten Pteridophyten (Calamarien, Sigillarien, Lepidodendren auf), bei den Phanerogamen aber erst gelangte sie zur allgemeinen Verbreitung. Sie blieb auch bei diesen im wesentlichen auf die Stämme und Wurzeln eingeschränkt; nur in sehr geringem Maße stellte sie sich auch in den Blattgebilden ein.

Cambium⁽¹²⁴⁾. Die beim sekundären Zuwachs tätigen primären Meristeme und Folgemeristeme werden als Cambien zusammengefaßt. Ihre gemeinsamen Eigenschaften beruhen darauf, daß sie im meristematischen Zustande verharren, sich durch übereinstimmend gerichtete Scheidewände fortgesetzt teilen, und so Tochterzellen bilden, die in Reihen angeordnet sind. In entsprechender Weise teilt sich bereits das primäre Meristem in den Procambiumsträngen der kollateralen Gefäßbündel (S. 98),

welches demgemäß sich auch schon als Cambium bezeichnen ließe. Doch empfiehlt es sich, diese Benennung auf die den sekundären Zuwachs bewirkenden Meristeme einzuschränken. Letztere bilden für gewöhnlich neue Gewebeelemente nach zwei Seiten hin, es gibt aber auch Fälle, wo sie es nur einseitig tun. Meist kommt den Cambien eine dauernde Initialschicht zu, welche nach zwei Seiten, oder nach nur einer Seite, den angrenzenden Zellenzügen den Ursprung gibt. An vielen einseitigen Cambien werden aber nach J. C. SCHOUTE die ursprünglichen Initialzellen in der Gewebebildung aufgebraucht und neue Initialzellen aus dem angrenzenden Grundgewebe dem Cambium hinzugefügt.

Dickenwachstum der gymnospermen und dikotylen Stämme. In den offenen Gefäßbündeln der Gymnospermen und der in die Dicke wachsenden Dikotylen schließt die sekundäre Gewebebildung fast unmittelbar an die Fertigstellung der primären Gewebe an. Das zwischen dem

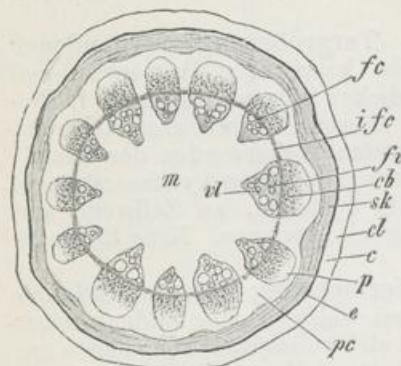


Fig. 137. Querschnitt durch einen 5 mm dicken Zweig von *Aristolochia Siphon*. *m* Mark, *fv* Gefäßbündel und zwar *el* Gefäßteil, *cb* Siebteil, *fc* Fascicularcambium, *ifc* Interfascicularcambium, *p* Cribralparenchym an der Außenseite des Siebteils, *pc* Pericykel, *sk* Sklerenchymring, *e* Stärkescheide, *c* primäre Rinde, in dieser *cl* Kollenchym. Vgr. 9.

beginnt sich tangential zu teilen. Das so erzeugte interfasciculare Cambium, welches somit ein Folgemeristem (S. 86) darstellt, ergänzt die innerhalb der Gefäßbündel gelegenen fascicularen Cambien, welche primäre Meristeme (S. 86) sind, zu einem vollen Ringe. Die Fig. 137 und 138 stellen diesen Vorgang für *Aristolochia Siphon*, wo er sich in möglichst einfacher und übersichtlicher Weise vollzieht, dar. Die Fig. 138 gibt bei stärkerer Vergrößerung ein einziges Gefäßbündel aus der Fig. 137, nebst dem angrenzenden Interfascicularcambium, wieder. In diesem Gefäßbündel (Fig. 138) ist die Cambiumtätigkeit bereits in vollem Gange. Im besonderen fallen die in Ausbildung begriffenen Gefäße (*m''*) im Vasalteile auf. Innerhalb der primären Markstrahlen sind die Grundgewebszellen, die dem Interfascicularcambium den Ursprung gaben, noch deutlich zu erkennen. — Alles durch die Cambiumtätigkeit nach innen erzeugte Gewebe wird als sekundäres Holz oder als Holzkörper, alles nach außen erzeugte Gewebe als sekundärer Bast oder als Bastzone bezeichnet. Das sekundäre Holz stellt mit dem primären Gefäß- oder Holzteil zusammen das Holz, der sekundäre Bast mit dem primären Sieb- oder Bastteil den Bast dar. Im Gegensatz

zum Vasalteile und Cribralteile der Gefäßbündel verbliebene primäre Meristem setzt seine Tätigkeit als Cambium fort. Es zeichnet sich durch den Plasmareichtum seiner Zellen aus. Die Teilungen erfolgen durch tangential gerichtete Scheidewände; von Zeit zu Zeit werden auch einzelne Initialzellen durch eine radiale Wand verdoppelt. Meist pflegen die von der Initialenschicht nach innen und nach außen abgegebenen Zellen noch eine Teilung oder einige Teilungen zu erfahren, bevor sie zu Gewebeelementen der Gefäßteile oder der Siebteile werden.

Die Gefäßbündel der zum Dickenwachstum befähigten Gymnospermen und Dikotylen sind meist im Kreise angeordnet. Nachdem die Cambiumtätigkeit innerhalb der Gefäßbündel begonnen hat, stellt sie sich auch in den sie trennenden primären Markstrahlen ein. Eine Zone von Grundgewebszellen, welche an das Cambium der Gefäßbündel anschließt,

zu der primären Rinde (S. 100) lassen sich alle durch die Tätigkeit des Cambiums nach außen erzeugten Gewebe als sekundäre Rinde zusammenfassen. Die Vasalteile innerhalb des Holzkörpers bilden die Holzstränge, die Siebteile innerhalb der Bastzone die Baststränge. — Durch die Tätigkeit des Interfascicularcambiums werden die primären Markstrahlen dauernd auf der Holz- und Bastseite verlängert. Bei zunehmender Breite

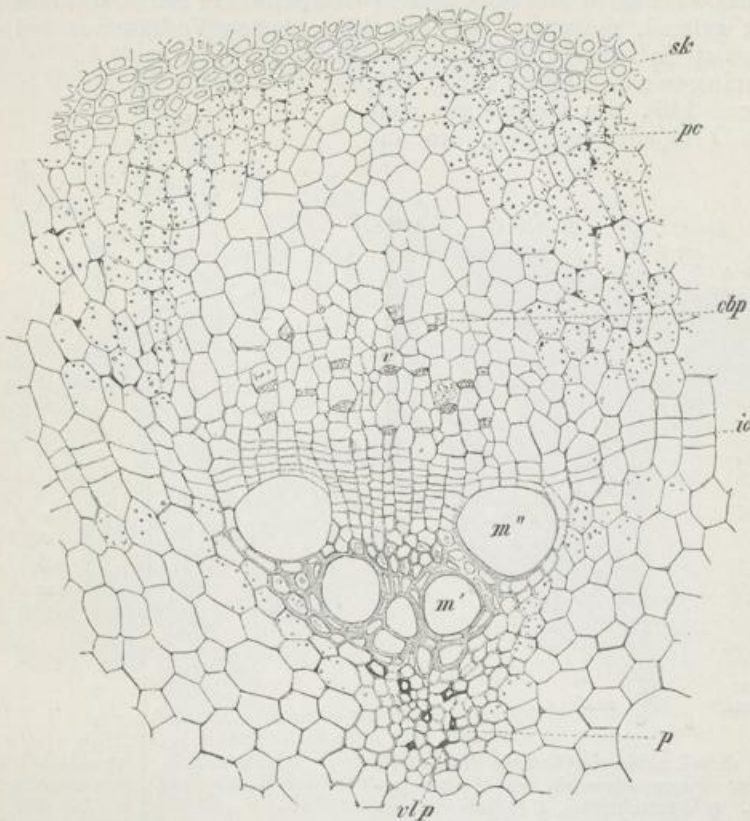


Fig. 138. Querschnitt durch einen Zweig von *Aristolochia Siphon*, im ersten Jahre seiner Entwicklung, ein Gefäßbündel nach begonnener Cambiumtätigkeit zeigend. *p* Vasalparenchym, an dem Innenrande des Vasalteils *vlp* Vasalprimanen, *m'* und *m''* behöft getüpfelte Gefäße, *ic* Interfascicularcambium, sich aus dem Fascicularcambium fortsetzend, *v* Siebröhren, *cbp* Cribralprimanen, *pc* Gewebe des Pericykels, *sk* innerer Teil des Ringes aus Sklerenchymfasern. Vergr. 130.

der Holz- und Baststränge beginnen auch einzelne Streifen des Fascicularcambiums Markstrahlgewebe zu erzeugen. So werden die sekundären Markstrahlen gebildet, die blind in den Holz- und Baststrängen endigen und um so weniger tief in beide hineinreichen, je später ihre Anlage erfolgte. Die primären Markstrahlen werden auch vielfach als große, die sekundären als kleine unterschieden, statt Markstrahlen wird auch die Bezeichnung Querparenchym gebraucht. Das Gewebe aller dieser Markstrahlen ist in der Tat fast durchweg parenchymatisch. Die von der Initialschicht des Cambiums abgegebenen Zellen, die einen Markstrahl verlängern, erfahren vornehmlich nur quere Teilungen, um die Markstrahlzellen zu erzeugen.

Die Cambiumzellen pflegen die Gestalt rechteckiger Prismen, deren radialer Querdurchmesser kleiner als der tangentiale ist, aufzuweisen. Die Enden dieser Prismen sind meist einseitig, abwechselnd nach rechts und links zugeshärft. Die Länge der Cambiumzellen ist je nach der Pflanzenart verschieden. Diejenigen Cambiumzellen, welche Markstrahlzellen bilden, stehen den anderen entsprechend an Länge nach. — Die primären in das Mark hineinragenden Vasteile der Holzkörper werden in ihrer Gesamtheit als Markkrone bezeichnet.

In der kambialen Tätigkeit unserer Holzgewächse macht sich eine Periodizität geltend, die meist durch die klimatischen Verhältnisse bedingt ist. Sie kommt in der Ausbildung von Jahresringen zum Ausdruck (Fig. 139, 141 A und 146). Im allgemeinen werden im Frühjahr zur Zeit, wo die

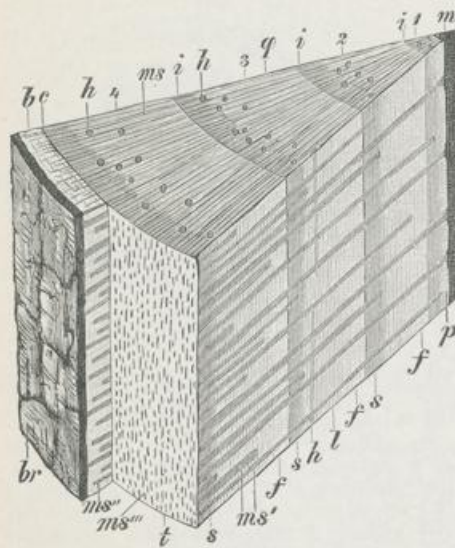


Fig. 139. Stück eines vierjährigen Stammteils der Kiefer (*Pinus silvestris*) im Winter geschnitten. *q* Querschnitts-, *t* radiale Längsschnitts-, *t* tangential Längsschnitts-Ansicht, *f* Frühholz, *s* Spätholz, *m* Mark, *p* primäre Vasteile, 1, 2, 3 und 4 die vier aufeinander folgenden Jahresringe des Holzkörpers, *i* Jahresgrenze, *ms* Markstrahlen in der Querschnittsansicht des Holzkörpers, *ms'* in der Längsschnittsansicht des Holzkörpers, *ms''* innerhalb der Bastzone, *ms'''* in der tangentialen Längsschnittsansicht, *c* Cambiumring, *b* Bastzone, *h* Harzgänge, *br* die außerhalb der ersten Peridermlage befindliche, der primären Rinde entsprechende Borke. Vergr. 6.

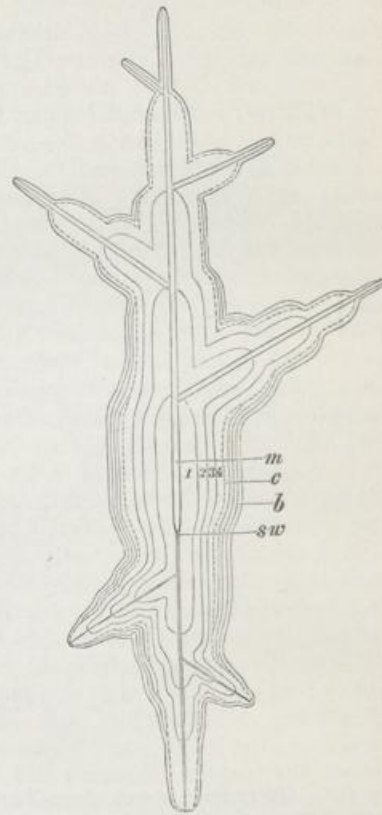


Fig. 140. Schematische Darstellung des sekundären Dickenzuwachses an einem gymnospermen oder dikotylen Stamm und seiner Wurzel. *c* Cambium (punktierte Linie), *m* Mark, 1, 2, 3, 4 aufeinander folgende Jahresringe des Holzes, *b* des Bastes, *sw* Grenze zwischen Hauptstamm und Pfahlwurzel.

neuen Triebe sich entwickeln, weitere tracheale Elemente im Holzkörper ausgebildet als in der Folgezeit (Fig. 141 A, 148). So entsteht ein weitemgeres (Fig. 141 f) Frühholz (Frühlingsholz), welches vor allem die Wasserzufuhr nach den Verbrauchsorten fördert, und späterhin ein englumiges (Fig. 141 As) Spätholz (Herbstholz), welches vor allem die Festigkeit

des Stammes erhöht. In der zweiten Augushälfte hört die Holzbildung in unseren Breiten auf und beginnt dann von neuem im nächsten Frühjahr mit weitlumigeren Elementen. Demgemäß zeichnet sich da eine Grenze (i Fig. 139), die dem bloßen Auge schon kenntlich ist und die zur Feststellung des Alters des betreffenden Pflanzenteils dienen kann. — Unter Umständen kann freilich die Zahl der Ringe im Holz die Zahl der Altersjahre überschreiten, wenn nämlich ein Austreiben der für die nächstjährige Vegetationsperiode bestimmten Knospen, der sog. Johannistriebe, wie sie unseren Eichen zukommen, um die Johanniszeit erfolgt, oder wenn Blattverlust durch Raupenfraß und die dadurch bedingte Bildung neuer Triebe, eine Wiederholung der Frühholzbildung veranlaßt. In den Holzgewächsen der Tropen fehlen die Jahresringe oft gänzlich, so beispielsweise,

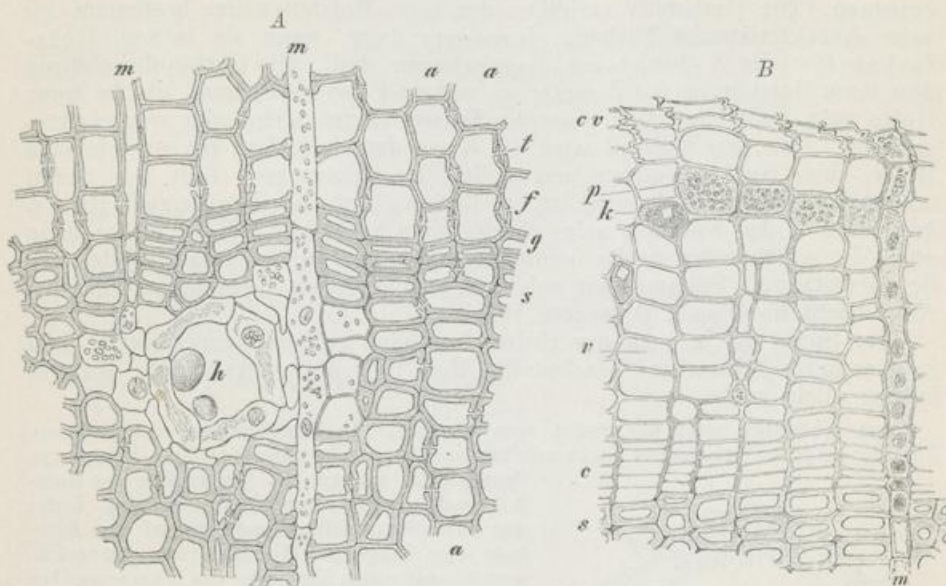


Fig. 141. A Partie eines Querschnittes durch das Kiefernholz an einer Jahresgrenze. f Frühholz, s Spätholz, t Hoftüpfel, a eine sich nach außen verdoppelnde Tracheidenreihe, h Harzgang, m Markstrahlen. Vergr. 240. B Querschnitt aus dem Stamme der Kiefer, den äußeren Rand des Holzkörpers, das Cambium und den angrenzenden Bast in sich fassend. s Spätholz, c Cambium, v Siebröhren, p Bastparenchym, k kristallführendes Bastparenchym, cv außer Funktion gesetzte Siebröhren, m Markstrahlen. Vergr. 240.

im Gegensatz zu unseren Nadelhölzern, bei den tropischen Nadelhölzern der Gattung *Araucaria*. Die Bildung von Jahresringen kann aber auch bei tropischen Holzgewächsen durch Unterbrechung der Vegetation während der Trockenperiode und eine auf diese folgende Triebbildung bedingt werden.

