

## V. Stoffwechsel und Stoffwanderung.

### 1. Die Pflanzenstoffe.

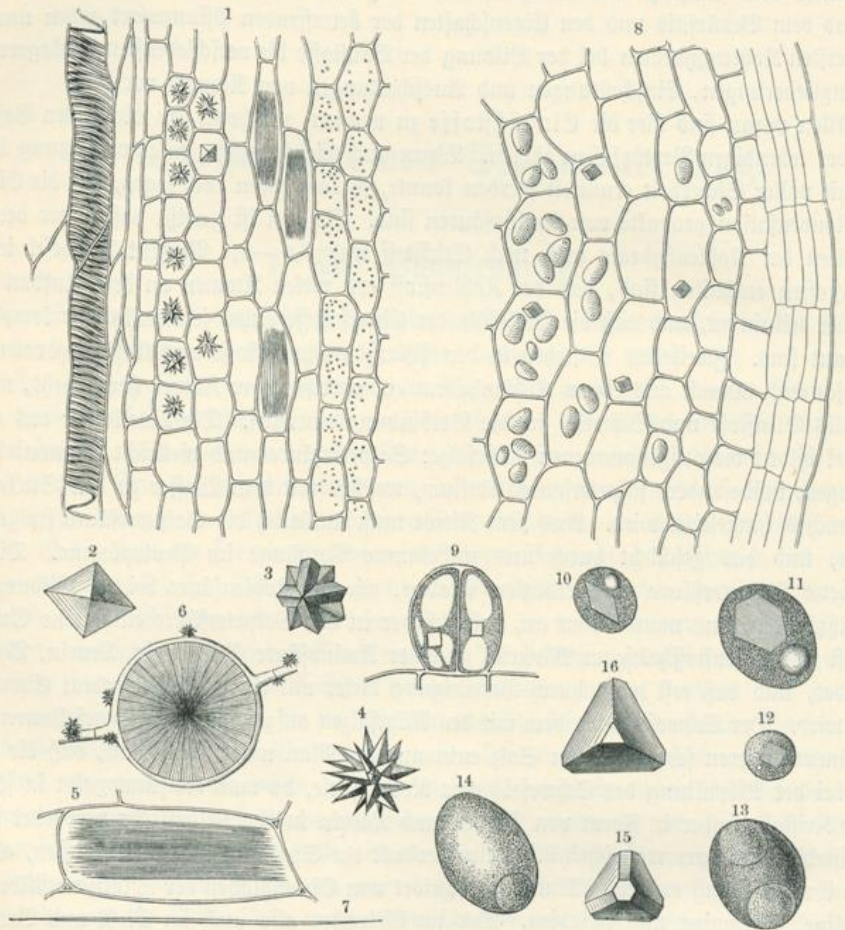
Die Synthese der Kohlenhydrate im Chlorophyll ist die einzige, welche an das Sonnenlicht gebunden ist, und ihr Erzeugnis ist immer dasselbe. Es gehen aber noch zahlreiche andere chemische Synthesen und Spaltungen im Pflanzenkörper vor sich, die zur Bildung einer solchen Fülle von Pflanzenstoffen führen, daß die Chemiker dicke Bücher mit ihrer Aufzählung anfüllen konnten. So groß nun auch die Menge dieser Pflanzenstoffe ist, so lassen sie sich doch sämtlich in zwei Gruppen zusammenfassen: es sind entweder Baustoffe der Pflanzenorgane oder Ausscheidungsprodukte des Stoffwechsels. Während die Anzahl der letzteren sehr groß ist, ist die Zahl der für die Ernährung wichtigen Baustoffe nur klein, so daß es keine Schwierigkeiten macht, ihre Bedeutung zu überblicken. Die sämtlichen chemischen Vorgänge, welche sich an die Bildung der organischen Substanz in den Blättern, die Photosynthese, anschließen, bezeichnet man als den Stoffwechsel der Pflanze. Hierbei kommt es zu keiner Neubildung von Stoffen aus einfachsten Kohlenstoffverbindungen, sondern nur zu neuen Verbindungen und Spaltungen, die sich alle von der Stärkesynthese herleiten. In der lebenden Pflanze vollziehen sich diese Verbindungen, Spaltungen und Verschiebungen mit größter Leichtigkeit, und viele Stoffe, deren Zusammensetzung in den chemischen Laboratorien weder auf geradem Wege, noch auf Umwegen gelingen will, werden in den Zellen der Pflanze sozusagen im Handumdrehen hergestellt. Blicken wir auf die Vorbedingung des Stoffwechsels, die Stärkesynthese, zurück, so könnten wir vorläufig auf Grund chemischer Tatsachen annehmen, daß aus der Kohlensäure unter Reduktion ein unter dem Namen Formaldehyd bekannter Körper entsteht, und daß aus diesem durch Kondensation ein Kohlenhydrat hervorgeht. Für diese Auffassung spricht besonders der Umstand, daß es gelungen ist, aus dem Formaldehyd (Aldehyd der Ameisensäure), der aus 1 Atom Kohlenstoff, 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff besteht, durch Zusammenbringen mit Kalkwasser einen Zucker zu erzeugen, den man Formose genannt hat. Es würde hiermit theoretisch ein ganz bestimmtes Kohlenhydrat als erster in der Pflanzenzelle gebildeter organischer Stoff festgestellt sein. Beweise, daß ausschließlich dieses Kohlenhydrat den Ausgangspunkt für sämtliche weitere organische Verbindungen in allen lebenden Pflanzen bildet, fehlen noch bis dahin. Man kann auch nicht wissen, ob nicht in den grundverschiedenen großen Reihen der Pflanzenformen, in den Tangen, Florideen, Moosen, Farnen, Nadelhölzern, Gräsern, Palmen usw., verschiedene Kohlenhydrate als erste organische Verbindungen aus Kohlendioxyd

