

d. h. durch Bildung neuer Zellen unter der Wurzelhaube. Die Rinde ist parenchymatisch.

Die Gefäßbündel sind bei den Monokotylen radial, sie bilden einen geschlossenen Kreis, welcher das centrale Mark (Verbindungsgewebe) umschließt; die Wurzel der krautartigen Dikotylen hat in ihrem Bau Ähnlichkeit mit der der Monokotylen, die der Holzpflanzen dagegen gleicht mehr dem Stamm, doch sind die Zellen sowohl des Holz- wie des Bastkörpers viel weiter, als im Stamm; daher ist die Wurzel im allgemeinen spezifisch leichter als der Stamm.

Da, wo der Stamm ein Dickenwachstum hat, fehlt es auch der Wurzel nicht.

Physiologie.

§ 31. Die Pflanzenphysiologie beschäftigt sich mit den Lebenserscheinungen der Pflanze, sie ist die Wissenschaft vom Leben der Pflanze.

Das Leben der Pflanze ist ein vegetatives, d. h. ohne Gefühl und Willenskraft und beruht auf dem chemisch-physikalischen Prozeß der beständigen Umwandlungen, welche innerhalb der Pflanzenzellen vor sich gehen; sie werden hervorgerufen durch das lebendige stickstoffhaltige Protoplasma und die diosmotische Thätigkeit der Zellmembran unter dem Einfluß von Wärme und Licht.

Die rechte Thätigkeit der Zelle beginnt erst dann, wenn die Temperatur eine bestimmte Anzahl Wärmegrade (das Minimum) erreicht hat, wie wir dieses an der bleichen Farbe der Pflanzenteile sehen, welche bei kalter Witterung aus dem Boden hervorsprossen, sie wird mit Erhöhung der Temperatur energischer (im Optimum), bis ein gewisser Punkt (das Maximum) erreicht ist, dann tritt Verzögerung und endlich Stillstand ein. Eine Wärme über 50° C. scheint die Pflanze nicht vertragen zu können.

Einfluß der
Wärme und
des Lichtes.

Ähnlich verhält sich die Pflanze zur Temperaturerniedrigung. Bei zu niedriger Temperatur ruht die Lebensthätigkeit, wie bei den perennierenden Gewächsen im Winter, sie kann aber auch vernichtet werden. Der Tod durch Erfrieren beruht darauf, daß ein Teil des Wassers bei der Temperaturerniedrigung aus den Zellen austritt, außerhalb derselben gefriert und Krusten bildet, wobei der Zelleninhalt konzentrierter wird und nicht gefriert. Beim langsamen Auftauen nun hat die Zellmembran Zeit, das ausgeschiedene Wasser wieder aufzunehmen, beim raschen Tauen ist dies nicht möglich, es tritt in den Zwischenräumen der Zellen eine Stagnation ein und die Pflanze beginnt zu faulen; oder das Wasser sucht sich einen Weg nach außen, dann schrumpfen die Gewebe durch Wassermangel und vertrocknen. Die untere Temperaturgrenze, bei der die Pflanze ihre Lebensthätigkeit noch fortsetzt, ist sehr verschieden, für tropische Pflanzen liegt sie bei 15—16°, für Gewächse der gemäßigten Zone etwa bei 5°, für solche der kalten Zone etwas unter 0°. Das Optimum des Wachstums haben die Pflanzen zwischen dem 22° und 36°.

Ebenso hat das Licht einen sehr großen Einfluß auf das Pflanzenleben, nämlich auf die Bildung von Chlorophyll, auf die Assimilation

und auf das Wachstum. Ohne Lichtzutritt bleiben die Keime farblos oder hell und die älteren Pflanzenteile werden bleicher, nur die Keimpflanzen der Nadelhölzer und die Wedel der Farnkräuter grünen auch im Dunkeln. Von der Assimilation wird später die Rede sein.

Die Wirkung des Lichtes auf das Längenwachstum (mechanische Wirkung) äußert sich darin, daß es dasselbe verzögert, wie dies daraus ersichtlich ist, daß die im Dunkeln austretenden Kartoffelkeime viel länger sind, als die am Licht entstandenen; ebenso hindert oder verzögert das Licht die Bildung von Luftwurzeln an rankenden Gewächsen, z. B. am Epheu; sie wird aber begünstigt an schwach beleuchteten Stellen. Die größte Wachstumsenergie haben die Pflanzenteile in der Zeit kurz vor Sonnenaufgang, das geringste Wachstum findet bei Sonnenuntergang statt.

Tier, Pflanze, Krystall.

§ 32. In der organisierten Natur sowohl bei der Pflanze als beim Tier ist die Zelle das Elementarorgan, aus dem beide hervorgehen; im Mineralreiche fehlt die Zelle, daher ist die Grenze zwischen den beiden ersteren Reichen und dem letzteren, dem Mineralreiche, von selbst gegeben; schwieriger ist dieselbe zwischen dem Pflanzen- und Tierreiche zu ziehen, da sich die einfachsten, oft nur aus einer einzigen Zelle bestehenden Gebilde so nahe berühren, daß die Entscheidung, ob Pflanze oder Tier, der Ansicht und dem Urteile des Forschers überlassen bleibt. Ziehen wir die höheren Pflanzen in Betracht, so unterscheiden sie sich von den Tieren:

1. dadurch, daß die letzteren einen bestimmten Circulationsapparat haben, ein Gefäßsystem von Arterien und Venen, welches durch das Herz reguliert wird. Ein solches fehlt den Pflanzen; ihre Zellen sind geschlossen, der Säfteaustausch geschieht nur durch die Wandungen der Zellen auf dem Wege der Diösmose.

2. Die Aufnahme der Nahrung und Ausscheidung der Exkremente findet beim Tier durch einen besonderen Verdauungsapparat statt, bei den Pflanzen dienen zur Aufnahme der Nahrung die feinen Wurzelhaare und die Oberfläche der grünen Blätter und Stengel, zur Aus- und Abscheidung bestimmter Stoffe teils im Innern der Pflanze, teils nach außen hin die Sekretions- und Exkretionsorgane.