Nach vollendeter Holzbildung fährt das Cambium in unseren Breiten noch fort, so lange als es die Witterungsverhältnisse gestatten, Bast zu erzeugen. Es werden aber nach der Bastseite zu im allgemeinen weit weniger Elemente als nach der Holzseite gebildet. — Je höher aus einem gymnospermen oder dikotylen Stamm Querschnitte ausgeführt werden, um so geringer wird die Zahl der Jahresringe. Das folgt naturgemäß aus dem Scheitelwachstum der Stammteile. Je älter die Jahresringe, um so früher keilen sie sich scheitelwärts aus, so, wie es aus dem beigefügten Schema Fig. 140 zu ersehen ist. In ähnlicher Weise hören auch ältere Bastlagen

nach dem Scheitel zu auf. Sowohl im Holz wie im Bast pflegt die Größe der Elemente bis zu einem gewissen Alter der Holzgewächse zuzunehmen.

Der Holzkörper der Bäume kann dauernd bis an das Mark hin seine lebenden Elemente in größerer oder geringerer Vollständigkeit behalten. Solche Holzgewächse heißen Splinthölzer. Die Rotbuche gehört zu ihnen. In anderen Holzkörpern, den Kernhölzern, sterben die lebenden Elemente nach einer bestimmten Lebensdauer ab, so daß in einiger Entfernung vom Cambium nur noch tote Elemente zu finden sind. Vor dem Absterben pflegen die lebenden Zellen verschiedene organische Stoffe, besonders Gerbstoffe, die in die Membranen der umgebenden Elemente eindringen, außerdem Schutz- oder Kerngummi, das ihre Hohlräume zum Teil verstopft, zu erzeugen. Die Gerbstoffe verleihen den toten Holzteilen eine bestimmte, oft sehr charakteristische Färbung, besonders dann, wenn sie in sog. Holzfarbstoffe oder Xylochrome übergegangen sind. Die Gerbstoffe schützen den toten Holzkörper vor Zersetzung, während das Kerngummi die im toten Holze stets außer Funktion gesetzten Wasserbahnen mehr oder weniger verschließt. Der tote Holzteil wird als Kern dem lebenden, ihn umgebenden Holze, dem Splint, gegenübergestellt. Im allgemeinen fällt der Splint unmittelbar schon durch seine hellere Färbung auf, es gibt aber auch Hölzer, bei welchen das Kernholz seine Farbe nicht verändert. Meist fehlen dann auch die schützenden Stoffe in diesem Kernholz, und es unterliegt leichter der Zersetzung. Stämme mit solchem ungeschützten Kernholz werden im Alter leicht hohl, so z. B. unsere Weiden.

Der Splint ist je nach der Holzart auf eine größere oder kleinere Zahl letzterzeugter Jahresringe beschränkt; ihm fällt die Aufgabe der Wasserleitung allein zu.

Am schärfsten setzt der Splint vom Kernholz ab, wo letzteres eine dunklere Färbung zeigt, so bei unserer Eiche mit braunem Kern oder beim Ebenholz (*Diospyros*), dessen Kern schwarz ist. Je dunkler das Kernholz, um so dauerhafter pflegt es zu sein. Unter den Farbhölzern fallen besonders auf: das Blauholz oder Campeche (*Haematoxylon campechianum* L.) mit rotem Kern, der das Hämatoxylin liefert; das rote Sandelholz (*Pterocarpus santalinus* L. fil.), aus dessen dunkelrotem Kern das Santalin, das Fernambukholz, Rotholz (*Caesalpinia echinata* Lam. und *brasiliensis* L.), aus dessen rotem Holz das Brasilin, endlich das Gelbholz (*Maclura aurantiaca* Nutt.), aus dessen gelbem Kern das Morin gewonnen wird. — Auch anorganische Stoffe können in den Kernhölzern abgelagert sein, bei *Ulmus campestris* und *Fagus silvatica* kohlensaurer Kalk, und zwar hauptsächlich in den Gefäßen; in den Gefäßen des Teakholzes (*Tectona grandis*) amorphe Kieselsäure. — Zu der Verstopfung der Wasserbahnen im Kernholz tragen nicht selten auch Thyllen bei (Fig. 142). Es sind das blasenförmige Ausstülpungen, welche während der Verkernung die den Gefäßen angrenzenden lebenden Zellen in erstere hineintreiben. Die Thyllenbildung geht von den Schließhäuten der Tüpfel aus, die in den Gefäßraum vorgewölbt werden und dort zu immer größeren, blasenförmigen Gebilden heran-

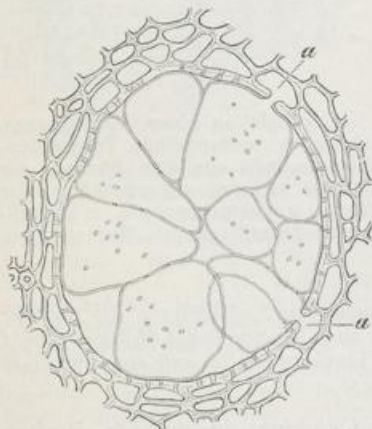


Fig. 142. Ein mit Thyllen erfülltes Gefäß, nebst den angrenzenden Elementen aus dem Kernholz der Robinie (*Robinia Pseudacacia*) im Querschnitt. Bei *a* und *a* ist der Zusammenhang der Thyllen mit ihren Ursprungszellen zu sehen. Vergr. 300.

wachsen. Diese Blasen treffen aufeinander und füllen schließlich mehr oder weniger vollständig den Gefäßraum aus. — Die Schließhäute der Hoftüpfel sind im Kernholze

einseitig vorgewölbt, einer Tüpfelmündung mit ihrem Torus angedrückt und verschließen so die Tüpfel. — Harz dringt nach H. MAYR⁽¹²⁵⁾ in die Membranen der Holzzellen unter normalen Verhältnissen nicht ein, wohl aber verkiet das Holz unserer Nadelhölzer durch Imprägnierung der Zellwänden mit Harz dann, wenn es von Wunden aus, oder infolge anderweitiger Ursachen, austrocknet. Im Kernholze der mit Harzgängen versehenen Koniferen werden diese Harzgänge durch Thyllen verstopft.

Elemente des sekundären Zuwachses in Holz. Diese sind verschieden, je nachdem es sich um gymnosperme oder dikotyle Holzgewächse handelt. Bei den Gymnospermen werden in den Holzsträngen fast nur Tracheiden erzeugt (Fig. 141 A). Sie besitzen behöftete Tüpfel und zwar meist nur auf ihren radialen Wänden. Die Frühtracheiden (*f*) sind weitleumiger als

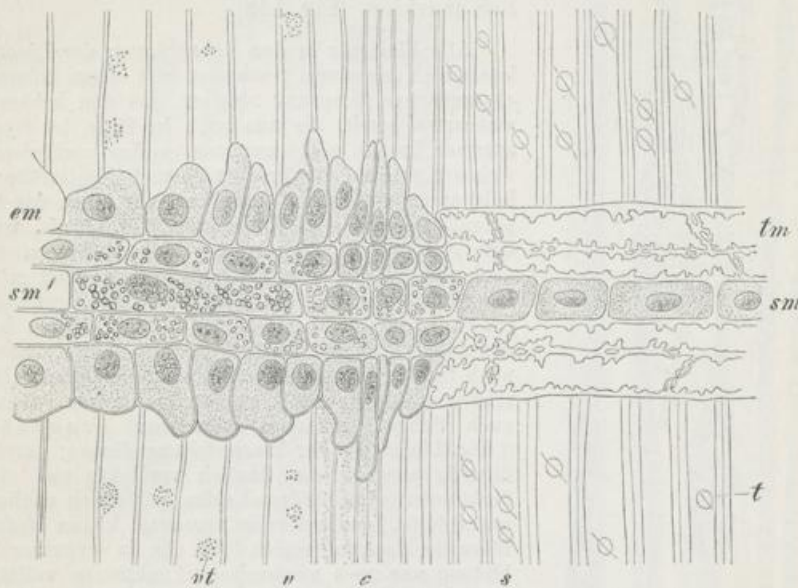


Fig. 143. Radialer Längsschnitt durch den Kiefernstamm, den Außenrand des Holzkörpers, das Cambium und den anschließenden Bast, sowie einen Markstrahl in sich fassend. *s* Spätracheiden, *t* Hoftüpfel, *c* Cambium, *v* Siebröhren, *et* Siebtüpfel, *tm* tracheidale Markstrahlzellen, *sm* stärkeführende Markstrahlzellen im Holzkörper, *sm'* im Bastkörper, *em* eiweißführende Markstrahlzellen. Vergr. 240.

die Spätracheiden (*s*). Außer Tracheiden wird Holzparenchym in den Holzsträngen, doch stets nur in sehr beschränktem Maße, gebildet und bei bestimmten Abietineen Harzgänge (Fig. 141 *h*) in dieses Holzparenchym eingeschaltet.

Die Gnetaceen ausgenommen, gehen den Gymnospermen im sekundären Zuwachs, ebenso wie in den primären Vasalteilen, echte Gefäße ab. Die vom Cambium aus erzeugten Tracheiden bilden im Holzkörper radiale Reihen, die von Zeit zu Zeit, durch Einschaltung einer radialen Wand im Cambium, verdoppelt werden (Fig. 141 *Aa*). Die Tracheiden sind wesentlich länger als die Cambiumzellen, aus denen sie hervorgehen, oft bis über 1 mm lang. Diese größere Länge erreichen sie durch nachträgliches Wachstum, wobei sie sich mit ihren fortwachsenden Enden radial zwischen einander schieben. Bei Bildung von Holzparenchym gehen die Cambiumzellen quere Teilungen ein. In den holzparenchymatischen Zellenzügen der Kiefern, Fichten und Lärchen werden (S. 84) schizogene Harzgänge (Fig. 141 *Ah*) angelegt. Bei den anderen Koniferen ist die Bildung des Holzparenchyms auf einfache Zellreihen beschränkt, deren Zellräume sich weiterhin mit Harz füllen.

faserförmig gestaltet. Dieselbe Art der Entwicklung, bei bedeutenderer Streckung und stärkerer Wandverdickung, kommt der Holzfaser (Libriformfaser) zu (*h*). Sie erhält zugleich spaltenförmig verengte, links aufsteigende kleine Tüpfel. Bei extremer Ausbildung (*h*) büßt die Holzfaser ihren lebendigen Inhalt vollständig ein, sie führt alsdann Luft und dient nur der mechanischen Festigung des Pflanzenkörpers. Die Holzfaser kann aber auch ihren lebenden Inhalt behalten. Unter Umständen stellt sich relativ spät noch eine Zellteilung in der Holzfaser ein und führt zur Bildung einer gefächerten Holzfaser (*gh*). Die so erzeugte Querwand bleibt dünn und fällt um so mehr gegen die stärker verdickten Seitenwände auf. — Während die Aufgabe der trachealen Gewebeart in der Wasserleitung liegt, fällt der holzparenchymatischen Gewebeart die Leitung und Aufspeicherung der Assimilate, vor allem der Kohlehydrate, beziehungsweise auch die

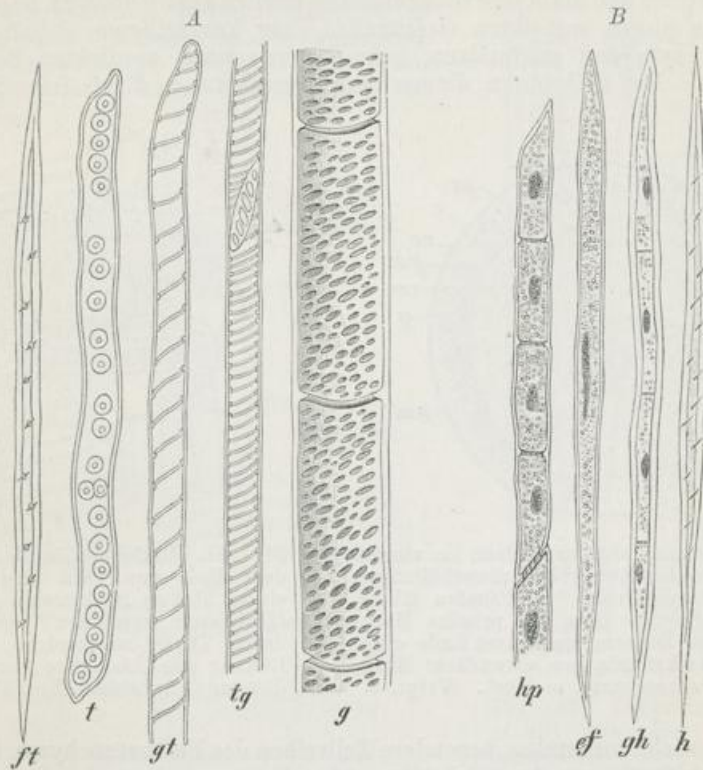


Fig. 145. A Elemente der trachealen Gewebeart in schematischer Darstellung. B Elemente der holzparenchymatischen Gewebeart in schematischer Darstellung. Erklärung im Text.

Aufnahme der Nebenprodukte des Stoffwechsels, zu. Beide Gewebearten tragen zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit des Pflanzenkörpers bei und liefern bei extremer Ausbildung solche Elemente wie die Fasertracheiden einerseits und die inhaltsleeren Holzfasernden andererseits, die nur noch mechanischen Leistungen obliegen.

Aus den Elementen der trachealen und holzparenchymatischen Gewebeart werden die Holzstränge der dikotylen Gewächse aufgebaut, wobei meist nur ein Teil dieser Elemente in jedem Einzelfalle vertreten ist.

Unter den Dikotylen haben nur die zu den Magnoliaceen gehörenden Vertreter der Gattung *Drimys*, sowie zwei Gattungen der den Magnoliaceen nah verwandten *Trochodendraceen*, ausschließlich aus Tracheiden aufgebaute Holzstränge aufzuweisen. Sie sind dadurch in ihrem Bau auffallend den Nadelhölzern ähnlich. Bei zahlreichen Leguminosen, bei Weiden, Pappeln, *Ficus*-Arten ist die tracheale Gewebeart andererseits nur durch Gefäße in den Holzsträngen vertreten. Die Gefäße allein haben dort somit

das Wasser zu leiten, im übrigen weisen die Holzstränge noch Holzparenchym und der Hauptmasse nach Holzfasern auf. Schlingende Holzgewächse (Lianen) sind durch sehr weite Gefäße ausgezeichnet.

Die lebenden Elemente der Holzstränge zeigen in ihrer Verteilung stets bestimmte Beziehungen zu den Wasserbahnen. Sie begleiten dieselben, hüllen sie auch mehr oder weniger vollständig ein. Ein Teil dieser lebenden Zellen steht durch einseitig behöftete Tüpfel mit den Wasserbahnen in Verbindung. Solche Tüpfel sind ohne Hof in der lebenden Zelle, mit Hof in dem trachealen Element, auch im Gegensatz zu den echten, beiderseits behöfteten Hoftüpfeln ohne Torus auf der Schließhaut.

Die Elemente des sekundären Zuwachses im Bast. Die Baststränge der gymnospermen und dikotylen Holzgewächse werden aus Siebröhren, beziehungsweise aus diesen mit ihren Geleitzellen, aus kurzzelligem, inhaltsreichem Bastparenchym und englumigen, sehr langen, stark verdickten Bastfasern aufgebaut. Die Siebröhren dienen der Eiweißleitung, die Geleitzellen und,

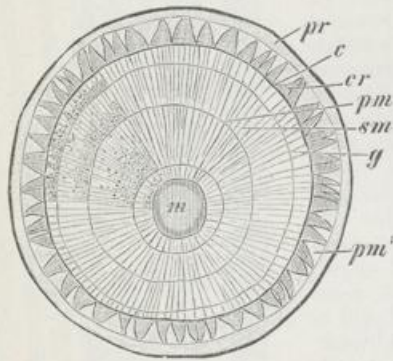


Fig. 146. Querschnitt durch einen im vierten Jahre stehenden Zweig der rüsterblättrigen Linde (*Tilia ulmifolia*). *pr* Primäre Rinde, *c* Cambiumring, *cr* Bast, *pm* primäre Markstrahlen, *pm'* äußeres erweitertes Ende eines primären Markstrahls, *sm* sekundärer Markstrahl, *g* Jahresgrenze, *m* Mark. Vergr. 6.

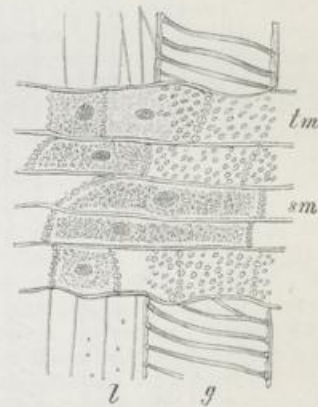


Fig. 147. Radialer Längsschnitt aus dem Holz von *Tilia ulmifolia* mit einem kleinen Markstrahl. *g* Gefäß, *l* Holzfasern, *tm* mit den Wasserbahnen durch Tüpfel verbundene, *sm* der Leitung der Assimilate vornehmlich dienende Markstrahlzellen. Vergr. 240.

wo solche nicht vorhanden, besondere Zellreihen des Bastparenchyms, der Entnahme der Stoffe aus den Siebröhren; das Bastparenchym der Leitung und Speicherung der Kohlehydrate, auch der Aufnahme bestimmter Nebenprodukte des Stoffwechsels, besonders der Gerbstoffe und des Calciumoxalats.

Auch alle Elemente der Baststränge lassen sich von zwei Gewebearten ableiten, der cribralen und der bastparenchymatischen. Das cribrale Gewebe wird durch die Siebröhren, beziehungsweise diese und ihre Geleitzellen vertreten, das parenchymatische durch das Bastparenchym und die Bastfasern, deren extreme Formen an das Bastparenchym durch Zwischenformen sich anknüpfen lassen.