3. Die Art der Nahrung ist bei beiden verschieden: die Tiere können feste, flüssige und gasförmige Bestandteile aufnehmen, während die Pflanzen nur auf die beiden letzteren angewiesen sind. Die Tiere beziehen ihren Bedarf aus der organischen Natur, die Pflanzen — mit Ausnahme der Schmarotzer — nur aus der anorganischen.

4. Der chemische Prozeß ist bei beiden ein anderer, beim Tier ist er oxydierend, indem dasselbe Sauerstoff aus der Luft aufnimmt und Kohlensäure ausatmet, bei der Pflanze dagegen ist er reduzierend, sie nimmt Kohlensäure ein und scheidet Sauerstoff aus.

5. Den Pflanzen mangeln alle geistigen Funktionen und willkürlichen Bewegungen — eine Ausnahme machen vielleicht die Schwärmsporen der Algen und die Schleimpilze.

6. Die Wachstumsgrenze ist bei beiden eine verschiedene. Das Tier erreicht ein bestimmtes Alter, in welchem das Wachstum stationär ist, in

welchem die Lebensprozesse sich auf die Ernährung und Erhaltung des Körpers beschränken; bei der Pflanze ist das Wachstum unbegrenzt, wenigstens zeigen einige Glieder der Pflanze stets Wachstumsvorgänge.

Vom Krystall unterscheidet sich die Pflanze

1. durch die Ungleichheit der Stoffe, denn der Krystall hat seine ganze Masse hindurch eine und dieselbe Zusammensetzung;

2. durch das vegetative Leben; die Pflanze ist fähig, sich zu entwickeln, sich selbst zu erhalten und fortzupflanzen und dann abzusterben, der Krystall bleibt wie er ist, wenn nicht äußere zerstörende Einflüsse auf ihn einwirken. Linné drückt den Unterschied unter den drei Naturreichen treffend in den Worten aus: *Mineralia crescunt, Plantae crescunt et vivunt, Animalia crescunt, vivunt et sentiunt.*

Elementarbestandteile der Pflanze.

§ 33. Die Bestandteile des Pflanzenkörpers sind teils organischer, teils anorganischer Natur; sie setzen sich zusammen aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen, außerdem finden sich Natrium, Lithium, Mangan, Silicium, Chlor, Jod, Brom, und selten Aluminium, Kupfer, Zink, Cobalt, Nickel, Strontium, Baryum. Nach Ost enthalten alle gesunden Pflanzen von normalem Standort Fluor.

Die ersten zehn Elemente sind als Nährstoffe der Pflanzen zu betrachten, da Versuche gezeigt haben, daß sie zum Leben derselben durchaus nötig sind.

Den größten Teil an der Zusammensetzung des Pflanzenkörpers beansprucht das Wasser, nämlich bei den krautartigen Gewächsen zwischen 60—80%, bei den Wasserpflanzen bis zu 95%. In dem Rest der Trockensubstanz ist der Zellstoff, die Cellulose ($C_6H_{10}O_5$) am stärksten vertreten. Die Cellulose ist in konz. Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak löslich, unlöslich in Ätzkali. Durch Jodlösung wird sie nicht blau gefärbt, die Blaufärbung tritt aber ein nach Behandlung mit Schwefelsäure, durch Umwandlung des Zellstoffes in Amyloid. Sie tritt in den Wandungen der jugendlichen Zellen neben Eiweiß (Dermatoplasma) fast rein auf, in älteren ist sie verändert durch Infiltration oder Inkrustation mit Holz-, Korksubstanz u. s. w. (S. auch Bd. I S. 452.)

Cellulose.

Die Ernährung der Pflanze.

§ 34. Die Pflanze ist auf zweierlei Nahrung angewiesen, auf die flüssige und gasförmige; demzufolge besteht die Ernährung derselben aus zwei ineinandergreifenden Prozessen, es sind dies die Aufnahme der mineralischen und Stickstoffverbindungen aus dem Boden und die Bildung der organischen Substanzen durch Aufnahme von Kohlenstoff aus der Luft (Assimilation). Nur wenige Pflanzen vermögen direkt organische Nahrung in sich aufzunehmen, es sind dies 1. die Schmarotzerpflanzen (Parasiten), welche sich auf anderen lebenden Pflanzen festsetzen und aus denselben mittelst Saugorganen (Haustorien) die Nährstoffe sich besorgen; 2. die insektenfressenden Pflanzen, welche mittelst besonderer Organe Tiere, z. B. Insekten, fangen und durch ein Ferment dieselben bis auf die härteren Teile löslich machen. Sie benutzen die

Assimilation.

Insekten als Nahrung, sind aber wahrscheinlich nicht darauf angewiesen (s. Drosera); 3. die Saprophyten, Fäulnisbewohner, welche von toten Organismen leben. Die Assimilation der Nährstoffe geschieht nicht durch die Thätigkeit des Protoplasmas, sondern durch die Wirkung diastatischer Fermente.

I. Die Bodennahrung.

Die Bodennahrung, also die anorganischen Nährstoffe, muß sich die Pflanze in flüssiger Form zu verschaffen suchen. Wichtig sind besonders lösliche Kalium-, Ammonium-, Calcium-, Magnesium- und Eisensalze, Phosphorsäure und Salpetersäure. Wiewohl der Stickstoff in der atmosphärischen Luft reichlich vorhanden ist, nimmt ihn die Pflanze doch vorwiegend aus dem Boden, und zwar aus salpetersauren Salzen und Ammoniakverbindungen, da der freie Stickstoff der Luft nicht aufgenommen werden kann (außer von den Leguminosen).