Bei den Gymnospermen bildet das Cambium (*c* Fig. 141 *B*) für den Bast Siebröhren (*v*) ohne Geleitzellen, Bastparenchym (*p* und *k*) und in bestimmten Fällen auch Bastfasern. Diese Elemente pflegen in Bändern abzuwechseln. — Die Funktion der fehlenden Geleitzellen wird bei bestimmten Gattungen der Koniferen (Araucarien, Taxineen, Cupressineen) durch an die Siebröhren anschließende Längsreihen von Bastparenchymzellen vollzogen. — In einiger Entfernung vom Cambium erhalten die Siebplatten der Siebröhren Callusbelege. In der auf ihre Bildung folgenden

Vegetationsperiode entleeren sich die Siebröhren und werden zerdrückt (Fig. 141 *Bev.*). Bei solchen Koniferen, die eiweißhaltige Bastparenchymzellen führen, erleiden diese dasselbe Schicksal wie die angrenzenden Siebröhren. Die stärkehaltigen Bastparenchymzellen hingegen verharren jahrelang am Leben und schwellen sogar an, wenn die Siebröhren zerdrückt werden.

In den Baststrängen der dikotylen Holzgewächse (Fig. 150) sind die Siebröhren (*v*) mit Geleitzellen (*e*) versehen, außerdem werden dort Bastparenchym (*p*), Bastfasern (*l*) und die zwischen Bastparenchym und Bastfasern vorhandenen Übergangsformen gebildet.

Wie die Holzfasern in den Holzsträngen, so können auch die Bastfasern in den Baststrängen in unverdickter Form als Ersatzbastfasern, mit oder ohne lebenden Inhalt, mit Stärke angefüllt, endlich auch gefächert, auftreten.

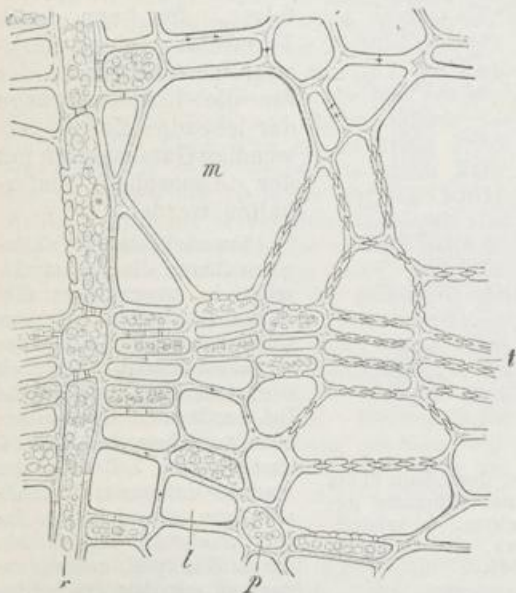


Fig. 148. Teil eines Querschnittes durch das Holz von *Tilia ulmifolia* an einer Jahresgrenze. *m* Weites Tüpfelgefäß, *t* Tracheiden, *l* Holzfaser, *p* Holzparenchym, *r* Markstrahl. Vergr. 540.

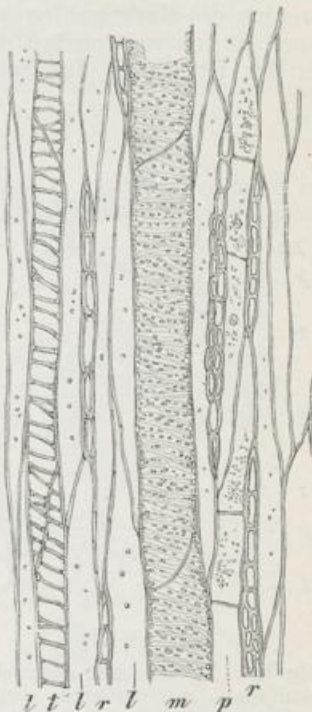


Fig. 149. Tangentialer Längsschnitt aus dem Holz von *Tilia ulmifolia*. *m* Tüpfelgefäß, *t* mit Schraubenbändern versehene Tracheiden, *p* Holzparenchym, *l* Holzfaser, *r* Markstrahlen. Vergr. 160.

Oft zeigen auch bei den Dikotylen die Elemente der Baststränge eine große Regelmäßigkeit in ihrer Aufeinanderfolge; so wechseln miteinander bei der Linde (Fig. 150) Siebröhren (*v*) nebst Geleitzellen (*e*), stärkeführendes Bastparenchym (*p*), kristallführendes Bastparenchym (*k*), Bastfasern (*l*), flache Bastparenchymzellen (*p*) und endlich wiederum Siebröhren in Bändern ab. Wie bei den Gymnospermen haben auch bei den Dikotylen die Siebröhren eine kurze Funktionszeit, werden hierauf entleert und zerdrückt. Dasselbe Schicksal trifft die Schwesterzellen der Siebröhrenglieder, die Geleitzellen, während das stärkeführende Bastparenchym viele Jahre erhalten bleibt. Die Verschiedenheit im Aussehen der Baststränge bei den dikotylen Holzgewächsen wird vornehmlich durch die größere oder geringere Weite der Siebröhren, das Vorhandensein oder das Fehlen von Bastfasern, endlich durch die Art der Verteilung dieser Elemente bedingt.

Markstrahlen. Die Markstrahlen der gymnospermen (Fig. 139 *ms*) und dikotylen (Fig. 146 *pm* und *sm*) Holzgewächse sind bandförmige, radial verlaufende Gewebestreifen, die vorwiegend oder ausschließlich von parenchymatischen Elementen gebildet werden. Sie haben die Aufgabe, die in den Blättern erzeugten und im Bast abwärts geleiteten Stoffe in radialen Bahnen nach innen, Wasser aus dem Holzkörper nach außen zu führen. Durch die lebenden Elemente der Markstrahlen werden die lebenden Elemente der Baststränge mit denjenigen der Holzstränge verbunden, und so das gesamte lebende Gewebe des Stammes zu einer Einheit erhoben. — Außerdem werden die Markstrahlen an ihren Seiten, oder wenn sie mehrschichtig sind, auch im Innern, von luftführenden Intercellularen begleitet. Diese beginnen in der Peripherie des Stammes, durchsetzen das Cambium und kommunizieren mit allen Intercellularen, welche den lebenden Elementen in den Holz- und Baststrängen folgen. So kann durch Vermittlung der Markstrahlintercellularen der für die Lebensvorgänge der lebenden Zellen notwendige Gasaustausch mit der Atmosphäre unterhalten werden.

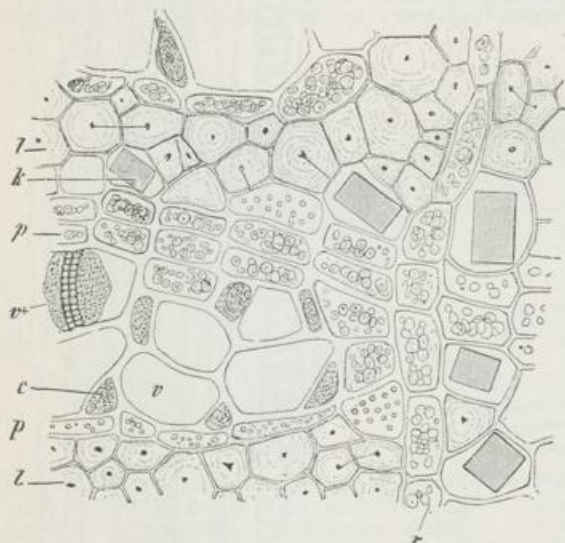


Fig. 150. Durchschnitt durch den Bast der Linde (*Tilia ulmifolia*). *v* Siebröhren, bei *v** eine Siebplatte getroffen, *c* Geleitzelle, *p* Bastparenchym, *k* kristallführende Zellen des Bastparenchyms, *l* Bastfasern, *r* Markstrahl. Vergr. 540.

verbunden (tm Fig. 143 und 144). Sie sind bestimmt, den Wasseraustausch in radialer Richtung unter den Tracheiden zu erleichtern. Bei den anderen Nadelhölzern, welchen solche tracheidalen Elemente in den Markstrahlen fehlen, sind tangentielle Hoftüpfel in den Tracheiden des Spätholzes vorhanden, wodurch eine radiale Bewegung des Wassers gefördert wird. Die lebenden Zellen der Markstrahlen des Holzkörpers zeigen dieselben Beziehungen zu den Wasserbahnen wie das Holzparenchym und hängen wie jenes durch einseitig behöft Tüpfel mit ihnen zusammen. Sie nehmen Wasser aus den Wasserbahnen auf und geben es nach Bedarf an andere lebende Zellen ab; andererseits pressen sie im Frühjahr, zur Zeit der Knospenentfaltung, Assimilate, vor allem Glukosen und geringe Mengen von Albuminaten in die Wasserbahnen ein, damit diese Stoffe möglichst rasch nach den Verbrauchsarten gelangen. Demgemäß ist während des Winters und im Beginn des Frühjahrs Zucker und Eiweiß in den trachealen Elementen nachzuweisen⁽¹²⁶⁾ und sind diese Stoffe auch in dem Blutungssaft enthalten, den man im Frühjahr durch Bohrlöcher aus Birken, Ahorn-Arten, Hainbuchen und anderen Bäumen gewinnen kann. Bei den Dikotylen sind es meist nur bestimmte Zellreihen des Markstrahls im Holzkörper, deren Elemente mit den Wasserbahnen sich inniger verbunden zeigen. Diese Zellreihen nehmen für gewöhnlich die Ränder des Markstrahls ein und

Innerhalb des Holzkörpers führen die Markstrahlzellen im wesentlichen dieselben Inhaltsstoffe wie das Holzparenchym. Es sind das vor allem Stärke, doch auch Gerbstoffe, Harz und Kristalle. Bei bestimmten Gymnospermen, vor allem den Kiefern, sind einzelne Zellreihen der Markstrahlen, meist die randständigen, ohne lebenden Inhalt tracheidial ausgebildet, durch Hoftüpfel untereinander und mit den Tracheiden

sind höher; man hat sie daher auch als stehende Markstrahlzellen bezeichnet. Die mittleren Zellreihen des Markstrahls sind entsprechend niedriger, gestreckter, ohne besondere Verbindung mit den Wasserbahnen, vornehmlich auf Leitung und Speicherung der Assimilate eingerichtet; sie stellen die sog. liegenden Markstrahlzellen dar⁽¹²⁷⁾. — Innerhalb der Bastzone sind die Markstrahlen bei den Dikotylen einfacher gebaut als im Holzkörper. Die Aufgabe der Markstrahlzellen in der Bastzone, die innerhalb der Baststränge abwärts geleiteten Stoffe aufzunehmen, zeigt sich durch die Tüpfel an, die nicht nur die Zellreihen des Markstrahls mit dem Bastparenchym, sondern bei den Dikotylen auch mit den Geleitzellen der Siebröhren verbinden. — Bei denjenigen Nadelhölzern, welchen eiweißführende Bastparenchymzellen in den Baststrängen abgehen, so bei den Kiefern und anderen Abietineen, treten eiweißführende Zellreihen in den Markstrahlen an deren Stelle (em Fig. 143). Solche Markstrahlzellen sind den Siebröhren dicht angeschmiegt, mit ihnen durch Siebtüpfel verbunden. Sie werden auch mit den Siebröhren zugleich entleert und wie jene dann zusammengedrückt. Umgekehrt pflegen die stärkeleitenden Zellreihen der Markstrahlen in der Bastzone, ganz ähnlich wie das stärkeleitende Bastparenchym, zwischen den zerdrückten Siebröhren noch anzuschwellen und jahrelang am Leben zu bleiben.

Die Höhe und Breite der Markstrahlen läßt sich leichter an tangentialen als an radialen Längsschnitten feststellen. An solchen tangentialen Längsschnitten erscheinen die Markstrahlen spindelförmig (Fig. 144 und 149). Ihre Größe schwankt bei den meisten Hölzern nur innerhalb relativ enger Grenzen, doch bei gewissen Hölzern, so der Eiche und Rotbuche, sehr bedeutend. Die Eiche führt bis zu 1 mm Breite und fast 1 dm Höhe erreichende große Markstrahlen, dazwischen zahlreiche sehr enge kleine. Bei der Pappel, der Weide, dem Buchsbaum sind alle Markstrahlen so klein, daß man sie auch mit der Lupe kaum unterscheiden kann. Besondere Höhe und Breite erreichen die primären, sich über die Länge eines ganzen Internodiums erstreckenden Markstrahlen bei vielen Lianen. Diejenigen Nadelhölzer, welche Harzgänge in den Holzsträngen führen, besitzen sie auch innerhalb einzelner breiter Markstrahlen. Diese radialen Harzgänge stehen in Verbindung mit den vertikalen. Daher können so große Harzmengen aus einem verwundeten Kiefern- oder Fichtenstamm ausfließen.

Dickenwachstum der gymnospermen und dikotylen Wurzeln.

Bei gymnospermen und dikotylen Holzgewächsen, doch auch zahlreichen krautartigen Dikotylen, kommt ein Dickenwachstum auch den Wurzeln zu⁽¹²⁸⁾. Wie wir gesehen haben (Fig. 124, 131), wechseln im Zentralzylinder der Wurzel die Vasal- und Cribralstränge miteinander ab. Soll nun eine solche Wurzel in sekundäres Dickenwachstum eintreten, so bilden sich an der Innenseite der Cribralstränge, durch Teilung des Grundgewebes, Cambiumstreifen aus, die nach innen Holz, nach außen Bast bilden. Als bald treffen die Ränder der Cambiumstreifen im Pericykel vor den Vasalsträngen zusammen, und nun ist ein vollständiger Cambiumring da, der im ganzen Umkreis seine Tätigkeit ausüben kann. Unsere schematische Fig. 151 A

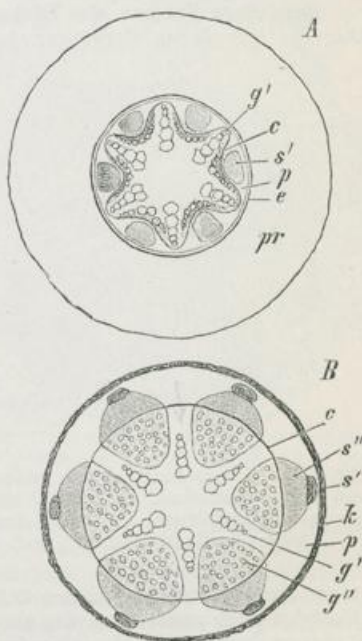


Fig. 151. Schematische Darstellung des Dickenwachstums einer dikotylen Wurzel. In A bedeutet *pr* primäre Rinde, *e* Endodermis. In A und B sind *c* Cambiumring, *g'* primärer Vasalstrang, *s'* primärer Siebstrang, *p* Pericykel. In B bedeuten außerdem *g''* sekundär erzeugtes Holz, *s''* sekundär erzeugter Bast, *k* Periderm.

soll zur Veranschaulichung dieses Vorgangs dienen. Der Cambiumring ist in sie als dunkle Linie eingetragen. Die Buchten des Cambiumringes gleichen sich durch seine Tätigkeit bald aus, so daß er kreisförmig wird. Vor den primären Vasalsträngen (*g'*) bildet er nur Markstrahlengewebe, und sind es daher die weitesten Markstrahlen, die später auf diese führen (Fig. 151 B). Der Querschnitt durch eine Wurzel, die bereits jahrelang in die Dicke wuchs, ist von einem Stammquerschnitt ohne eingehendere Untersuchung nicht zu unterscheiden. Erst durch letztere läßt sich das Vorhandensein der primären Gefäßteile inmitten der Wurzel, die für deren Natur bezeichnend sind, feststellen. Ein anderer Umstand fällt dann gleichzeitig auf, nämlich der, daß das Holz der Wurzel weiltumiger als das entsprechende Stammholz ist, und seiner ganzen Masse nach bis zu einem gewissen Maße die Eigenschaften von Frühholz besitzt. Die Grenze der Jahresringe ist demgemäß im Holzkörper der Wurzeln nur schwach markiert.

Entsprechend wie im Stamm und seinen Ästen, keilen sich auch in den Wurzeln und ihren Auszweigungen die jährlichen Zuwachszonen nach der Wurzelspitze hin aus (Fig. 140).

Besondere Formen des Dickenwachstums dikotyler Stämme und Wurzeln ⁽¹²⁹⁾. Von den gewohnten Vorgängen des sekundären Dickenwachstums, wie wir sie kennen

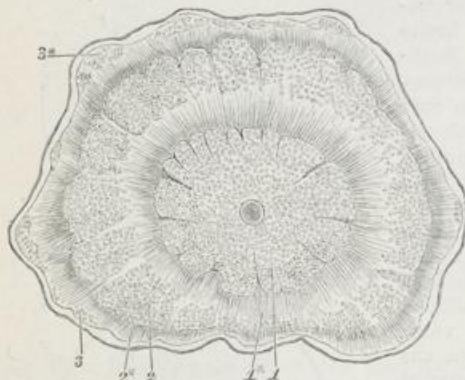


Fig. 152. Querschnitt durch einen Stamm von *Mucuna altissima*. 1, 2 und 3 aufeinander folgende Holzkörper, 1* 2* 3* aufeinander folgende Bastzonen. $\frac{3}{4}$ nat. Gr.