Nach den Versuchen von Schlössing, Laurent und Petermann sind es niedere Pflanzenorganismen, die sich im feuchten Boden entwickeln, welche die Stickstoffaufnahme der Pflanzen vermitteln.

Bemerkenswert ist, daß das Natrium, welches im Kochsalz eine so große Verbreitung hat und in reichlicher Menge von den Strandpflanzen aufgenommen wird, doch zum Leben der Pflanze nicht notwendig ist und daß es auch das Kalium innerhalb des Pflanzenkörpers nicht vertreten kann.

Über die Art der Verwendung der vorgenannten Salze steht fest, daß die schwefelsauren und phosphorsauren Salze zur Konstitution der Eiweißkörper und der diesen ähnlichen Verbindungen dienen. Die Calciumsalze werden mit der Bildung von Kohlehydraten in Verbindung gebracht, da sie sich meist in den Pflanzenteilen finden, welche reich an Stärke, Zucker u. s. w. sind, z. B. in den Kartoffelknollen, Zuckerrüben, Weintrauben u. a. Die Eisenverbindungen sind notwendig zur Bildung von Chlorophyll, da Pflanzen, welche ohne Eisenzufuhr aufgezogen werden, sehr bald die grüne Farbe verlieren, also bleichsüchtig werden, dieselbe aber wieder erhalten, wenn sie mit schwach eisenhaltigem Wasser begossen werden.

Eine Pflanze kann sich normal bis zur Samenreife in einer Lösung entwickeln, welche Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Phosphor, Schwefel, Chlor und Stickstoff in Form von Salzen enthält (Wasserkultur).

Eine solche Lösung läßt sich herstellen aus Salpeter (1 gm.), Gyps, Bittersalz, Calciumphosphat, Kochsalz (von jedem 5 gm.), Eisenchloridflüssigkeit (1 Tropfen), Eisenvitriol (0,02 gm.) und 1 Liter Wasser.

Man findet dabei, daß die Pflanzen nicht alle in derselben Weise ihre Bedürfnisse aus solchen Lösungen befriedigen, sondern jede in der ihr zusagenden Art; Hülsenfrüchte nehmen z. B. vorzugsweise Calcium, Kartoffeln Kalium, alle Pflanzen mit vorwiegender Samenentwicklung Phosphorsäure, die Gräser Kieselsäure auf. Man bezeichnet dieses als Wahlvermögen der Pflanze.

Wahl-
vermögen.

Dieses schließt jedoch nicht aus, daß auch andere, selbst schädliche Substanzen aufgenommen werden, z. B. Kupfersulfat. Wird eine Pflanze längere Zeit mit Ferrocyankalium und nachher mit Ferrisulfatlösung begossen, so können die Niederschläge von gebildetem Berlinerblau in den Saftwegen nachgewiesen werden.

Die feinen Wurzelhaare, äußerst zartwandige, enge Schläuche, nehmen die im Boden gelöst vorhandenen Stoffe auf, oder sie führen die wasserunlöslichen mineralischen Stoffe vorher durch Ausscheiden eines sauren Saftes in lösliche Formen über. Die Weiterbeförderung geschieht zumeist durch *Diosmose*. Sie beruht darauf, daß die Zellwandungen quellbar, inbibitionsfähig sind und dem Wasser, sowie den darin gelösten Substanzen den Durchgang gestatten. Dieser Prozefs ist in der lebenden Pflanze ein unbeschränkter, denn er dauert von Zelle zu Zelle so lange, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, d. h. bis in allen diosmosierenden Zellen der Inhalt der gleiche ist. Wird z. B. in einer Zelle der Zucker in Stärke verwandelt, so ist das Gleichgewicht gestört, es strömt aus der Nachbarzelle so lange Zuckerlösung nach, bis die Konzentration in beiden Zellen die gleiche ist. So pflanzt sich dieser Vorgang fort von Zelle zu Zelle, von der Wurzelspitze bis zu den Blättern; derselbe wird wesentlich erleichtert dadurch, daß der protoplasmatische Inhalt der Zellen durch sehr feine Fäden mit dem Protoplasma der Nachbarzellen in Verbindung steht.

Diosmose.

Für eine wagerechte Saftbewegung sorgen die Markstrahlen und zwar vermitteln die primären Markstrahlen die Verbindung zwischen Mark und primärer Rinde, die sekundären die zwischen Holz und sekundärer Rinde. Eine hervorragende Rolle spielt bei der Ernährung der Pflanze das Wasser. Alle Lösungen von Salzen und dergleichen können nur in höchstverdünntem Zustande aufgenommen werden, es würde also den Pflanzenorganen sehr wenig von den Nährstoffen zu gute kommen, wenn nicht für eine Konzentration der Flüssigkeiten innerhalb der Pflanze selbst gesorgt wäre. Dieses geschieht durch die Verdunstung (*Transpiration*). Dieselbe findet statt in den Blättern und grünen Rindenteilen, welche durch das Licht und die Temperaturwärme veranlaßt werden, das in sie eingeführte Wasser zum Teil in Form von Wasserdampf durch die Spaltöffnungen entweichen zu lassen.

Transpiration.

Man hat festgestellt, daß dieses Verdunstungswasser bei kräftigem Wachstum oft in wenigen Tagen das Gewicht und Volumen der ganzen Pflanze um ein Vielfaches übertrifft.

Die Intensität der Verdunstung hängt ab von der Licht- und Wärmemenge, von der Größe der Blattfläche, von Erschütterungen der Pflanze u. s. w.

Ist der Verlust an Wasser in den Blättern größer als die Zufuhr, so werden zunächst die Leitungsorgane wasserärmer, kann die Ausdünstung der zarteren Organe nicht mehr gedeckt werden, so hört ihre Schwellung auf, sie verlieren ihre Steifheit und hängen unter der Schwere ihres eigenen Gewichts herab, sie welken.