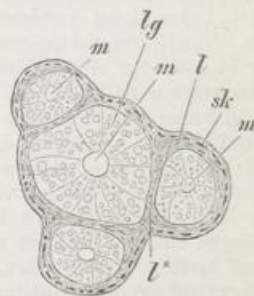


Fig. 153. Querschnitt durch den Stamm von *Serjania Laruotteana*. *sk* Teile des zersprengten Sklerenchymringes des Pericykels, *l* und *l** Bastzonen, *lg* Holzkörper, *m* Mark. Vergr. 2.

gelernt haben, kommen in den Stämmen wie in den Wurzeln bei Gymnospermen und Dikotylen auch andere vor, die als ungewöhnlich gelten müssen. Wir greifen einige der häufigeren heraus. Bei den Cycadeen und bestimmten Gnetum-Arten unter den Gymnospermen, bei Chenopodiaceen, Amarantaceen, Nyctagineen, Phytolaccaceen und noch anderen Familien unter den Dikotylen, hört der erste in gewohnter Weise entstandene Cambiumring alsbald zu funktionieren auf, und es bildet sich ein neuer Cambiumring außerhalb der Bastzone, meist im Pericykel oder einem von demselben abstammenden Gewebe. Dieser Cambiumring bildet nach innen Holz, nach außen Bast nebst den zugehörigen Markstrahlen, dann erlischt er, und ein neuer, außerhalb der Bastzone entstehender, tritt an seine Stelle. Der Vorgang wiederholt sich und führt zur Bildung konzentrischer Holz-Bastringe. Solche lassen sich schon mit dem bloßen Auge an Querschnitten durch eine Zuckerrübe unterscheiden. Deutlicher noch treten sie uns an dem in der Fig. 152 dargestellten Stammquerschnitt einer zu den Papilionaceen gehörenden Liane, der *Mucuna altissima* entgegen. Der abgebildete Stamm zeigt einen inneren von einer Bastzone (*l**) umgebenen Holzkörper (*l*), einen nächstäußeren Hohlzylinder von Holz (*2*) und Bast (*2**), und endlich einen dritten (*3* und *3**), der in Bildung

begriffen ist, innerhalb des Pericykels. — Ein ungewohntes Aussehen haben die Querschnitte von Stämmen, die mehrere Holzzylinder in ihrem Innern aufweisen (Fig. 153). Ein solcher Bau ist verschiedenen tropischen Lianen aus den Sapindaceen-Gattungen *Serjania* und *Paullinia* eigen. Er kommt dadurch zustande, daß die Gefäßbündel in den primären Stammteilen nicht im Kreise angeordnet sind, sondern einen tief ausgebuchteten Ring bilden, und daß das Interfascicularembium bei seinem Auftreten die Fascicularembien der in den vorspringenden Teilen des Ringes gelegenen Gefäßbündel zu je einem besonderen Cambiumring vereinigt. Jeder dieser Cambiumringe bildet dann für sich nach innen Holz, nach außen Bast, was den in Fig. 153 für *Serjania Laruotteana* dargestellten Bau schließlich bedingt. — Sehr auffällig ist endlich auch das Aussehen vieler zu den Bignoniaceen gehörenden Lianen, deren Holzkörper wie zerklüftet erscheint (Fig. 154). Die primären Stammteile der Bignoniaceen zeigen zunächst die gewohnte Anordnung der Gefäßbündel im Kreise. Der in Tätigkeit tretende Cambiumring erzeugt auch zunächst in gewohnter Weise nach innen Holz, nach außen Bast, und bildet so nach innen einen normal gebauten Holzzylinder, der als axiales Holz bezeichnet wird. Solche normal gebauten inneren Holzpartien kommen auch anderen im weiteren Verlauf der Entwicklung sich anomal verhaltenden Lianen zu. Bei den Bignoniaceen beginnt der Cambiumring nach Anlage des axialen Holzes, an einzelnen Stellen nur noch wenig Holz nach innen, um so mehr Bast nach außen zu erzeugen. Das hat zur Folge, daß tiefe Bastkeile, die stufenförmig nach außen an Breite zunehmen, in das äußere, als periaxial bezeichnete Holz hineinreichen (Fig. 154). Das Cambium wurde dabei in Längsstreifen, breitere an den Holzvorsprüngen, schmälere im Grunde der Bastkeile, zerlegt. Das fortwachsende Holz, welches, wie auch sonst, vom Cambium aus nach innen erzeugt wird, muß notwendiger Weise an den Bastkeilen, deren Gewebe an der Außenseite des Cambiums entsteht, vorbeigleiten, so daß seitlich zwischen dem periaxialen Holze und den Bastkeilen keine Verbindung besteht.

Maserbildung. Sie beruht auf einem ungewohnten verbogenen oder verschlungenen Verlauf der Elemente des Holzkörpers und liefert die in der Holzindustrie so geschätzte Maser, Wimmer oder Flader. Sie kann durch Wundreize, Parasiten, durch den Druck dicker werdender Seitenäste, auch durch veränderte Cambiumtätigkeit veranlaßt sein. Durch das Auftreten zahlreicher gedrängter Adventivknospen, wie es besonders nach Verwundungen sich einstellt, wird grobe Maserung erzeugt, feine Maserung vornehmlich durch starkes Anschwellen der Markstrahlen, die in tangentialen Durchschnitt dann fast kreisrund erscheinen und den Verlauf der Holzelemente entsprechend beeinflussen⁽¹³⁰⁾.

Dickenwachstum monokotyler Stämme und Wurzeln. Es gibt auch einige monokotyle Pflanzenfamilien und Gattungen, so vornehmlich Dracaenen, *Yucca*, Aloineen und Dioscoreaceen, deren Stämme und Wurzeln befähigt sind, einen Cambiumring auszubilden. Er entsteht im allgemeinen außerhalb der zerstreuten Gefäßbündel, im Pericykel, aus Grundgewebe, ist somit ein Folgemeristem und erzeugt nicht Holz und Bast in entgegengesetzter Richtung wie bei den Gymnospermen und Dikotylen, vielmehr längere Zeit nur Zellen nach innen, die sich weiter vermehren und schließlich zu geschlossenen Gefäßbündeln und

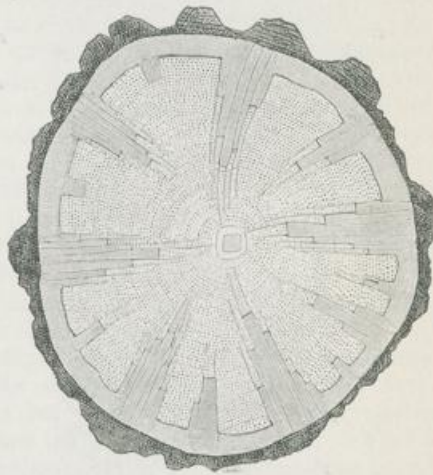


Fig. 154. Querschnitt durch den Stamm einer Bignoniacee aus Blumenau. Nat. Gr.

dem zwischen ihnen gelegenen, stark sich verdickenden parenchymatischen Grundgewebe werden. Der Cambiumring ist hier somit zunächst ein einseitig tätiger⁽¹³¹⁾, auch werden seine Initialen aus dem nach außen angrenzenden Grundgewebe ergänzt (S. 109). Erst später beginnt dieser Cambiumring auch nach außen Zellen abzugeben, die ein parenchymatisches, dünnwandiges Grundgewebe bilden, und durch dieses die Rinde verstärken (Fig. 155). Sobald diese

beiderseitige Tätigkeit des Cambiumrings sich einstellt, weist er auch eine Initialenschicht auf.

Das Schema dieses monokotylen Dickenwachstums weicht von dem in Fig. 140 für Gymnospermen und Dikotylen dargestellten wesentlich ab. Es soll durch die Fig. 156 veranschaulicht werden. Der als Beispiel gewählte *Dracaena*-Stamm ist hier unverzweigt gedacht. Sein primärer

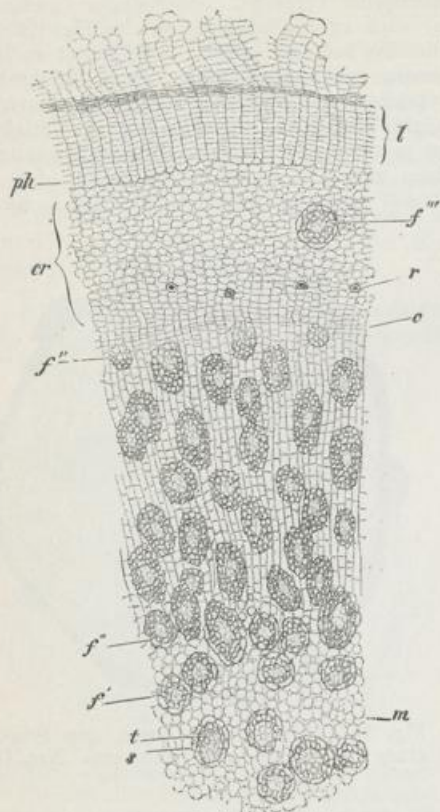


Fig. 155. *Cordyline (Dracaena) rubra*. Querschnitt durch den Stamm. *f* Gefäßbündel und zwar *f'* primäre, *f''* sekundäre, *f'''* ein aus einem Blatte kommendes, noch innerhalb der primären Rinde befindliches Gefäßbündel. *m* parenchymatisches Grundgewebe, *s* Gefäßbündelscheide, *t* Tracheiden, *c* Cambiumring, *cr* Rinde, etwa von *cr* an nach außen primär, nach innen sekundär, *ph* Korkeambium, *l* Kork, *r* Raphidenbündel. Vergr. 30.

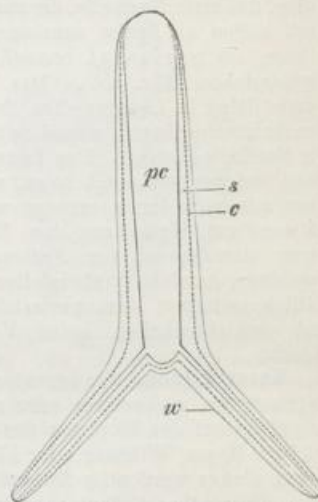


Fig. 156. Schematische Darstellung des sekundären Zuwachses am Stamm und an den Wurzeln einer *Dracaena*. Frei nach SCHOUTE. *pc* Zentralzylinder, *s* sekundärer Zuwachs, *c* Cambium (punktirierte Linie), *w* Wurzel.

Zentralzylinder (*pc*) nimmt mit der Erstarkung des Stammes an Durchmesser zu, ist daher als umgekehrter Kegel dargestellt. Er wird von dem scheidelwärts an Dicke abnehmenden und sich schließlich auskeilenden sekundären Zuwachs (*s*) umgeben. Dieser setzt sich auch auf die Wurzeln fort.

Dickenwachstum der Blätter⁽¹³²⁾ ist im wesentlichen auf Nadelhölzer mit mehrjährigen Nadeln beschränkt, doch auch für einige Dikotylen mit immergrünem Laub nachgewiesen. Der Zuwachs geht von dem fascicularen

Cambium aus, bleibt stets gering und findet vorwiegend, wenn nicht ausschließlich, nach der Bastseite statt. Dem Holz werden bei solchem Dickenwachstum fast nur wasserleitende Elemente, dem Bast vornehmlich Siebröhren hinzugefügt.

Periderma⁽¹³³⁾. Nur bei einer begrenzten Anzahl von Pflanzen vermag die Epidermis der Dickenzunahme eines Stammteils, und zwar durch Teilung ihrer Zellen, eine Zeitlang zu folgen. So ist es beispielsweise bei der Mistel (*Viscum album*), deren Epidermiszellen durch Einschaltung neuer Seitenwände sich vermehren und neue Cuticularschichten bilden, während die älteren gesprengt werden. Doch setzt an älteren Stengelgliedern die Bildung der Verdickungsschichten in einzelnen Epidermiszellen, oder Gruppen dieser Zellen, aus und an deren Stelle treten entsprechend sich verdickende Rindenzellen. Die ausgeschalteten Epidermiszellen sterben ab und so kommt es, daß an alten Stengelgliedern die ursprüngliche Epidermis mehr oder weniger beseitigt ist. — Bei der weitaus größten Zahl solcher Pflanzen, welchen eine mehrjährige Epidermis zukommt, vermag diese, ohne Beteiligung der Rinde, den Ansprüchen zu genügen, welche die Dickenzunahme des Stammes an sie stellt. Beim gestreiften Ahorn (*Acer striatum*) sind selbst fußdicke, vierzig und mehr Jahre alte Stämme größtenteils noch mit lebender, fortwachsender Epidermis bedeckt. Die Streifung, der dieser Baum seinen Namen verdankt, rührt von weißem Wachs her, das aus Rissen der Außenwände hervortritt. Für gewöhnlich pflegt aber die Epidermis an den in die Dicke wachsenden Stammteilen nur passiv gedehnt und alsbald gesprengt zu werden. Leichter gelingt es meist den Geweben der primären Rinde und der nach außen vom Cambiumringe gelegenen Teile des Zentralzylinders, dem Dickenwachstum des Stammes zu folgen. Die Zellen dieser Gewebe werden gedehnt und treten in Teilung ein. Besonders auffällig wird diese Erscheinung an den zwischen den primären Siebteilen gelegenen Enden der primären Markstrahlen. Sie erfahren nach außen eine starke Erweiterung, so wie das beispielsweise an dem in Fig. 146 dargestellten Querschnitte eines Lindenzweiges zu sehen ist (*pm'*). — Meist stellt sich schon in der ersten Vegetationsperiode, bald nachdem der sekundäre Zuwachs begonnen hat, Peridermbildung an der Oberfläche des Stammes ein. Dann bräunt sich die Stammoberfläche, während sie hingegen grün bleibt, falls die Epidermis sich fortentwickelt. Diese Peridermbildung pflegt auch in den mit mehrjährigen, zunächst fortwachsenden Epidermen versehenen Pflanzen später nicht auszubleiben, sie geht tatsächlich nur den Mistelarten ab. Die Peridermbildung wird durch Anlage eines Folgermeristems, das man als Korkcambium oder Phellogen bezeichnet, eingeleitet. Dieses Phellogen kann aus der Epidermis oder einer tieferen Zellschicht der primären Rinde, ja selbst des Pericykels hervorgehen. Meist ist das Phellogen⁽¹²¹⁾ ein mit dauernden Initialen versehenes Cambium, daß nach außen Korkzellen, nach innen sog. Korkrinde, Phelloderma, bildet. Die Erzeugung von Korkzellen pflegt zu überwiegen. Beschränkt sich das Phellogen ganz auf ihre Bildung, so gehen in dieser auch die Initialen vielfach auf und werden alsdann aus dem angrenzenden Grundgewebe ergänzt (S. 100). Ein solches Verhalten ist unter den Monokotylen vertreten, kommt aber auch bei einzelnen Dikotylen vor, so bei *Valeriana officinalis*. — Die jungen Korkzellen haben meist tafelförmige Gestalt. Sie schließen intercellularfrei zusammen und sind mit verkorkten sekundären Membranschichten versehen. Die Wände der fertigen Korkzellen erscheinen meist braun gefärbt; sie bleiben entweder verhältnismäßig dünn (Fig. 155 l), oder sie werden mehr oder weniger stark, unter Umständen (Fig. 157) einseitig verdickt. Sehr stark verdickter Kork wird als Steinkork bezeichnet. — Dünnwandige Korkzellen führen für

gewöhnlich Luft; stark verdickte weisen oft rotbraune Inhaltsstoffe (Phlobaphene), die vornehmlich aus Gerbstoff und seinen Zersetzungsprodukten bestehen, auf. — Vielfach wechseln im Kork Lagen dickwandiger engerer und dünnwandiger weiterer Zellen periodisch ab. Diese Lagen entsprechen Jahresproduktionen. — Schon dünne Korkhäute setzen die Transpirationsgröße an der Oberfläche der Pflanzenteile bedeutend herab; auch bieten stärkere Korklagen mechanischen Schutz und verhindern das Eindringen der Schmarotzer.

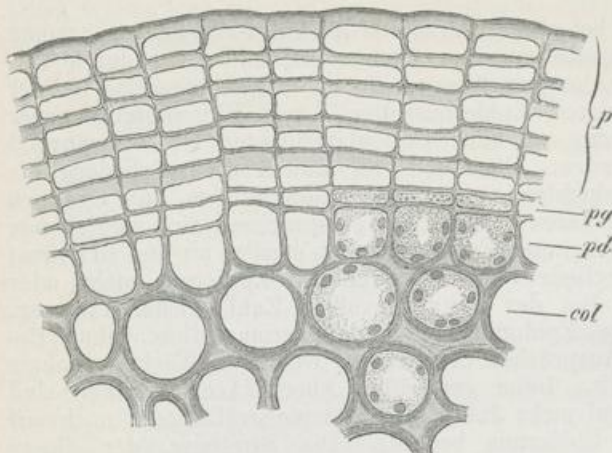


Fig. 157. Querschnitt der äußeren Teile eines einjährigen Zweiges von *Pirus communis* im Herbst. Beginn der Peridermbildung. *p* Kork, *pg* Phellogen, *pd* Phelloderm, *col* Kollenchym. Die Korkzellen führten gebräunten, abgestorbenen Inhalt; sie zeigen verdickte Außenwände. Vergr. 500.

Die von Phellogen nach innen erzeugte Korkrinde (Phello-derma) kann in manchen Fällen, so beim Johannisbeerstrauch, sehr kräftige Entwicklung zeigen. Ihre Zellen pflegen chlorophyllhaltig zu sein; sie sind abgerundet und durch luftführende Interzellularen getrennt; sie dienen zur Verstärkung der lebendigen

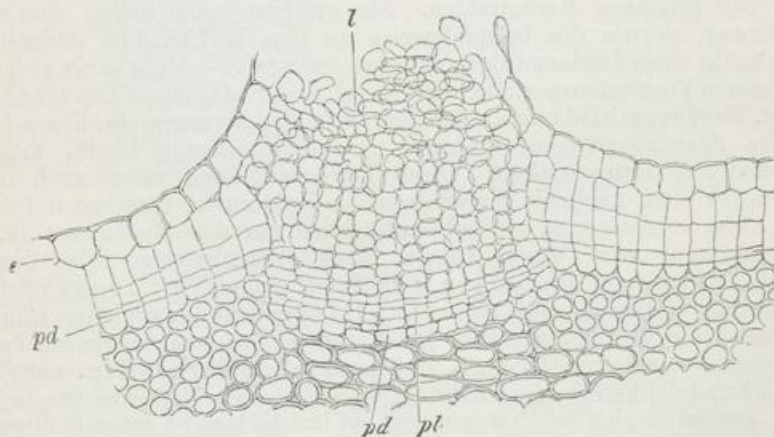


Fig. 158. Querschnitt durch eine Lenticelle von *Sambucus nigra*. *e* Epidermis, *ph* Phellogen des Periderms, *pd* Phelloderm, *pl* Verjüngungsschicht der Lenticelle, *l* Füllzellen. Vergr. 90.