Dieser Ernährungsvorgang wird weiter unterstützt durch den *Wurzeldruck*. Die Wurzeln nehmen fortwährend das Wasser und die darin gelösten Stoffe aus dem Boden auf unbekümmert darum, ob dasselbe in gleicher Menge verbraucht wird. Es muß daher ein Druck nach oben stattfinden, der zuweilen so stark ist, daß, wenn die Transpiration nicht regulierend einwirken kann, das Wasser austritt. So sieht man bisweilen Wassertropfen an bestimmten Stellen der Pflanze, z. B. an den Spitzen der Blätter (bei Calla) austreten. Am stärksten wirkt der Wurzeldruck im Frühjahr.

Wurzeldruck.

II. Die Luftnahrung.

§ 35. Die Pflanze bezieht ihren Kohlenstoffbedarf einzig und allein aus der Kohlensäure der Luft, welche unter Mitwirkung des Lichtes in den chlorophyllhaltigen Zellen zersetzt wird. Es geschieht dies in der Weise, daß Sauerstoff abgespalten und im Innern der Zelle an einen Körper gebunden wird, welcher osmotisch austritt, um dann erst in Sauerstoff und einen zweiten noch nicht bekannten Körper zu zerfallen (Pringsheim), während der Kohlenstoff mit den Elementen des Wassers zu organischen Verbindungen zusammentritt. Das erste Produkt dieses chemischen Prozesses, der Assimilation, ist die in Form von kleinen Körnchen in den Chlorophyllkörnern auftretende Stärke ($C_6H_{10}O_5$). Die Organe der Assimilation sind die jungen grünen Rindenteile und besonders die Laubblätter. Die Stärke ist das Ausgangsmaterial für die Bildung der weiteren organischen Verbindungen und zwar unter Mitwirkung des Stickstoffs, der mineralischen Bodenbestandteile und des Sauerstoffs der Luft; man bezeichnet diesen Prozess als Stoffwechsel. Die nächsten Umwandlungsprodukte sind Zucker, Inulin, welche eine ähnliche Zusammensetzung haben, dann Fette. Stärke, Zucker und Inulin liefern vorzüglich das Material für die Bildung der Zellmembranen, während die stickstoffhaltigen Eiweißkörper als Bildungsstoffe für das Chlorophyll und Protoplasma dienen. Sie werden als Baustoffe des Pflanzenkörpers bezeichnet.

Die Stärkekörner werden, damit sie transportfähig sind, fort und fort aufgelöst und aus den Blättern weggeführt, während stets neue Stärke gebildet wird, so daß jederzeit ein Vorrat von unzersetzter Stärke in den grünen Blättern vorhanden ist. Aus den Blättern werden die Assimilationsprodukte teils nach den Verbrauchsstellen, den jungen wachsenden Pflanzenteilen, teils als Reservestoffe zu besonderen Organen, den Reservestoffbehältern, geführt, wo sie bis zu einer späteren Verwendung aufbewahrt bleiben. Solche Stapelplätze sind für die perennierenden Gewächse die Markstrahlen und das Holzparenchym des Stammes, ferner die Knollen, Zwiebeln, Samen.

Sollen die unlöslichen abgelagerten Reservestoffe zur Bildung von Cellulose oder Protoplasma verwandt werden, so müssen sie zunächst in lösliche Form gebracht werden; dies geschieht durch ein eigentümliches Ferment. Sie machen eine Reihe Umwandlungen durch, bevor sie das Endprodukt, Cellulose oder Protoplasma, erreicht haben. Von den Baustoffen der Membranen (Stärke, Rohrzucker, Inulin, fettes Öl) wird stets ein Teil in Traubenzucker verwandelt. Die Zwischenprodukte der stickstoffhaltigen Reservestoffe, welche das Protoplasma liefern, sind wenig bekannt.

Das Leitsystem für die Kohlenhydrate ist das Parenchym, für die stickstoffhaltigen Körper (Eiweißkörper) die Siebröhren und Milchsaftgefäße, für das Wasser die Zellmembranen.

Neben-
produkte.

§ 36. Nebenprodukte. Aus den Reservestoffen bilden sich außer den Baustoffen verschiedene Körper, welche teils als Zersetzungsprodukte bei der Umwandlung derselben auftreten, und deren Thätigkeit für das Pflanzenleben nicht ohne Bedeutung ist, z. B. Säuren, Gerbstoffe, Farbstoffe, Alkaloide, ätherische Öle u. s. w. (die Nebenprodukte des Stoffwechsels), teils sich als Endprodukte oder Ausscheidungsprodukte des

Stoffwechsels darstellen; sie finden für die Pflanze keine Verwendung und werden ausgestoßen, entweder innerhalb oder außerhalb des Pflanzenkörpers, wie Gummi, Kampfer, Harz.

Die Atmung der Pflanzen.

§ 37. Das Atmen der Pflanzen besteht wie bei den Tieren in der Aufnahme von Sauerstoff aus der atmosphärischen Luft und in einer chemischen Wechselwirkung dieses aufgenommenen Sauerstoffs mit den organischen Verbindungen des lebenden Pflanzenkörpers in der Weise, daß auf Kosten des Kohlenstoffs derselben Kohlensäure (nach Boussignault auch Wasser) gebildet und ausgehaucht wird.

Die Pflanze hat für diese Funktion keine besonderen Organe, es beteiligen sich daran nicht bloß die chlorophyllhaltigen Teile, also besonders die grünen Blätter, sondern die Pflanze atmet mit ihrem ganzen Pflanzenkörper, mit den Wurzeln, Stengeln, Blättern und Blüten.

Das Atmen ist ein der Pflanze durchaus notwendiger Vorgang, sie belebt die Thätigkeit des Protoplasma, regt dadurch das ganze Leben der Pflanze an und leitet die chemischen Prozesse ein; ohne Sauerstoffzufuhr kann keine Pflanze bestehen; hat die atmosphärische Luft z. B. zu den Wurzeln keinen Zutritt, so geht die Pflanze ein. Werden daher die Pflanzen zu reichlich begossen, so daß die zwischen den Bodenteilchen befindlichen Zwischenräume ausgefüllt bleiben, oder ist die Erdoberfläche zu fest wie in den Straßen, so ist keine Luftzirkulation zu den Wurzeln möglich. Die Wasser- und Saugpflanzen sind deshalb mit großen Lufträumen versehen, welche sich von den oberirdischen Teilen nach den unterirdischen erstrecken und diese mit Luft, bzw. Sauerstoff versorgen.

Die Atmung ist, wie im animalischen Leben, ein Oxydations- (Verbrennungs-)prozeß; der Sauerstoff der Luft bildet nach einer tief eingreifenden Zersetzung der Kohlenhydrate des Pflanzenkörpers mit dem Kohlenstoff der letzteren Kohlensäure, welche ausgehaucht wird. Dadurch muß aber die Körpermasse der Pflanze abnehmen. Diese Gewichtsverminderung wird dadurch ausgeglichen, daß am Tage die Assimilation das Atmen, welches ersterer gegenüber zu jeder Tageszeit stattfindet, bedeutend überwiegt, sodaß eine Anhäufung von Kohlenstoffverbindungen, von Baustoffen bewirkt wird, und der Pflanzenkörper an Gewicht stets zunimmt. Während im Lichte Assimilation und Atmung nebeneinander vor sich gehen, hört die erstere im Dunkeln ganz auf. Die Beziehung beider zu einander ist aber einleuchtend: die Assimilation liefert das Material, die Atmung dagegen die Kräfte, um das Material in Bewegung zu setzen, überhaupt die Lebensprozesse in Gang zu bringen.

Wie bei jedem Oxydationsprozeß wird auch beim Atmen in der Pflanze Wärme frei; da jedoch durch andere Faktoren die Abkühlung sehr begünstigt wird, bemerkt man die durch die Atmung bewirkte Temperaturerhöhung für gewöhnlich nicht; nur in einzelnen Fällen, z. B. bei der Keimung nahe bei einander liegender Samen, wie der Gerstenkörner bei der Malzbereitung, beim Öffnen der Blumen der *Victoria regia*, wo die Abkühlung beschränkt ist, tritt sie in die Erscheinung.

Das Wachstum der Pflanzen.

§ 38. Das Wachsen der Pflanzen d. h. die durch den Lebensprozefs hervorgerufene fortschreitende, mit bleibenden Veränderungen verbundene Volumenzunahme der Pflanze beruht auf Vorgängen, welche innerhalb des Pflanzenkörpers stattfinden unter Mitwirkung äußerer Ursachen. Das Wachstum ist an keine bestimmte Periode gebunden, sondern so lange die Pflanze lebt, wächst sie auch, wenigstens an gewissen Teilen; eine Ausnahme machen die Blätter, welche, wenn sie eine bestimmte Gröfse erreicht haben, nicht weiter wachsen.

Vorbedingung zum Wachstum ist das Vorhandensein von Baustoffen.

Der im Innern der Pflanze sich vollziehende Prozefs besteht hauptsächlich darin, dafs unter der vermittelnden Thätigkeit des Protoplasmas feste Substanzen in die Zellwände eingelagert und aufgelagert werden (Intussusception und Apposition) und dafs ebenso Wasser in dieselben eindringt. Einen sehr wesentlichen Anteil dabei hat der Turgor, das Turgor. Strotzen. Die Zellwände lassen nämlich auf diosmotischem Wege Wasser und die darin gelösten Stoffe in den Zellraum eintreten, so lange bis derselbe nichts mehr aufnehmen kann. Die Zellmembran wird dadurch gespannt, übt aber ihrerseits einen Druck auf die in dem Zellraum enthaltene Flüssigkeit aus, sodafs sie hinausgedrängt würde, wenn nicht die zähe Protoplasmamasse dies verhinderte. Die Zelle strotzt, turgesziert, sie ist steif aber biegsam wie ein aufgeblasener Ballon. Indem sie durch die eingetretene Streckung eine bleibende Ausdehnung erhält, verstärken sich gleichzeitig ihre Wandungen durch Einlagerungen fester Bestandteile aus dem Zellinhalte.

So vergrößert sich jede einzelne Zelle und damit der ganze Pflanzenkörper.

Das Wachstum ist nicht ein durchaus gleichmäfsiges, es lassen sich vielmehr drei der Intensität nach verschiedene Regionen unterscheiden; jede im Urparenchym entstandene Zelle wächst zunächst langsam, dann rascher bis zu einer gewissen Geschwindigkeit, um allmählich das Wachsen einzustellen. Um dieses zu beobachten, trägt man an einer wachsenden Keimwurzel Marken (Fig. 109) auf; nach einem Tage sieht man, dafs dieselben in ungleichen Abständen voneinander gerückt sind, und zwar stehen sie an der Wurzelspitze, da wo sich nur dünnwandiges und grofskerniges Urparenchym befindet, sich am nächsten, in einer darauffolgenden Region sind sie weit von einander entfernt, während in der dritten sie wieder nahe zusammen stehen, in der zweiten ist also das Wachstum am intensivsten, hier herrscht eine lebhafte Wasseraufnahme und Vergrößerung des Zellraumes, hier beginnt die Bildung der einzelnen Gewebeformen. In der dritten Region, wo sich hauptsächlich Dauergewebe befindet, hört das Wachsen auf. Ähnlich der Keimwurzel verhalten sich die Stengel betreffs des Wachstums.

Fig. 109.



Wachsende Keimwurzeln einer Erbse.

Geotropismus, Heliotropismus.