Rinde. — Kork und Korkrinde werden in der Bezeichnung Periderma zusammengefaßt.

Der Kork der Korkreihe (*Quercus Suber*) wird von breiten Lagen weicher, weiter Korkzellen gebildet, mit welchen dünne, die Grenzen der Jahresproduktion bezeichnende,

flache Lagen abwechseln, wie sie an Korkstöpseln zu erkennen sind. Der erste spontan erzeugte Kork der Korceiche wird bis auf das Phellogen vom Stamm entfernt, worauf einige Zellschichten tiefer sich ein neues Phellogen bildet, das den technisch verwertbaren Kork liefert. Dieser wird alle 6 bis 8 Jahre geschält.

In zahlreichen Fällen geht das Phellogen aus der Epidermis hervor (Fig. 157 *pg*). So ist es bei der Weide, bei sämtlichen Pomaceen und bei einer Anzahl anderer Holzgewächse. Die Epidermiszellen werden alsdann in eine äußere und eine innere Zelle zerlegt, welche letztere als Phellogenzelle fungiert. Am häufigsten wird die auf die Epidermis folgende Zellschicht zur Phellogenbildung verwendet, so z. B. beim schwarzen Holunder (*Sambucus nigra*). Das Phellogen geht bei ihm aus der äußersten Kollenchymschicht (Fig. 158 *ph*) hervor. Die Epidermis liegt demgemäß der in Bildung begriffenen Korkschicht auf.

Echter Kork ist bei den Kryptogamen auf Ophioglossum beschränkt. Die fleischigen Stipeln der Marattiaceen weisen auf ihrer gebräunten Oberfläche eine, durch regellose Teilung subepidermoidaler Zellen entstandene Zellschicht auf, die humifiziert ist und die als Pseudophelloid bezeichnet wurde^[134].

Borke. Was vom Phellogen nach außen zu liegen kommt, wird von weiterer Nahrungszufuhr abgeschnitten und muß absterben. Wird die erste Korkschicht gleich in größerer Entfernung von der Stammoberfläche angelegt, so sterben auch sofort größere periphere Gewebemassen ab und bilden Borke. Nur selten bleibt das erste Phellogen dauernd in Tätigkeit. Bildet es nur eine dünne Korkschicht, so zeigt der Stamm eine glatte Oberfläche, z. B. bei der Rotbuche; erzeugt es eine stärkere Korkschicht, so wird die Oberfläche rissig, z. B. bei der Korceiche. Für gewöhnlich stellt das erste Phellogen alsbald seine Tätigkeit ein, und es wird ein neues tiefer im Stamm angelegt. Auch dessen Tätigkeit erlischt nach einiger Zeit, und es entsteht wieder ein neues, so wie es Fig. 159 für die Steineiche zeigt. Schließlich sind es nicht mehr primäre, sondern sekundäre Gewebe, die Parenchyme der Bastzone, in welchen das neue Phellogen sich bildet. Die durch das Periderm nach außen abgeschnittenen Bastteile haben sich von Nahrungsstoffen entleert und führen nur Nebenprodukte des Stoffwechsels. Umfassen die Peridermlagen nur begrenzte Teile der Stammoberfläche, so wird die Borke in Schuppenform, als Schuppenborke abgeworfen, so bei der Kiefer oder Platane; bilden die

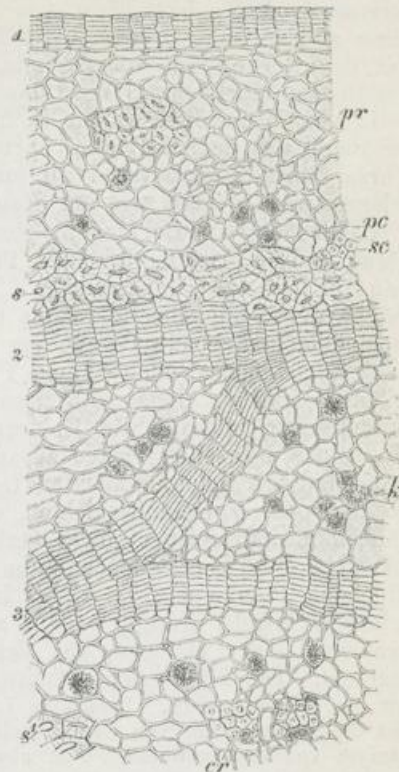


Fig. 159. Querschnitt aus der Stammoberfläche der Steineiche (*Quercus sessiliflora*). 1, 2 und 3 nacheinander erzeugte Korkschichten, die innere Korkschicht noch hell, die äußeren gebräunt. *pr* Primäre, durch nachträgliche Wachstumsvorgänge veränderte Rinde, von *pc* an Pericykel, *sc* Sklerenchymfasern aus einem zersprengten Sklerenchymfaserlinge des Pericykels, *s* nacherzeugte Steinzellen, *s'* Steinzellen im sekundären Zuwachse, *cr* Bastfasern von kristallführenden Zellen begleitet, *k* Zellen mit Kristalldrüsen. Alles Gewebe außerhalb der innersten Korkschicht abgestorben und gebräunt, in Borke verwandelt.

Vergr. 225.

Peridermanlagen hingegen geschlossene Zylinder, so werden stengelumfassende Rindenmassen als Ringelborke entfernt, so beim Weinstock, Kirschbaum, Walldrebe, Geißblatt. Schwer sich ablösende Borke wird während der Dickenzunahme des Stammes nur rissig, was das rissige Aussehen der Rinde der meisten alten Bäume bedingt. Die braune oder rote Färbung, welche die Borken meist zeigen, wird durch ähnliche Derivate von Gerbstoffen wie die Färbung der Kernhölzer veranlaßt. Diese antiseptisch wirksamen Stoffe bedingen die große Widerstandsfähigkeit der Borke. Die ungewohnte weiße Färbung der Birkenborke rührt von Betulin (Birkenharz) her, das als feinkörniger Inhalt die Zellen füllt.

In den Wurzeln, welche in die Dicke wachsen, geht das Phellogen in der Regel aus dem Pericykel hervor (Fig. 151 *B, k*). Die primäre Rinde der Wurzel stirbt infolgedessen ab und wird abgestreift. Spätere Phellogenanlagen werden ganz wie am Stamm gebildet.

Lenticellen⁽¹³⁵⁾. Bei den meisten Holzgewächsen, vornehmlich den Dikotylen, werden, zu Beginn der Peridermbildung, auch Rindenporen oder Lenticellen (Fig. 158) erzeugt. Bei peripherischer Korkbildung findet die Anlage der Lenticellen fast stets unter den Spaltöffnungen statt. Das die Atemhöhle umgebende Parenchym tritt in Teilung ein und bildet ein Cambium (*pl*), welches nach innen Phelloderma (*pd*), nach außen sog. Füllzellen (*l*) erzeugt. Letztere weisen Intercellularen zwischen sich auf. Sie durchbrechen alsbald die Epidermis und heben sie lippenförmig empor. Wo solche Füllzellen locker zusammenhängen, bildet das Phellogen, abwechselnd mit ihnen, Schichten fester verbundener Zellen, sog. Zwischenstreifen, oder Verschlusschichten, welche weiterhin gesprengt werden. Die Füllzellen sind meistens nicht verkorkt, die Verschlusszellen verkorkt und verholzt. Das Lenticellencambium vereinigt sich alsbald mit dem korkbildenden Phellogen (Fig. 158). In solchen Fällen, wo die Korkbildung tiefer im Gewebe erfolgt, werden auch die Lenticellen entsprechend tief und zwar aus dem Phellogen, das sich in die Verjüngungsschicht verwandelt, angelegt. Die Lenticellen vermitteln den Gasaustausch der inneren Gewebe mit der Atmosphäre. Bestimmte Luftwurzeln, so die Luftwurzeln von Orchideen und die Atemwurzeln von Sumpfbewohnern, weisen Lenticellen auf, die mehr oder weniger von dem gewohnten Bau abweichen und als Pneumathoden bezeichnet werden.

Trennungsschichten. Der Blattfall der Holzgewächse⁽¹³⁶⁾ wird vermittelt durch eine parenchymatische Gewebeschicht, die am Grunde des Blattstiels meistens erst kurz vor dem Blattfall ausgebildet wird und deren Zellen sich durch Verschleimung der Mittellamellen voneinander trennen. Alle prosenchymatischen Gewebe des Blattstiels sind innerhalb der Trennungsschicht sehr reduziert; verholzt zeigen sich dort nur die trachealen Elemente. Sie werden beim Abfallen des Blattes durchrissen. Der Schutz der Blattnarben erfolgt zunächst durch Verholzung und Verkorkung der freigelegten Elemente, hierauf durch Ausbildung einer Korkschicht, die an das Periderm des Stammteils ansetzt. Die Enden der trachealen Elemente an der Blattnarbe füllen sich entweder mit Schutzgummi, oder mit Thyllen, oder mit beidem; die Enden der Siebröhren werden zerdrückt und verholzen. — Auch die Blättchen zusammengesetzter Blätter pflegen durch Vermittlung von Trennungsschichten von ihren Spindeln abgeworfen zu werden. Krautartige Gewächse haben in der Regel keinen Laubfall aufzuweisen⁽¹³⁷⁾.

Wundenheilung⁽¹³⁸⁾. Verloren gegangene Gewebeteile der niederen Gewächse werden oft direkt regeneriert, während dies bei höher organisierten Pflanzen nur in sehr beschränktem Maße der Fall ist⁽¹³⁹⁾. Bei letzteren

ist eine solche Erscheinung im wesentlichen nur auf das Periderm und in einzelnen Fällen auf Teile der Gefäßbündel beschränkt. Im einfachsten Falle sterben die verletzten Zellen am Körper der Landpflanzen ab, bräunen sich und vertrocknen, während die Wände der darunter befindlichen, unverletzt gebliebenen Zellen verholzen. Hierauf bleibt der Schutz der verletzten Stelle ganz allgemein bei den Kryptogamen und an sehr kleinen Wunden auch bei Phanerogamen beschränkt. Bei größerer Ausdehnung der Wunde bilden die Phanerogamen unter den verholzenden Zellen ein Korkcambium, das Wundkork erzeugt. Dieser Kork soll nicht allein verkorkt, sondern auch verholzt sein⁽¹⁴⁰⁾. Seiner Bildung kann eine Suberineinlagerung in die Wände der unter der Verletzung unmittelbar gelegenen Zellen vorausgehen, so beispielsweise bei Saatkartoffeln, die vor dem Auslegen geschnitten worden sind und ein bis zwei Tage an der Luft gelegen haben. Hieraus erklärt sich ihre Widerstandsfähigkeit im Boden⁽¹⁴¹⁾. Sekretbehälter werden an den Wunden mit Thyllen verschlossen. Handelt es sich um Milchsaft führende Elemente, so bilden diese einen Gerinnungspfropf an der geöffneten Stelle aus und unter diesem hierauf eine Scheidewand⁽¹⁴²⁾. Bei holzigen Gewächsen kommt es für gewöhnlich zur Bildung eines sog. Callus. Es wuchern alsdann alle an die Wunde grenzenden lebenden Zellen aus ihr hervor und schließen zusammen. Diese Wucherung kann unmittelbar verkorken und so den nötigen Schutz gewähren; in den meisten Fällen bildet sich aber in der Peripherie des Callus ein Phellogen aus, das Kork erzeugt. — Wunden am Stamm der Gymnospermen und Dikotylen, die bis in den Holzkörper reichen, werden überwältigt. Es wächst alsdann das an die Wundränder grenzende Stammcambium wulstartig hervor. Der Wulst schließt sich durch Kork nach außen ab und differenziert in seinem Innern eine Cambiumschicht, welche das Stammcambium fortsetzt. Dieses Cambium bildet, wie das angrenzende, nach innen Holz, nach außen Bast. So vergrößern sich die Überwallungswulste und decken allmählich die Wundfläche. Gelingt es den Überwallungswulsten, sich mit den Rändern zu erreichen, so verschmilzt schließlich ihr Cambium und bildet weiter eine zusammenhängende Holzschicht nach innen und eine Bastschicht nach außen. Das deckende Holz verwächst nicht mit dem bei der Verwundung bloßgelegten. Letzteres ist gebräunt und abgestorben. Daher in Stämme eingeschnittene Zeichen, die bis auf den Holzkörper reichen, in diesem wiederzufinden sind. Durch Überwallung vom Cambiumringe aus werden auch Aststumpfe mehr oder weniger vollständig abgeschlossen. Neue Vegetationspunkte für Adventivsprosse nehmen oft in solchen Calli ihren Ursprung. — Das auf den Wunden erzeugte Holz ist in seinem Bau von normalem Holze zunächst verschieden und wird daher als Wundholz bezeichnet. Es besteht aus fast isodiametrischen Zellen, auf die erst allmählich gestrecktere Zellformen folgen. — An der Basis abgetrennter Pflanzenteile, die als Stecklinge behandelt werden, tritt eine Callusbildung ein, die je nach der Pflanzenart stärker oder schwächer ist. Sie nimmt in extremen Fällen die Gestalt stark vorspringender Wülste an, in deren Innern weiterhin Anlagen für Adventivwurzeln entstehen.

Regeneration. Bei Pilzen und Algen werden verloren gegangene Teile des Körpers öfters unmittelbar ergänzt, es findet somit eine direkte Regeneration statt. Bei höher organisierten Gewächsen ist ein solcher Vorgang nur äußerst selten. Am leichtesten stellt er sich dort noch an embryonalen Anlagen ein, so an Vegetationspunkten, welche einzelne Teile einbüßten. Besonders zeichnen sich Keimpflanzen durch ein solches Regenerationsvermögen aus. So ließ sich an den Keimpflanzen von *Cyclamen* der Fall

beobachten, daß sogar eine abgeschnittene Blattspreite vom Blattstiel aus ergänzt wurde. Im allgemeinen kehren aber, wo Regenerationen bei höher organisierten Pflanzen notwendig werden, und vorgebildete ruhende Anlagen nicht schon zur Verfügung stehen, ältere Körperteile in den embryonalen Zustand zurück und erzeugen neue sproßbildende Vegetationspunkte⁽¹⁴³⁾. Da in solcher Weise dann für einen mittelbaren Ersatz verloren gegangener Teile gesorgt ist, erklärt es sich, daß unmittelbare Ergänzungen im Tierreiche weit häufiger als im Pflanzenreiche erfolgen.

Phylogenie pflanzlicher Gestaltung.

Die fortschreitende äußere Ausgestaltung des Pflanzenkörpers wurde uns im Abschnitt über die Formentwicklung im Pflanzenreiche (S. 7) bereits vorgeführt. Die fortschreitende Sonderung im innern Bau der Gewächse hat mit der äußern Gliederung nicht immer gleichen Schritt gehalten. In der Abteilung der Schlauchalgen (Siphonaceen) vermochten selbst einzellige Pflanzen einen hohen Grad äußerer Ausgestaltung zu erreichen. Das zeigt uns besonders *Caulerpa* (Fig. 295), die einzellig geblieben ist, dessenungeachtet eine Sonderung in stamm-, blatt- und wurzelähnliche Gebilde aufweist.

Nicht minder lernten wir unter den roten Meeressalgen (Rhodophyceen) Pflanzenformen kennen, welche, wie das in Fig. 9 dargestellte *Hydrolaphidium*, in ihrer Gliederung an die der höchst organisierten Pflanzen erinnern und doch aus Zellen fast nur einer Art bestehen. Die innere Sonderung, bis zu der es solche Algen brachten, besteht nur darin, daß ihre äußeren, die roten Chromatophoren führenden, assimilierenden Gewebe aus isodiametrischen, ihre inneren farblosen, der Leitung dienenden Gewebe aus longitudinal gestreckten Zellen bestehen. Den relativ höchsten Grad innerer Differenzierung erlangten unter den Algen die braunen, zu den Phaeophyceen gehörenden Laminarien. In den stammartigen Achsen, die bei diesen Pflanzen nicht unbedeutende Dicke erreichen, haben die äußeren Gewebe vielfach Schleimgänge, die inneren sogar siebröhrenartige Zellenzüge⁽¹⁰⁸⁾ aufzuweisen. Diese Achsen wachsen in die Dicke durch fortgesetzte Teilung der Zellen einer äußersten Zellschicht, beziehungsweise einiger äußerer Zellschichten. Die Produkte dieser Teilungstätigkeit bilden eine Art Rinde, die sogar konzentrische Schichtung zeigen kann und deren innerste Zellen sich successive strecken, um zu dem mittleren, als Mark bezeichneten Gewebe überzugehen. — Der auf eine Verflechtung von Hyphen zurückzuführende Körper auch der massigsten Pilze beschränkt seine innere Sonderung im wesentlichen auf ein festeres oder lockereres Gefüge, eine mehr oder weniger innige Verbindung der verflochtenen Elemente. Im äußersten Falle wird diese Vereinigung so fest, daß Querschnitte den Eindruck eines parenchymatischen Gewebes machen (Fig. 106 und 107). In einem solchen Gewebe können sogar, bei nachträglicher Verdickung der Wände, die Tüpfel benachbarter Hyphen aufeinandertreffen. Im Fruchtkörper zahlreicher Hut- und Bauchpilze führen bestimmte, besonders lange und stärker angeschwollene Hyphen einen homogenen oder trüben, stark lichtbrechenden, unter Umständen auch gefärbten Inhalt und dienen allem Anschein nach zu Leitungszwecken. — Die Gewebesonderung schreitet erst bei den Bryophyten wesentlich weiter fort. Zur Abgrenzung einer Epidermis vom Grundgewebe kommt es auch bei diesen Gewächsen nur ausnahmsweise. So setzt sich am Thallus der Marchantien und an den Sporenkapseln der Anthoceroten und der Bryineen eine äußerste Zellschicht von dem nächst

inneren Gewebe deutlich ab. Am Thallus der Marchantien ist sie von Öffnungen (Fig. 160) durchbrochen, die als Atemöffnungen bezeichnet werden, aber andern Ursprungs wie die Spaltöffnungen der höheren Gewächse sind.