§ 39. Die das Wachstum beeinflussenden äußeren Ursachen sind Wärme Licht und Schwerkraft. Betreffs der Wärme gilt das S. 47 über deren Einfluß auf die Lebensvorgänge überhaupt Gesagte. Die Schwerkraft wirkt in sofern auf das Wachstum ein, als die Hauptwurzeln der Pflanzen in der Richtung des Erdradius abwärts, die Stengel gerade aufwärts wachsen (Geotropismus¹) und Heliotropismus²). Dieses Streben nach unten bei der Wurzel und nach oben beim Stengel findet selbst dann statt, wenn man der Pflanze eine von ihrer natürlichen abweichende Lage giebt, wenn man z. B. ein keimendes Pflänzchen horizontal legt.

Die Beeinflussung des Lichtes bringt eigentümliche Erscheinungen hervor; die meisten Stengel wachsen nämlich im Dunkeln stärker, als im Lichte (die Kartoffelkeime im Keller); bei einseitiger Beleuchtung, z. B. am Fenster wachsen die schwächer beleuchteten Teile kräftiger, als die dem Lichte ausgesetzten, wenden sich aber dem Lichte zu, sie sind positiv heliotropisch. Wachsen sie dagegen vom Lichte weg, wie die Ranken des Weinstockes, die Wurzeln des Epheu, so sind sie negativ heliotropisch.

Das Wachstum ist an allen Seiten der Pflanze nicht immer gleich stark; ein ungleichseitiges Wachsen wird z. B. bewirkt durch direkte Berührung. Bei den rankenden Stengeln geschieht dies in der Weise, daß die der Berührung entgegengesetzte Seite in der Längsrichtung stärker wächst, als die berührte; die letztere legt sich an den berührenden Gegenstand an oder umwindet ihn.

Die meisten Pflanzen haben eine Zeit der Ruhe, in welcher das Wachstum still steht, selbst dann, wenn sie in entsprechend warmer Temperatur gehalten werden, so sämtliche Bäume unserer Zone.

Die Pflanze hat ein Längen- und Dickenwachstum.

Das Längenwachstum geschieht entweder, wie bei den Stengeln, in akropetaler Richtung am Vegetationspunkte, indem durch stete Zellenvermehrung eine Verlängerung bewirkt wird; oder es befindet sich das Meristem, welches die Verlängerung des Organs bewirkt, bei Stengeln, z. B. den Halmen der Gräser, an allen über den Ansatzstellen der Blätter befindlichen Orten, also zwischen Dauergewebe eingeschoben. Diese Wachstumszonen sind wegen der weicheren Konsistenz zum Schutze mit besonderen Scheiden umgeben. Diese Art des Wachstums nennt man intercalar.

Die Wurzeln wachsen ebenso akropetal, jedoch unter der Wurzelhaube, indem das Urmeristem der Wurzelspitze nach der einen Seite stets neues Haubengewebe, nach der anderen das Gewebe des Wurzelkörpers erzeugt.

Vom Dickenwachstum ist früher die Rede gewesen.

Längen-
wachstum.

Bewegungserscheinungen.

§ 40. Die Bewegungen der Pflanze sind nie willkürlich, sondern entweder auf Wachstumsvorgänge oder auf besondere Reize zurückzuführen.

Zu den ersteren gehören die Bewegungen der Ranken, welche vorhin besprochen sind, ferner die auf ungleichseitigem Wachstum beruhenden

1) Von γῆ und τρέπω, zur Erde wenden.

2) Von ἥλιος und τρέπω, zur Sonne wenden.

Bewegungen der periodisch beweglichen Blumenblätter (z. B. Crocus, Tulpe); bei den periodisch beweglichen Laubblättern (z. B. Oxalis, Sauerklee, Mimosa pudica, Akazie) finden sich besondere Organe an der Basis der beweglichen Teile, in welchen die Bewegung durch Ausstoßen von Wasser und durch den Einfluß des Lichtes bewirkt wird. Diese Pflanzen haben eine ausgebreitete Tages- und eine zusammengefaltete Nachtstellung der Blätter.

Die Reizbewegungen haben teils ihren Grund in einer besonderen eigentümlichen Thätigkeit des Protoplasmas, teils in mechanischer Reizbarkeit. Die ersteren finden sich in hervorragender Weise bei den Schwärmzellen der Algen und Pilze, bei den Myxomyceten, darauf beruht auch die Ortsveränderung der Chlorophyllkörner bei wechselnder Beleuchtung. Die mechanische Reizbarkeit ist wenigen Pflanzen eigen, deren Blätter bei der leisesten Berührung zusammenfallen (z. B. Mimosa pudica), ferner einer Reihe von Pflanzen, deren Blätter Insekten fangen, z. B. Drosera, Nepenthes.

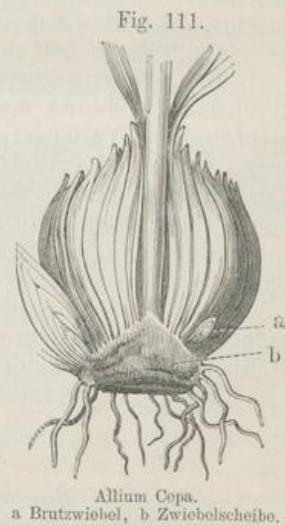
Vermehrung und Fortpflanzung.

§ 41. Das Entstehen neuer Pflanzenindividuen geschieht entweder durch Vermehrung oder durch Fortpflanzung. Die Vermehrung ist die Bildung neuer Pflanzen durch vegetative Wachstums- und Teilungsvorgänge, die Fortpflanzung dagegen die Erzeugung neuer Pflanzenindividuen durch eigene, nur diesem Zwecke ausschließlich dienende Organe, die Befruchtungs-, Fruktifikations- oder Zeugungsorgane.

Bei der Vermehrung gelangt die junge Pflanze als ein integrierender Teil der Mutterpflanze zur selbständigen Existenz, sie muß also auch in

allen, selbst den unwesentlichsten Merkmalen mit ihr übereinstimmen, so daß sich auf diesem Wege Spielarten und Varietäten erhalten lassen.