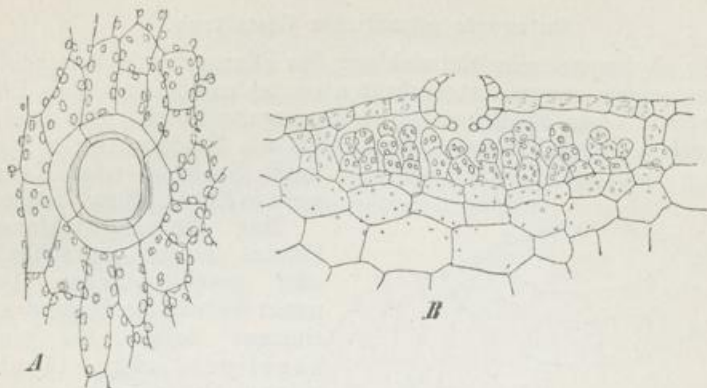


Fig. 160. Oberflächenansicht und Querschnitt des Thallus der *Marchantia polymorpha*. In A eine Atemöffnung von oben, in B im Querschnitt. Vergr. 240.

Die Atemöffnungen stellen nämlich, wie LEITGEB⁽¹⁴⁴⁾ zeigte, die Mündungsstellen von Höhlungen dar, die einer Überwölbung bestimmter Stellen der Oberfläche durch andere stärker wachsende ihre Entstehung verdanken. In der äußersten Zellschicht, am Sporogon der genannten Bryophyten, werden hingegen zum Teil ebenso gebaute Spaltöffnungen wie bei den Pteridophyten und Phanerogamen erzeugt. Daß jene Spaltöffnungen der Sporogone den Spaltöffnungen der höheren Pflanzen homolog sein sollten, läßt sich nicht annehmen, vielmehr liegt hier wiederum eine jener Analogien vor, wie solche, wohl aus inneren Entwicklungsursachen, so oft sich einstellen. Den Stämmchen mancher Bryineen kommen bereits sehr einfach gebaute Leitbündel (Fig. 161) zu, auch haben diese Laubmoose in der einschichtigen Blattspreite einen mehrschichtigen Mittelnerv, der ein Leitbündel erhält, aufzuweisen. Daher früher die Bryophyten, so wie es 1813 durch AUGUSTE PYRAMIDE DE CANDOLLE⁽¹⁴⁵⁾ bei Aufstellung seines natürlichen Systems des Pflanzenreichs geschehen ist, mit den anderen niederen Kryptogamen als Zellenpflanzen zusammengefaßt und den Gefäßpflanzen, d. h. den durch die Pteridophyten und Phanerogamen vertretenen Gewächsen, gegenübergestellt wurden. — Erst bei den Gefäßpflanzen

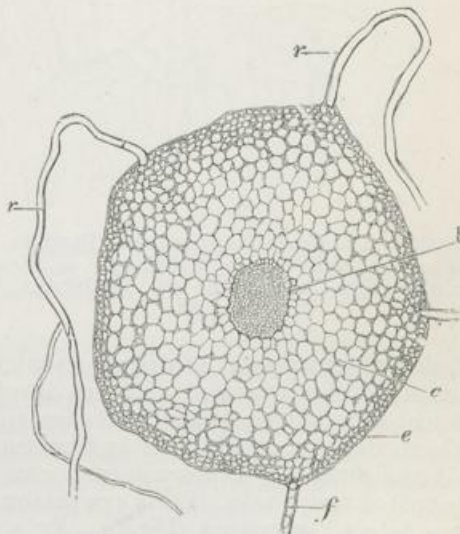


Fig. 161. Querschnitt durch das Stämmchen von *Mnium undulatum*. l Leitbündel, c Rinde, e die äußerste Zellschicht derselben, f Blättflügel, r Rhizoide. Vergr. 90.

kommt, zugleich mit der Ausbildung der Wurzeln, die Sonderung der inneren Gewebe in Hautgewebesystem, Grundgewebesystem und Gefäßbündelsystem zustande und führt dort zu einer weitgehenden Arbeitsteilung unter ihnen.

Ontogenie pflanzlicher Gestaltung.

Wie die phylogenetische Entwicklung des Pflanzenreichs vom Einfacheren zum Zusammengesetzteren fortgeschritten ist, so macht auch jede Pflanze in ihrer Ontogenie einen ähnlichen Entwicklungsgang durch. Das Studium der ontogenetischen Entwicklungsvorgänge wird als Embryologie bezeichnet. Die Anlage zum neuen Pflanzenkörper heißt Embryo oder Keim, ihre weitere Entwicklung die Keimung.

Mag die Entwicklung einer Pflanze einen ungeschlechtlichen oder geschlechtlichen Ausgangspunkt haben, sie beginnt mit einer einzigen Zelle. Bei einzelligen kugeligen oder stäbchenförmigen Organismen von so einfacher Gestaltung wie etwa *Gloeo-capsa polydermatica* (Fig. 1) oder wie Bakterien (Fig. 4), wird der ganze individuelle Entwicklungsgang mit der Zweiteilung, welche neue selbständig werdende Individuen schafft, abgeschlossen (Fig. 1). Bleiben bei fortgesetzter, nur in einer Richtung fortschreitender Zweiteilung die Zellen miteinander verbunden, so kommt ein Zellfaden zustande (Fig. 4 a*). Zellflächen werden erzeugt, wenn die Teilungen zwar nach verschiedenen Richtungen, doch in derselben Ebene erfolgen; Zellkörper entstehen, wenn die Teilungswände nach drei Richtungen des Raumes orientiert sind. Der entstehende Organismus

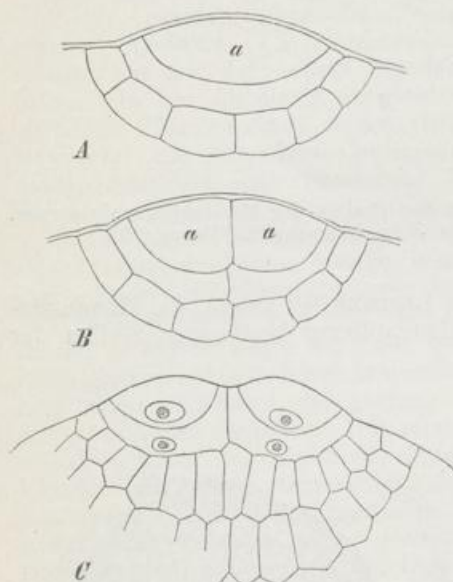


Fig. 162. Der Vegetationspunkt von *Dictyota dichotoma* und dessen Gabelung. a Die Scheitelzellen. (Nach E. DE WILDEMAN.) Vergr. ca. 500.

bleibt auf einer sehr niedrigen Entwicklungsstufe stehen, wenn alle seine Zellen gleichwertig sind und sich in gleicher Weise weiter vermehren. Er gleicht dann seinem Wesen nach den einzelligen Organismen, mit dem Unterschied, daß die auseinander entstandenen Zellen verbunden blieben. Einen höheren Grad der Differenzierung erreicht die Pflanze mit Ausbildung von Scheitel und Basis. Ein Vegetationspunkt wird angelegt, der fast stets den Scheitel einnimmt (Fig. 5). Er weist ein embryonales Verhalten auf, während die aus ihm erzeugten Teile den fertigen Zustand erreichen. Damit ist ein bezeichnendes Merkmal pflanzlicher Ontogenie, im Gegensatz zu der tierischen erlangt (S. 3). Bei einfach gebauten Pflanzen wird der Vegetationspunkt von einer einzigen Zelle gebildet. Immer schärfer prägen sich die Merkmale dieser als Scheitelzelle aus, von der die Gliederung des Pflanzenkörpers ausgeht. So bei der braunen Meeresalge *Cladostephus verticillatus*, die in Fig. 7 dargestellt wurde. Die vielzelligen Hauptachsen jener Alge laufen in kegelförmige Scheitelzellen aus. Jede

Scheitelzelle teilt sich durch quere Wände und bildet so die scheibenförmigen Segmente des Körpers. Diese teilen sich zunächst durch Längswände, dann durch Querwände in eine größere Anzahl von Gewebezellen. Aus bestimmten Randzellen der Segmente wachsen in akropetaler Folge die Seitenzweige hervor, die den Habitus der Pflanze bestimmen (Fig. 7). — Auch flache bandartig gestaltete Pflanzenkörper können eine kegelförmige, meist entsprechend abgeflachte Scheitelzelle besitzen, so die in Fig. 8 dargestellte braune Meeresalge *Dictyota dichotoma*⁽¹⁴⁶⁾. Von ihrer Scheitelzelle (a Fig. 162 A) werden durch konkave Querwände flache Segmente abgeschnitten, die des Weiteren sich durch Längswände teilen. Wir stellten die dichotomische Verzweigung bei dieser Alge früher schon (S. 10, 15) fest. Die Gabelung wird durch eine Längswand eingeleitet, welche die Scheitelzelle in zwei gleiche nebeneinander gelegene Hälften zerlegt (B, a, a). In diesen beiden neuen Scheitelzellen tritt hierauf je eine konkave Querwand auf, der an-

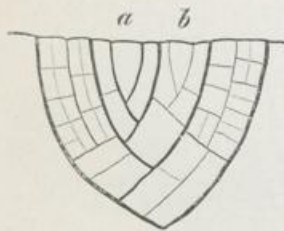


Fig. 163. Schema des Vegetationspunktes von *Metzgeria furcata* im Augenblick der Verzweigung. Von der Rückenfläche gesehen. a Die Scheitelzelle des Mutter sprosses, b des Tochter sprosses. (Nach KNY.) Vergr. ca. 370.

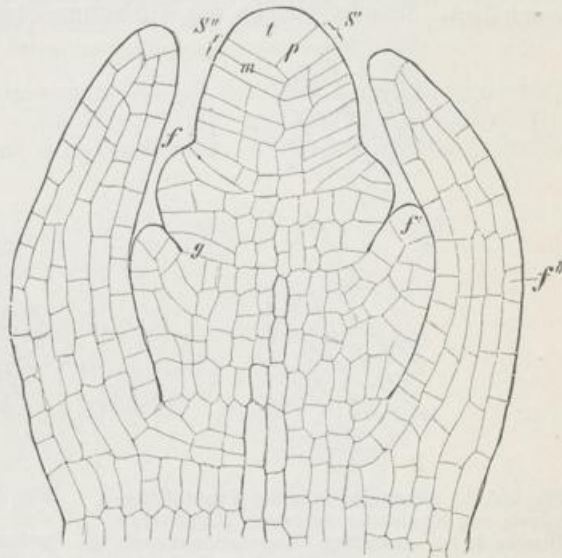


Fig. 164. Medianer Längsschnitt durch den Vegetationskegel von *Equisetum arvense*. Die Erklärung der Buchstaben im Text. Vergr. 240.

dere entsprechende Querwände scheitelwärts folgen, worauf beide Gabelzweige sich vorzuwölben beginnen. — Bei anderen bandartigen Algen und ähnlich gestalteten Lebermoosen, wie *Metzgeria* und *Aneura*⁽¹⁴⁷⁾, erhält die Scheitelzelle eine keilförmige Gestalt (Fig. 163) und wird dann auch als zweischneidige Scheitelzelle bezeichnet. Sie gibt durch aufeinanderfolgende, sich abwechselnd schneidende Scheidewände nach zwei Seiten hin Segmente ab, die sich weiter teilend, den Pflanzenkörper aufbauen. Die scheinbar rein gabelige Verzweigung der mit solchem Vegetationspunkt versehenen Lebermoose ist auf die frühzeitige Anlage neuer Scheitelzellen aus der randständigen Hälfte junger Segmente (Fig. 163 bei b) zurückzuführen. — Bei den aufrecht wachsenden, radiär gebauten Sprossen der Laubmoose, der meisten Farne und der Schachtelhalme pflegt die Scheitelzelle die Gestalt einer dreiflächig zugespitzten Pyramide⁽¹⁴⁸⁾ mit vorgewölbter Grundfläche zu besitzen und wird dann auch als dreiseitig pyramidale Scheitelzelle unterschieden. Sie nimmt den Scheitel des konischen Vegetationskegels ein, wie er für die höher organisierten Gewächse charakteristisch wird. Die

Scheitelzelle (Fig. 164 und 165) an den Hauptsprossen des Ackerschachtelhalmes (*Equisetum arvense*) kann als Beispiel dienen. Sie erscheint vom Scheitel aus gesehen (Fig. 165 A) als gleichseitiges Dreieck, in welchem die neuen Scheidewände parallel zu den Hauptwänden (p) angelegt werden und einer Schraubenlinie folgen. Jedes Segment (S' , S'') wird durch eine Scheidewand (m Fig. 164, 165) in eine obere und untere Hälfte zerlegt, dann jede dieser Zellen, wie der optische Durchschnitt unter der Scheitelzelle (Fig. 165 B) am besten zeigt, durch eine Sextantenwand (s) in zwei nebeneinander liegende Hälften geteilt. — Alle Wände, welche eine der Oberfläche eines solchen Vegetationskegels, oder anderen Pflanzenteils, gleichsinnige Krümmung zeigen, werden als perikline Wände, oder Periklinen, alle Wände, deren Krümmungen jenen der Oberfläche des Pflanzenteils, sowie auch der Periklinen entgegengesetzt sind, als antikline Wände oder Antiklinen bezeichnet. Wände, welche die Wachstumsachse in sich aufnehmen und die

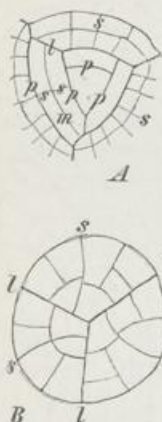


Fig. 165. A Scheitelansicht des Vegetationskegels von *Equisetum arvense*. B Optischer Durchschnitt desselben Vegetationskegels unter der Scheitelzelle. l Seitenwände der Segmente. Die Erklärung der übrigen Buchstaben im Text. Vergr. 240.

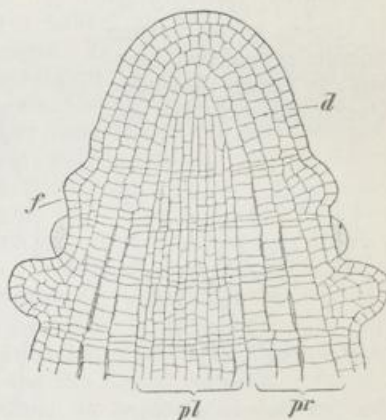


Fig. 166. Medianer Längsschnitt durch den Vegetationskegel von *Hippuris vulgaris*. d Dermatogen, pr Periblem, pl Plerom, f Blattanlagen. Vergr. 240.

Oberfläche des Pflanzenteils rechtwinklig treffen, heißen radial. — Aus dem Vegetationskegel von *Equisetum arvense* sieht man in einiger Entfernung von der Scheitelzelle den ersten Blattwirtel (f) sich erheben, der als kreisförmiger Wall in seinem ganzen Umfange, mit keilförmigen Randzellen, die abwechselnd nach innen und außen Segmente abgeben, wächst. Weiter abwärts folgen die nächstälteren Blattwirtel (f' und f'') aufeinander. In der Achsel des zweiten Blattwirtels ist eine der für die Seitensprosse bestimmten Initialzellen (g), die später zu einer dreiflächig zugespitzten Scheitelzelle wird, zu erkennen.

Schon bei den die höchste Stelle unter den Pteridophyten einnehmenden Lycopodineen geht die Scheitelzelle am Vegetationskegel des Stammes verloren, und bei den Phanerogamen kommt schließlich eine Anordnung der Zellen im Vegetationskegel zustande, wie sie durch die Fig. 166, für *Hippuris vulgaris*, veranschaulicht wird. Wir sehen übereinander gelagerte, mantelförmige Zellschichten, in welchen die Scheidewände, wie das SACHS⁽¹⁴⁹⁾ erkannte, eine Schar konfokaler Parabeln bilden. Die äußerste Zellschicht, welche den

Vegetationskegel deckt und als einfache Zellschicht auch die sich vorwölben-
den Blattanlagen überzieht, wird als Dermatogen (*d*) bezeichnet⁽¹⁵⁰⁾; die
Zellen, mit welchen der innere Gewebekegel, der Zentralzylinder, abschließt,
als Plerom (*pl*); die zwischen beiden gelegenen Zellschichten als Peri-
blem (*pr*). Deutlich tritt uns in dieser Figur auch die von SACHS zuerst
hervorgehobene rechtwinklige Schneidung der Scheidewände ent-
gegen. Die rechtwinklig die Oberfläche treffenden Antiklinen bilden eine
Schar orthogonaler Trajektorien für die gleichsinnig mit der Ober-
fläche gekrümmten Periklinen.

Während SACHS die rechtwinklige Schneidung zum obersten Prinzip des Verlaufs
der Scheidewände erhob, suchten ERRERA und BERTHOLD⁽¹⁵¹⁾ nachzuweisen, daß die
Krümmung und der Ansatz der Scheidewände denselben Gesetzen folge wie bei gewichts-
losen Flüssigkeitslamellen. Die Zellmembran habe im Augenblick ihrer Entstehung das
Bestreben, diejenige Gestalt anzunehmen, wie eine gewichtslose Flüssigkeitslamelle
(etwa aus Seifenwasser) sie unter denselben Bedingungen annehmen würde.

Die Wurzeln, welche zum ersten Mal bei den Pteridophyten auftreten,
wachsen dort zunächst mit einer dreiseitig pyramidalen Scheitel-
zelle⁽¹⁵²⁾ (*t* Fig. 167). Außer den Segmenten, welche diese Scheitelzelle

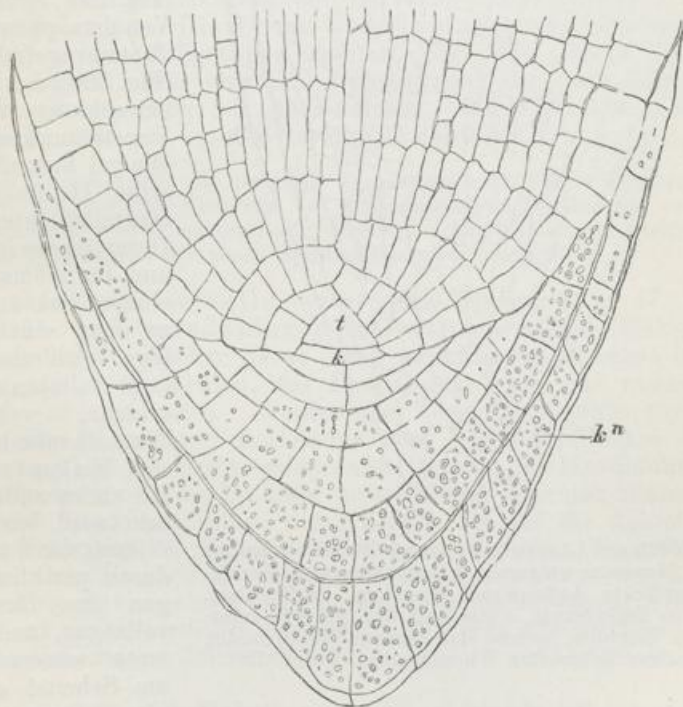


Fig. 167. Medianer Längsschnitt durch die Wurzel von *Pteris cretica*. *t* Scheitelzelle,
k Haubeninitiale, *k^n* Wurzelhaube. Vergr. 240.

nach dem Innern des Wurzelkörpers abgibt, bildet sie solche auch nach
außen (*k*). Die nach außen erzeugten Segmente sind kappenförmig, sie
bauen, indem sie sich weiter teilen, die Wurzelhaube auf. — Nach den
Untersuchungen von ROSTOWZEW⁽¹⁵³⁾ soll bei jenen Farnen (S. 40), deren

Wurzel einen terminalen Sproß zu bilden vermag, die dreiseitig pyramidale Scheitelzelle der Wurzel zur Scheitelzelle des neuen Sprosses werden und dann auch aufhören, nach außen Segmente abzugliedern. Die von der Sproßscheitelzelle erzeugten Segmente zeigen dementsprechend einen anderen Teilungsmodus als jene der Wurzel. — Bei den Lycopodineen verlieren auch die Vegetationskegel der Wurzeln ihre Scheitelzelle. Bei den Phanerogamen

bilden sich dann mehrere Typen des Wurzelwachstums aus, die zwar voneinander nicht unwesentlich abweichen, in der Anordnung ihrer Elemente aber denselben Gesetzen wie die Stammvegetationskegel folgen. Als Beispiel soll uns daher die Vertreterin eines dieser Typen, eine Gramineen-Wurzel

(Fig. 168), genügen⁽¹⁵⁴⁾. Von dem phanerogamen Stammvegetationskegel (Fig. 166), den wir zuvor betrachteten, weicht der Vegetationskegel dieser Wurzel besonders durch seine Haube ab. Die Mantelschichten seines Dermatogens (*d* Fig. 168) und Periblems (*pr*) vereinigen sich am Scheitel zu einer einzigen Zelllage. Außerhalb dieser liegt diejenige Zellschicht, welche die Wurzelhaube bildet, das sog. Kalyptragen (*k*). Bei vielen anderen Wurzeln wird hingegen die Bildung der Wurzelhaube durch perikline Teilungen des Dermatogens vollzogen, und ist letzteres seinerseits auch am Scheitel vom Periblem

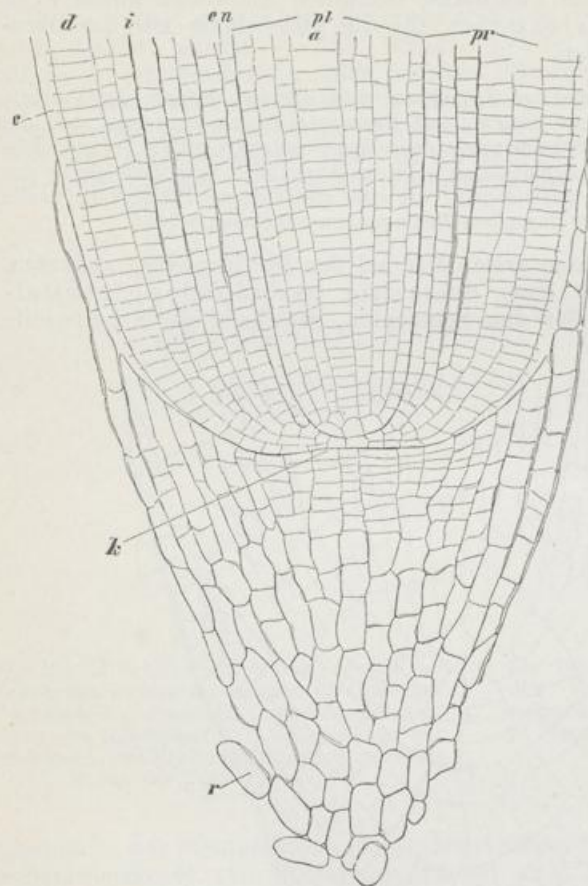


Fig. 168. Medianer Längsschnitt durch die Wurzelspitze der Gerste (*Hordeum vulgare*). *k* Kalyptragen, *d* Dermatogen, *c* verdickte Außenwand desselben, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *en* Endodermis, *i* mit Luft sich füllende Interzellularen, *a* Zellreihe, welche das zentrale Gefäß bildet, *r* abgestoßene Zellen der Wurzelhaube. Vergr. 180.

getrennt. Bei den Gymnospermen sind Periblem, Dermatogen und Kalyptragen am Scheitel überhaupt nicht gesondert. Der Pleromzylinder (*pl*) schließt hingegen in der Wurzel, sowie im Stamm, fast stets mit deutlich abgegrenzten Initialen ab.

Eine qualitative Sonderung im embryonalen Gewebe vollzieht sich in geringer Entfernung von den Vegetationspunkten. Dort tritt dieses Gewebe aus dem meristematischen Zustande bereits heraus, um die, dem betreffenden Pflanzenkörper zukommende Ausbildung zu erlangen. Bei den

eine Sonderung in Epidermis, primäre Rinde und Zentralzylinder in ihren Stengeln und Wurzeln aufweisenden Gewächsen bildet das Dermatogen im allgemeinen die Epidermis, das Periblem die primäre Rinde, das Plerom den Zentralzylinder; doch gelten diese Beziehungen nicht ausnahmslos. Keinesfalls dürfen die Zellanordnungen in dem embryonalen Gewebe der Vegetationspunkte als Ausdruck einer dort schon vorhandenen Sonderung der Gewebearlagen gelten, vielmehr sind es mechanische Momente, welche diese Zellanordnungen dort bestimmen. — Jedes Gefäßbündel muß das Periblem durchsetzen, um in ein Blatt zu gelangen. Das Periblem ist somit befähigt, nicht allein die primäre Rinde, sondern auch Gefäßbündelteile nebst den sie begleitenden Geweben des Zentralzylinders zu erzeugen. Die Termini Dermatogen, Periblem und Plerom sollen somit nur die kurze Bezeichnung bestimmter Zellschichten des Vegetationskegels erleichtern, nicht aber das Vorhandensein distinkter Gewebebildner, Histogene, wie man sich ausgedrückt hatte, dort bedeuten. Die äußere Zellschicht, aus welcher die Epidermis hervorgeht, pflegt einschichtig zu bleiben. Die Anlagen für die Gefäßbündel beginnen sich alsbald als prokambiale Stränge im Zentralzylinder zu sondern. In den Wurzeln wird aus der innersten Rindenschicht frühzeitig die Endodermis erzeugt.

An den Vegetationskegeln der mit einer Scheitelzelle wachsenden Sprosse werden neue Blatt- und Sproßanlagen aus einzelnen peripherischen Zellen oder Zellgruppen angelegt (Fig. 164). Nicht nur die neuen Sprosse erhalten dabei eine Scheitelzelle, auch die Blattanlagen beginnen meist ihre Entwicklung mit einer solchen. Weiterhin büßen letztere ihre Scheitelzelle meist ein, um ihre Ausbildung durch Randwachstum zu vollenden.

An den Farnblättern, die terminale Sproßanlagen zu bilden vermögen (S. 25), hat GÖBEL⁽¹⁵⁵⁾ den direkten Übergang der zweischneidigen Scheitelzelle der Blattspitze, durch Einschaltung einer entsprechend orientierten Wand, in eine dreiseitig pyramidale, welche die Scheitelzelle der neuen Sproßanlage wird, beobachtet.

Die ohne Scheitelzelle wachsenden Sprosse (Fig. 17, 166) bilden neue Blatt- und Sproßanlagen in Gestalt vielzelliger Höcker (Fig. 166). Die Anlage solcher Höcker pflegt durch perikline Zellteilungen in dem Periblem eingeleitet zu werden, das Dermatogen aber nur rechtwinklig zur Oberfläche sich zu teilen. Werden die Vegetationspunkte für die neuen Sprosse erst in größerer Entfernung vom Vegetationspunkte des Mutter-sprosses angelegt, so bleibt embryonales Gewebe für ihre Bildung an jenen Orten aufgespart. An im Frühjahr austreibenden Sprossen unserer Sträucher und Bäume kann die Anlage der Knospen bis auf die Achsel des acht-, ja selbst zehntjüngsten Blattes verschoben werden⁽¹⁵⁶⁾. Sie erfolgt dann an Orten, in deren Umkreis die Gewebedifferenzierung schon begonnen hat.

Der Vegetationskegel der sich rein dichotomisch verzweigenden Sprosse (vgl. S. 15) vermehrt zunächst in Richtung der künftigen Gabelungsebene die Zahl seiner Zellen, um sich hierauf in zwei Vegetationspunkte zu sondern.

Sehen wir von den Wurzeln jener Pteridophyten ab, die sich dichotomisch, ähnlich wie ihr Stamm verzweigen (vgl. S. 39), so ist die normale Entstehungsfolge aller andern Wurzeln, sowohl der mit, wie der ohne Scheitelzelle wachsenden, akropetal und treten sie erst in merklicher Entfernung vom Vegetationspunkt der Mutterwurzel auf, an Orten, an welchen die Gewebedifferenzierung bereits vollendet ist. Das Gewebe, welches die neuen Wurzeln bildet, ist bei den Phanerogamen der Pericykel, bei den Pteridophyten die innerste Rindenschicht. Die Seitenwurzeln haben somit, um

nach außen zu treten, die ganze Dicke der primären Rinde ihrer Mutterwurzel zu durchsetzen. Sie entstehen entweder vor den Vasalsträngen der Mutterwurzel, oder vor den Zwischenräumen, welche Vasal- und Cribralstränge trennen. Die Zahl der Reihen, welche die Seitenwurzel an der Mutterwurzel bilden, ist demgemäß, wie VAN TIEGHEM⁽¹⁵⁷⁾ zeigte, entweder gleich der Zahl der Vasalstränge, oder doppelt so groß wie diese. Da der Verlauf der Gefäßbündelstränge in den Wurzeln ein gerader ist, so stehen auch die Seitenwurzeln in geraden Reihen. Der seitliche Abstand dieser Reihen ist gleich groß, wenn die Seitenwurzeln vor den Gefäßsträngen entspringen; je zwei Reihen sind einander genähert, wenn die Seitenwurzeln rechts und links von jedem Gefäßstrang stehen.

Den als Keimung in der pflanzlichen Ontogenie bezeichneten Abschnitt der Entwicklung hat man bei den Phanerogamen noch in besonderer Weise abgegrenzt und auf die Entfaltung des im Samen schon angelegten Keimes beschränkt. Zu der Zeit, wo der Samen mit dem in ihm eingeschlossenen

Keim von seiner Mutterpflanze abgeworfen wird, weist dieser Keim meist schon die Gliederung auf, welche dem kormophyten Pflanzenkörper zukommt. Sein Schutz fällt zunächst der Samenschale zu, die es ihm auch ermöglicht, eine längere Ruhezeit durchzumachen. Reichlich aufgespeicherte Nährstoffe in ihm selbst oder den ihn umgebenden Samenteilern, sorgen für seine Ernährung während der Keimung. Man hat die einzelnen Glieder des phanerogamen Keimes entsprechend benannt. Die Fig. 169 zeigt für den Lebensbaum (*Thuja occidentalis*) bei A den medianen Längsschnitt durch einen reifen Samen, bei B einen im Beginn der Keimung befindlichen Samen, bei C einen etwas vorgerückteren Keimungszustand, bei D die Abstreifung der Samenschale, bei E endlich die entfaltete Keimpflanze.

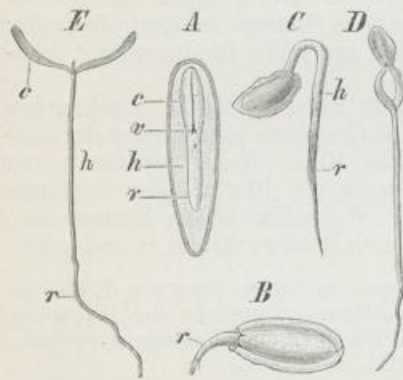


Fig. 169. *Thuja occidentalis*. Bei A medianer Längsschnitt durch den reifen Samen. Bei B bis E Keimungsstadien. *h* Hypokotyl, *c* Kotyledonen, *r* Radicula, *v* Stammvegetationskegel. A 5 mal, B und C 2 mal vergr. D und E nat. Gr.

faltete Keimpflanze. An diesem Keime wird nun unterschieden sein Stammteil als Hypokotyl (*h*), seine ersten vom Hypokotyl getragenen Blätter als Keimblätter oder Kotyledonen (*c*), seine Wurzel als Würzelchen oder Radicula (*r*). Aus der Radicula, die sich zur Haupt- oder Pfahlwurzel des aus dem Keim hervorgehenden Lebensbaumes entwickeln wird, brechen auf späteren Entwicklungsstadien die ersten Seitenwurzeln hervor. Der Stammvegetationskegel des Keimes (*v* in A) hat auf dem Keimungsstadium C bereits neue Teile angelegt, die sich aber noch nicht gestreckt haben und daher zwischen den Kotyledonen verborgen sind. — Die Fig. 170 stellt eine Keimpflanze der Weißbuche (*Carpinus Betulus*) vor, an der das Hypokotyl ebenfalls mit *h*, die beiden Kotyledonen mit *c*, die zur Pfahlwurzel sich entwickelnde Radicula mit *hw* bezeichnet sind. Diese Keimpflanze ist in ihrer Entwicklung weiter fortgeschritten, als die zuvor betrachtete, und zeigt ein vom Vegetationskegel des Stammes bereits erzeugtes Internodium, welches das entfaltete Laubblatt *l* trägt, während das nächst höhere Internodium noch nicht gestreckt ist und sein Laubblatt *l'* noch nicht entfaltet hat. Aus der Hauptwurzel sind bereits Seitenwurzeln (*sw*) in größerer Anzahl hervorgetreten.

Eine höher organisierte Pflanze, die mit tiefsten Bildungsstufen ihre Entwicklung beginnt und erst allmählich zu höherer Gliederung gelangt, wiederholt in ihrer Ontogenese gewissermaßen ihre phylogenetische Entstehung. Im einzelnen ist freilich vieles in dieser Ontogenese verändert, vieles beseitigt worden, so daß sie nur noch ein sehr unvollkommenes Bild der Vergangenheit entrollt. Dieses Bild bleibt für uns immerhin noch wertvoll genug, um neben dem Vergleich die wichtigste Quelle unserer morphologischen Erkenntnis zu bilden. Was von der Entwicklung aus der Keimanlage gilt, trifft bei der fertigen Pflanze im wesentlichen auch für ihre Fortentwicklung aus den Vegetationspunkten zu. Daher besitzt auch diese eine hohe Bedeutung

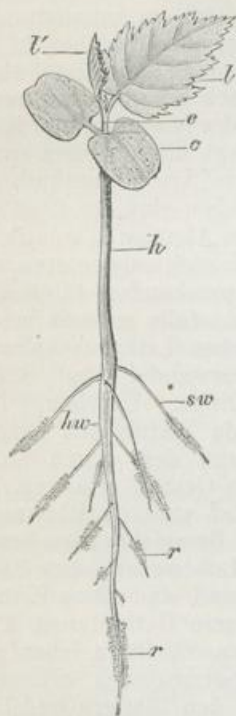


Fig. 170. Keimpflanze von *Carpinus Betulus*. *h* Hypokotyl, *c* Kotyledonen, *hw* Hauptwurzel, *sw* Seitenwurzeln, *r* Wurzelhaare, *e* Epikotyl, *l* und *l'* Laubblätter. Nat. Gr.