Die Vermehrung geschieht entweder spontan oder künstlich, und zwar in beiden Fällen durch Knospen oder knospenartige Gebilde, welche sich von der Mutterpflanze losgelöst haben oder von ihr getrennt sind. Spontan findet sie statt



1. durch Brutknospen oder Brutzwiebeln. Diese weichen schon in ihrem Äußern von den übrigen Knospen, aus denen sich Stamm, Blätter und Blüten entwickeln, ab. Beispiele dafür sind Dentaria bulbifera (Fig. 110), welches in den Blattachseln, die Alliumarten (Fig. 111), welche in den Blütenständen und zwischen den Blättern der Zwiebel Brutzwiebeln er-

zeugen. Diese lösen sich ab und bilden eine der Mutterpflanze ganz gleiche neue Pflanze.

2. durch Knollen, wie bei den Orchideen und Kartoffeln.

3. durch Ausläufer; diese Art der Vermehrung schließt sich an die durch Knospen an, sie findet sich bei *Fragaria*, *Ajuga reptans*.

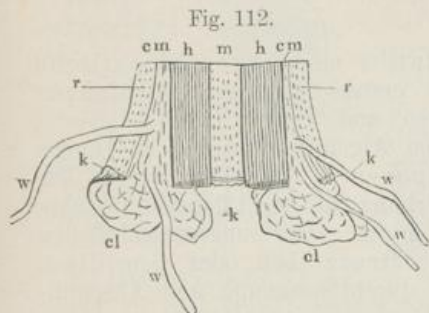


Fig. 112.
Längsschnitt durch das untere Ende eines Stocklings.

m Mark, h Holz, cm Cambium, k Kork, r Rinde, cl Callus, w Wurzeln.

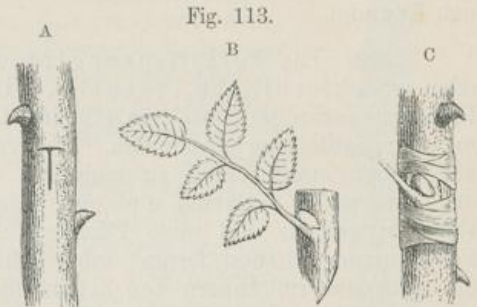


Fig. 113.
Okulierter Rosenstamm.

Künstlich geschieht die Vermehrung

1. durch Ableger oder Senker, indem ein Zweig in den Boden gesenkt und mit Erde bedeckt wird. Um die Bewurzelung zu fördern, wird derselbe gewöhnlich bis auf das Mark eingeschnitten.

Künstliche Vermehrung.

Fig. 114.



Ein gepfropfter Stamm.

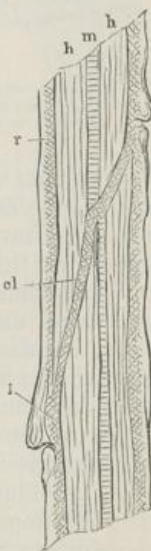
2. durch Stecklinge, Zweige, welche unter einem Auge abgeschnitten in die Erde gesteckt werden, so daß nur ein Auge heraussteht,

3. durch Okulieren, Pfropfen, Kopulieren, wobei ein abgetrennter Teil eines Stammes, sei es ein Reis oder eine Knospe auf einen andern Stamm, den Wildling, übergepflanzt wird.

Beim Okulieren wird eine noch an einem Stück Rinde sitzende Knospe durch einen T förmigen Einschnitt unter die Rinde des Wildlings, beim Pfropfen wird ein zugespitztes Edelreis in eine Spalte des Wildlings geschoben, beim Kopulieren paßt man auf den Wildling ein ebenso dickes Edelreis im schiefen Schnitt.

Die Verwachsung beider geschieht nach folgendem Vorgang: die meisten Pflanzenteile haben die Fähigkeit, bei Verwundungen die dadurch bloßgelegten Gewebeschichten durch eine aus den unverletzt gebliebenen Zellen gebildete Korksicht (Wundkork) gegen die Außenwelt zu schützen. Wenn nun bei Holzpflanzen das Cambium bloßgelegt oder verletzt wird, so bilden die

Fig. 115.



Kopulation.

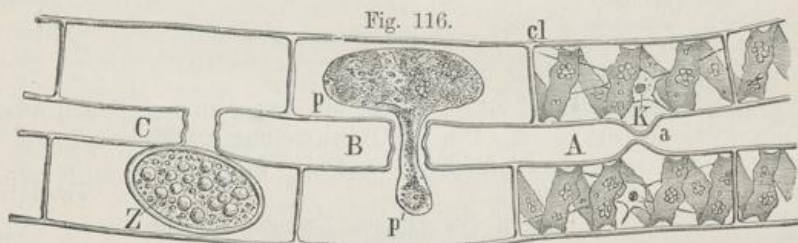
Wunden die dadurch bloßgelegten Gewebeschichten durch eine aus den unverletzt gebliebenen Zellen gebildete Korksicht (Wundkork) gegen die Außenwelt zu schützen. Wenn nun bei Holzpflanzen das Cambium bloßgelegt oder verletzt wird, so bilden die

unverletzten angrenzenden Zellen nicht sofort Wundkork, sondern sie wachsen zu einem parenchymatischen, körnigen, schwammigen Gewebe, dem Callus, aus. Treffen nun die Callusschichten zweier in gleicher Weise verletzter Rindenteile aufeinander, so verschmelzen sie und bilden ein gemeinsames Cambium, anschließend an das alte Cambium, nach außen hin bilden sie Kork (daher die graubraune Farbe der überwachsenen Wunde).

Fortpflanzung.

Sporen.

§ 42. Die Fortpflanzung ist entweder eine ungeschlechtliche oder geschlechtliche, sexuelle. Die erstere ist bei den niederen Pflanzen verbreitet, bei einzelligen Algen und Pilzen fällt sie häufig mit der Zellteilung zusammen. Bei vielen Algen bilden sich im Innern von Zellen einzeln oder zu mehreren, Sporen, d. h. Zellen, welche aus der Mutterzelle austreten und ohne Mitwirkung anderer Pflanzenteile fähig sind, zu keimen und neue Pflanzen zu bilden. Der ungeschlechtlichen Fortpflanzung dienen ferner unbewegliche Brutzellen oder Gonidien, die entweder im Innern von Zellen oder durch Sprossung und Abschnürung entstehen (Fig. 68a).



Kopulation der Zellen bei Spirogyra.

A die Zellen zweier Filiden, welche sich zur Konjugation vorbereiten und bei A Fortsätze zu einander treiben, cl der spiralbandförmige Chlorophyllkörper, K der Zellkern. Bei B verschmilzt das Protoplasma p und p' der beiden Zellen. Z eine durch die Verschmelzung entstandene Zygospore. (Vergr. 400 Mal.)

Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung werden in den Pflanzen zwei verschiedene Zellen gebildet, welche jede für sich nicht weiterbildungsfähig sind, aber durch die materielle Vereinigung, die Befruchtung entwickelungsfähige Gebilde liefern.

Konjugation.

Die einfachste Form ist die Kopulation oder Konjugation. Bei dieser sind die beiden Zellen einander an Form und häufig auch an Größe gleich, sodass ein Geschlechtsunterschied kaum hervortritt, meist ist die männliche etwas kleiner; entweder sind beide beweglich und vereinigen ihr Protoplasma, indem sie an einandertreten, oder die eine bewegliche tritt an die unbewegliche, um das Kopulationsgeschäft zu vollziehen; häufig geschieht die Vereinigung des Protoplasmas durch einen zwischen beiden Zellen gebildeten Kanal oder Fortsatz (Fig. 116).

Gameten,

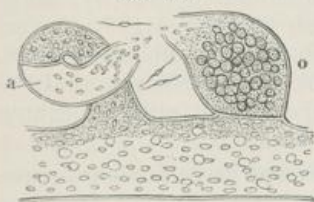
Zygospore.

Die kopulierenden Zellen heißen Gameten, das Kopulationsprodukt, die gebildete Spore heißt Zygospore.

Findet die Konjugation zweier aktiv beweglicher Zellen außerhalb, oft in bedeutender Entfernung von der Mutterpflanze statt, so heißen dieselben Planogameten (Fig. 127). In allen Fällen vollzieht sich eine Vereinigung der gleichwertigen Teile des Protoplasmakörpers.

Bei sehr vielen Pflanzen sind die beiden Geschlechtszellen an Form, GröÙe und Beweglichkeit verschieden, auch werden sie in verschiedenen Organen gebildet. Die viel gröÙere, unbewegliche weibliche Zelle, Eizelle,

Fig. 117.



Thallusstück von Vaucheria mit Oogonium o und Antheridie a, welches die Spermatozoiden s entläÙt.

Oosphäre oder Ei genannt, ist meist von kugelig oder eiförmiger Gestalt. Die männlichen Zellen, Spermatozoiden, sind viel kleiner, sehr beweglich und haben eine mannigfache Gestalt, oft sind sie länglich, oft stäbchenförmig, oft gewunden u. s. w.; an ihrer Spitze tragen sie zwei, selten vier oder mehrere Wimpern, Cilien, als Bewegungsorgane.

Das weibliche Organ, in welchem die Eier (einzeln, selten zu mehreren) gebildet werden, heißt Oogonium, wenn es für sich die Mutterzelle darstellt, Archegonium, wenn es als ein höher entwickeltes Organ die Mutterzelle einschließt. Das männliche, die Spermatozoiden erzeugende Organ heißt Antheridium.

Die sich vom männlichen Organ trennenden Zellen suchen die weiblichen auf; die Befruchtung erfolgt durch materielle Vereinigung der Spermatozoiden mit dem Protoplasma der Eizelle, wozu die Aufnahme eines einzigen Spermatozoiden genügt. Das Produkt dieser Vereinigung heißt Oospore.

Das erste Jugendstadium sowohl der entwickelten Zygospore als Oospore wird als Keim oder Embryo bezeichnet.

Es kommt auch vor, daß das Ergebnis der geschlechtlichen Fortpflanzung ein Individuum ist, welches nicht die Sexualorgane trägt, sondern Sporen, deren jede sich aber zu einer die Geschlechtsorgane tragenden Pflanze entwickelt. Der ProzeÙ der Fortpflanzung spielt sich also in zwei aufeinanderfolgenden Abschnitten ab, deren jeder eine Generation bezeichnet. Diesen Entwicklungsvorgang nennt man Generationswechsel. Er findet sich z. B. bei den Moosen und Farnkräutern. Außerdem treten auch noch bei den Euthallophyten Sporen auf, welche den Entwicklungsgang der einzelnen Pflanzen dadurch erweitern, daß sie sich ähnlich der vegetativen Vermehrung von der Pflanze ablösen und die Bildung eines neuen Individuums einleiten, ohne daß Generationswechsel einzutreten braucht. Diese Sporen sind Gonidien oder Brutzellen.

Bei den Phanerogamen, den höher entwickelten, sogen. Blütenpflanzen, tritt an die Stelle der die Befruchtung vollziehenden Spermatozoiden der Pollenschlauch, welcher seinen protoplasmatischen Inhalt in die Eizelle übertreten läÙt.

Bei den höheren Pflanzen mit geschlechtlicher Fortpflanzung können die Sexualorgane in derselben Blüte zusammensitzen, solche heißen Zwit-

Fig. 118.



Oogonium, Archegonium.

Antheridium.

Archegonium von Fumaria hygrometrica, m die Mündung, h Hals, b Bauch mit der Eizelle e. (Vergr. 550 Mal, nach Sachs.)

Generationswechsel.