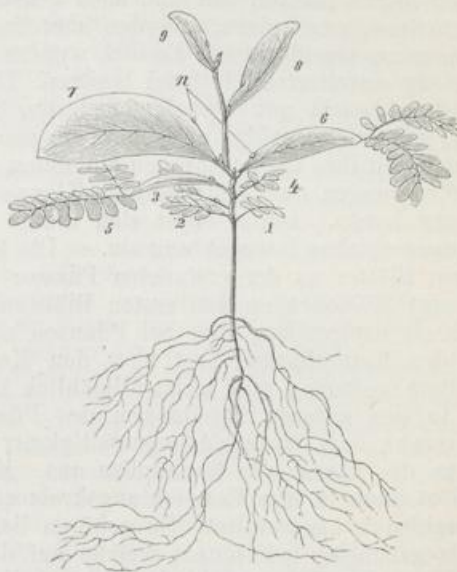


Fig. 171. Keimpflanze von *Acacia pycnantha*. Die Keimblätter schon abgeworfen. Die unteren Laubblätter 1–4 sind einfach, die folgenden doppelt gefiedert. An den Blättern 5 und 6 ist der Blattstiel bereits senkrecht abgeflacht. In den folgenden Blättern (7, 8, 9) ist er als Phyllodium ausgebildet. *n* Nektarien an den Phyllodien. Vergr. ca. $\frac{1}{2}$.

für die Feststellung von Homologien. Je zeitiger sich ein Merkmal in der Keimentwicklung, je früher es sich bei der erstarkten Pflanze am Vegetationspunkte einstellt, um so größer ist im allgemeinen sein Wert für die Beurteilung entfernterer verwandtschaftlicher Beziehungen unter den Gewächsen; je später es in der Keimentwicklung, je weiter es von den Vegetationspunkten der erstarkten Pflanze in die Erscheinung tritt, um so geringer wird sein allgemeiner Wert und um so größer seine besondere Bedeutung für die Charakterisierung der Gattung oder Art. — Die Nadelhölzer mit schuppenförmig ausgebildeten, angedrückten Blättern, wie die Lebensbäume (*Thuja Biota*), verschiedene Wacholder (*Juniperus*) und andere mehr, müssen wir, den aus früheren Erdperioden erhaltenen paläophytischen

Überresten nach, von nadelblatttragenden Nadelhölzern ableiten. Demgemäß finden wir an den Keimpflanzen der schuppenblatttragenden Koniferen typische Nadelblätter, und erst in einem bestimmten Alter treten an dieser sogenannten Jugendform⁽¹⁵⁸⁾ der Pflanze die Schuppenblätter auf. Unser Wacholder behält die Nadelblätter zeitlebens. Noch instruktiver sind die Jugendformen der mit Phylloiden versehenen neuholländischen Akazien. Wir haben eine solche Akazie (*Acacia pycnantha*) früher schon (S. 38) kennen gelernt. Wir nahmen an, daß die Phylloiden umgebildete Blattstiele seien, die sich spreitenartig verbreiterten, während die Lamina schwand. Eine keimende *Acacia pycnantha* (Fig. 171) liefert in ihrem Verhalten sichtbare Anhaltspunkte für diese Annahme. Die ersten Laubblätter der Keimpflanze, welche auf die Keimblätter folgen, sind einfach gefiedert, die höherstehenden doppelt gefiedert. Dann folgen Blätter, die eine noch gefiederte, aber doch bereits etwas reduzierte Spreite aufweisen, außerdem aber einen Blattstiel, der in senkrechter Richtung schon abgeflacht ist. Endlich werden Blätter erzeugt, die nur einen spreitenartig erweiterten Blattstiel besitzen. Da viele andere Arten innerhalb der Gattung *Acacia* mit doppelt gefiederten Blättern versehen sind, so liegt der phylogenetische Schluß nahe, daß die neuholländischen Akazien in relativ rezenter Zeit ihre zarten Spreiten einbüßten und durch die viel resistenteren, den Anforderungen des australischen Klimas besser entsprechenden Phylloiden ersetzt haben. Daher stellt sich dieses Merkmal jedenfalls so spät in der ontogenetischen Entwicklung ein. — Die Rankenplatterbse (*Lathyrus Aphaca*), deren Blätter an der erstarkten Pflanze in Ranken verwandelt sind (S. 38), erzeugt Blättchen an den ersten Blättern ihres Keimlings. Überhaupt läßt sich oft nachweisen, daß bei Pflanzen mit abgeleiteten Blattformen letztere an den Keimpflanzen erst über den Keimblättern und den ersten Laubblättern auftreten und meist allmählich ihre definitive Gestalt erlangen.

In den unteren Abteilungen des Pflanzenreichs ist vielfach Pleomorphismus d. h. Verschiedengestaltigkeit vorhanden. Er zeichnet im besonderen die Klasse der Fadenpilze aus. Mehr als ein Lebewesen, oder Biont, gehört dann in den Entwicklungskreis einer Spezies und sind diese Bionten verschieden ausgestaltet. So gehören beispielsweise zum Getreiderost (*Puccinia graminis*) Individuen, welche auf den Berberitzensträuchern leben und als Fortpflanzungsorgane die sog. Aecidien und Spermogonien erzeugen. Aus ihnen geht der ganz anders gestaltete Biont auf den Blättern und Halmen von Gräsern hervor, der seine Fortpflanzung durch die als Uredo- und Teleutosporen bezeichneten Gebilde besorgt. Aus diesen gehen auf feuchtem Boden im Frühjahr schlauchförmige Keimlinge hervor, die wiederum eine besondere Art von Fortpflanzungszellen, die Basidiosporen liefern. Erst mit dieser Sporenbildung ist der Entwicklungskreis der Art abgeschlossen, erst aus den Basidiosporen gehen wieder die unsere Berberitzen bewohnenden Individuen hervor.

Bei Behandlung der an die Befruchtungsvorgänge geknüpften Zellbildungen (S. 79) haben wir bereits erfahren, daß sie eine Verdoppelung der Chromosomenzahl der Kerne zur Folge haben. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die Befruchtungsvorgänge sich wiederholt im Tier- und Pflanzenreich eingestellt haben, sobald eine bestimmte Höhe der Organisation im phylogenetischen Entwicklungsgang erreicht war. Jedesmal mußte aber der Befruchtungsvorgang eine Verdopplung der Chromosomenzahl bewirken. Die einfache Chromosomenzahl ist als die den Organismen ursprünglich zukommende aufzufassen. Die Ansicht der meisten Forscher geht jetzt dahin, daß die Chromosomen fortbestehende Einheiten in den Zellkernen darstellen. Auch spricht vieles dafür, daß sie untereinander verschieden sind. Die Verdopplung der Chromosomen durch jeden Befruchtungsakt würde unter diesen Umständen eine fortdauernde Vermehrung ihrer Zahl bedingen, wenn nicht die Reduktionsteilung (S. 72) in den Entwicklungsgang solcher

Organismen eingeschaltet wäre und die Zahl wieder auf die Hälfte, also auf das ursprüngliche Verhältnis herabsetzte. Wenn in dem Entwicklungsgang eines Organismus die Reduktionsteilung unvermittelt auf die Befruchtung folgt, haben alle der betreffenden Art angehörenden Bionten nur eine einfache Zahl von Chromosomen aufzuweisen. So war es jedenfalls zunächst stets gleich nach Eintritt der Geschlechtssonderung und gilt wohl für zahlreiche jetzt noch lebende Thallophten. Im weiteren Verlauf der phylogenetischen Entwicklung gestaltete sich aber das Geschlechtsprodukt zu einem besonderen Bionten aus, der demgemäß die doppelte Chromosomenzahl in seinen Geweben führte. Erst bei Bildung seiner Fortpflanzungszellen schritt dieser Biont zu der Reduktionsteilung, durch welche seine Chromosomen auf die ursprüngliche Zahl wieder zurückgeführt wurden. Wo im Entwicklungskreis einer Spezies einfachchromosomige und doppelchromosomige Bionten vertreten sind, haben wir es mit Generationswechsel zu tun. Ein solcher Generationswechsel ist allen Byrophyten, Pteridophyten und Phanerogamen eigen, somit allen Pflanzen von den Moosen aufwärts. Die doppelchromosomige Generation gelangte bei diesen Pflanzen zur Herrschaft, während die einfachchromosomige eine zunehmende Einschränkung erfuhr. So ist der Pflanzenkörper, der uns bei den Pteridophyten und Phanerogamen besonders auffällt, doppelchromosomig, während die zugehörige einfachchromosomige Generation so unscheinbar wird, daß sie sich schließlich der unmittelbaren Wahrnehmung entzieht. Im besonderen gilt letzteres für die Phanerogamen, wo die einfachchromosomige Generation es gar nicht mehr zur selbständigen Existenz bringt, vielmehr im Innern der doppelchromosomigen Generation ihre Entwicklung vollzieht. Die einfachchromosomige Generation hat bei den Pflanzen die Bezeichnung Gametophyt, die doppelchromosomige Sporophyt erhalten. Um auch auf das Tierreich ausgedehnt werden zu können, müßte die Benennung anders lauten, etwa Haploid oder haploide Generation für das einfachchromosomige, Diploid oder diploide Generation für das doppelchromosomige Wesen.

Die jedesmalige Vereinigung von väterlichen und mütterlichen Chromosomen im Befruchtungsakt bringt es mit sich, daß die Kerne des Abkömmlings zur Hälfte mit väterlichen, zur Hälfte mit mütterlichen Chromosomen ausgestattet sind. Alle Kerne einer diploiden Generation führen jede Chromosomenart zweimal in zwei gleichwertigen Gebilden. Bei der Reduktionsteilung, durch welche die Bildung der Fortpflanzungszellen eingeleitet wird, vereinigen sich, wie wir sahen (S. 72), die Chromosomen während der Prophasen der Reduktionsteilung zu Paaren. Es ist anzunehmen, daß es die einander entsprechenden elterlichen Chromosomen sind, die sich vereinigen. Bei ihrer darauf folgenden Trennung in der Metaphase der Reduktionsteilung kann, allem Anschein nach jedes Chromosom in diesen oder jenen der beiden Tochterkerne gelangen, doch so, daß von jedem Paar je eins jedem Tochterkern zufällt. So sind einerseits alle Kombinationen der elterlichen Chromosomen in den Produkten dieser Teilung möglich, andererseits je ein Chromosom von jeder Art ihnen sicher. Alle diese morphologischen Vorgänge, welche uns die Beobachtung darbietet, stützen sehr die Annahme, daß die Kerne die Träger der erblichen Eigenschaften im Organismus sind⁽¹⁵⁰⁾.

Durch solche apogamische Vorgänge, welche die Reduktionsteilung ausschalten (S. 80), wird auch der Generationswechsel aufgehoben.

Bildungsabweichungen⁽¹⁶⁰⁾.

Vertreter der nämlichen Pflanzenart gleichen einander nicht vollständig. Ein jedes Individuum zeigt bestimmte, ihm nur zukommende Merkmale, durch welche es sich von den anderen Individuen derselben Spezies unterscheidet. Einzelne dieser Merkmale können auf Atavismus oder Rückschlag beruhen, d. h. eine Rückkehr zu bestimmten Eigenschaften der Vorfahren bedeuten. Die meisten individuellen Abweichungen gehören aber in das Gebiet der sog. fluktuierenden Variationen. Diese finden fortwährend im Entwicklungsgang jeder Spezies statt und lassen sich gewissermaßen mit dem Ausschlagen eines Pendels aus seiner Gleichgewichtslage vergleichen. — Bei unvermittelten Veränderungen, die so stark sind, daß sie das Individuum ganz auffällig von dem Typus der Art entfernen, pflegt

man von Mißbildungen zu sprechen. Ziehen diese Veränderungen Funktionsstörungen nach sich, so werden sie als krankhaft bezeichnet. Die Veranlassungen zu Mißbildungen können vom Organismus selbst ausgehen, in bestimmten Fällen gelingt es auch, sie mit äußeren Ursachen in Verbindung zu bringen. In letzter Beziehung sind besonders die Einflüsse lehrreich, die parasitische Organismen auf die Entwicklung einzelner Pflanzenteile ausüben. Die von dem Rostpilz (*Aecidium Euphorbiae*) befallene Cypressenwolfsmilch (*Euphorbia Cyparissias*) wird unfruchtbar, bleibt unverzweigt, erhält kürzere und breitere Blätter und erscheint in ihrem ganzen Aussehen so verändert, daß man sie kaum wieder erkennt. Blattläuse können Vergrünungen der befallenen Blütenessprosse veranlassen, wobei statt Blumenblättern laubblattähnliche Gebilde entstehen. Besonders eigenartig sind die Gallen oder Cecidien, deren Bildung durch Pilze und vornehmlich durch Tiere, Würmer und Arthropoden bedingt wird. Der Eingriff dieser Organismen in die normale Entwicklung der befallenen Pflanze ist mehr oder weniger bedeutend, je nachdem er die embryonale Substanz der Vegetationspunkte, oder ein schon angelegtes, jedoch noch in der Ausbildung begriffenes, oder endlich ein schon fertiges Glied des Pflanzenkörpers trifft. Die Larve der Gallmückenart *Cecidomyia rosaria* lebt über dem Vegetationspunkt der befallenen Weidensprosse. Sie veranlaßt demgemäß die Verbildung der ganzen Sprosse, die Entstehung jener Gallen, die als Weidenrosen bekannt sind und Blattschöpfe aus stark veränderten Blättern und gestauchten Achsentheilen darstellen. Verschiedene Fliegen (Diptera) legen ihre Eier in noch unfertige Blätter und regen um so stärkere Anschwellungen und Rollungen an, je jünger der Zustand war, in dem sie jene befielen. Unverändert in seiner Gesamtausbildung bleibt hingegen das Blatt der Eiche, das erst im ausgewachsenen Zustande von Gallwespen der Gattung *Cynips* angestochen wird. Das von der Mutterwespe eingeführte Gift und die aus dem Ei sich entwickelnde Larve veranlassen hier nur eine lokale Wucherung des Blattgewebes, die zur Bildung der kugeligen gelben oder roten, an den Seitenrippen der Blattunterseite sitzenden Gallen führt. Der auf die befallene Pflanze sich geltend machende Reiz bewirkt, je nach der Art des Erregers, die Entstehung verschieden geformter Gallen, aus deren Gestalt man vielfach auf den Erreger schließen kann.

Auch für solche Mißbildungen, welche die Pflanze aus inneren Ursachen erzeugte, kann gelten, daß sie um so extremer ausfallen, je früher sie sich einstellen. Wird bereits die embryonale Substanz eines Vegetationspunktes von ihrem normalen Entwicklungsgang abgelenkt, so kann ein ganz anderes Gebilde an Stelle des erwarteten treten. Oder es bilden sich Mittelformen von mehr oder weniger monströser Gestalt aus. Die embryonale Substanz der Vegetationspunkte ist noch zur unmittelbaren Bildung aller Anlagen befähigt, welche den Formenkreis der Spezies umfassen, und so mag an Stelle einer Blüte ein vegetativer Sproß entstehen, ja selbst der Vegetationspunkt einer Wurzel sich unmittelbar als Sproß weiter entwickeln. Hingegen werden schon angelegte Blätter in ihrer Veränderung sich vornehmlich innerhalb des Formenkreises der Blattmetamorphose halten, Blumenblätter beispielsweise an Stelle von Staubblättern oder Fruchtblättern sich bilden. Je später der ändernde Einfluß auf die Anlage sich geltend macht, um so unvollkommener wird ihre Umwandlung sein. Daher alle die mehr oder weniger verunstalteten Mittelformen, welche zwischen zwei Gebilden mit größerer oder geringerer Annäherung an eines von ihnen sich einstellen. Wenn somit verschiedene Glieder des Pflanzenkörpers bei einem anormalen Entwicklungsvorgang einander vertreten, dann auch durch Mittelformen

verbunden erscheinen, so ist daraus ein Schluß auf ihren phylogenetischen Zusammenhang nicht zu ziehen. Mißbildungen sind somit nur in den seltensten Fällen für morphologische Schlußfolgerungen zu verwenden. Als Rückschlagerscheinungen hätten sie diesen Wert, doch das sind sie sicherlich nur ausnahmsweise.

Alle anormalen Gestaltungen und Funktionen der Pflanzen bilden den Gegenstand der Phytopathologie. Soweit die pathologischen Gestaltungen allein in Betracht kommen, hat sich die pathologische Morphologie mit ihnen zu befassen. Mißbildungen der äußeren Gestalt werden noch besonders in der Phytoteratologie behandelt. Die pathologischen Änderungen der Form und des Inhalts pflanzlicher Zellen und Gewebe behandelt man in der pathologischen Pflanzenanatomie.

Die Ätiologie der anormalen pflanzlichen Gewebe lehrt uns, daß äußere Bedingungen der verschiedensten Art ihre Entstehung veranlassen können. Es herrschen aber unter ihnen die Wirkungen der Verwundung und der Besiedlung durch Parasiten vor. Anormale Zellen können nach ERNST KÜSTER sich von den normalen besonders durch ihren Inhalt oder ihre Wandverdickung oder durch ungewöhnliche Größenzunahme oder Hypertrophie unterscheiden, im letzten Falle auch sonst nicht erfolgende Zellteilungen aufweisen. Das abnorm erzeugte Gewebe gleicht dann entweder jenem, aus dem es hervorging, oder es weicht von ihm mehr oder weniger ab. Beispiele für solche Verschiedenheiten bieten die von uns S. 128 bereits behandelten Gewebebildungen bei der Wundenheilung, außerdem die zuvor erwähnten Gallen. Im allgemeinen zeichnen sich die Gewebe dieser letzteren weniger durch die Größe, als durch die Zahl ihrer Zellen und die mannigfache Ausbildung, welche diese erfahren können, aus. Auch pflegen die Gallengewebe oft eine auffällige Anhäufung von Eiweißkörpern und Kohlehydraten aufzuweisen. — In vielen Fällen macht ein verbildeter Pflanzenteil den Eindruck, als wenn seine Entstehung durch eine Hemmung im Entwicklungsvorgang beeinträchtigt worden wäre. Dann liegen Zwergbildungen vor und mangelhafte Gewebesonderungen, aus welchen sich auch eine entsprechende Herabsetzung der Leistungen ergibt. In allen Fällen, wo die Zellen eines Gewebes ihre normalen Eigenschaften nicht mehr aufweisen, können sie früher oder später regressiven Charakter annehmen und zu Degenerationen und Nekrose führen.