und Wasser gebildet werden. Mag dem sein wie immer, so viel ist sichergestellt, daß die erste in den grünen Zellen entstehende organische Verbindung irgendein gelöstes, darum zuerst nicht sichtbares Kohlenhydrat ist, aus welchem in den meisten Fällen sehr schnell die geformte Stärke gebildet wird.

Unter dem Einfluß und durch Vermittelung des lebenden Protoplasmas und entsprechend dem Bedürfnis und den Eigenschaften der betreffenden Pflanzenart gehen nun mit diesen ersten Kohlenhydraten bei der Bildung der Baustoffe die verschiedensten Umlagerungen und Angliederungen, Einschaltungen und Ausschaltungen von Atomen vor sich.

Allen voran sind hier die Eiweißstoffe zu nennen, welche zu den wichtigsten Bestandteilen der lebendigen Protoplasten zählen. Wenn auch die chemische Zusammensetzung bisher nicht mit voller Sicherheit ermittelt werden konnte, so kann man doch sagen, daß die Eiweißstoffe Kondensationsprodukte von Aminosäuren sind. So viel ist gewiß, daß außer den Bestandteilen der Kohlenhydrate auch noch Stickstoff und 0,8—1,7 Prozent Schwefel in den Eiweißstoffen enthalten sind, daß der Kohlenstoff mit vielen Atomen an dem Aufbau eines Moleküls teilnimmt, und daß die Moleküle der Eiweißstoffe daher jedenfalls sehr kompliziert aufgebaut sind. Zweifellos entstehen in den Pflanzen Eiweißstoffe aus Kohlenhydraten und Aminosäuren. Damit aus einem Kohlenhydrat ein eiweißartiger Körper hervorgeht, müssen jedenfalls Stickstoff und Schwefel in die Verbindung eintreten. Die Quelle für das erstere Element bilden die aufgenommenen Nährsalze: Salpetersäure- und vielleicht Ammoniak-Verbindungen, insbesondere salpetersaures Kalium, welches mit dem Wasser zu den Stellen des Verbrauches hingeleitet wird. Aus dem Nitrat muß natürlich die Salpetersäure freigemacht werden, und das geschieht durch uns unbekannte Vorgänge im Protoplasma. Die freigewordene Salpetersäure muß reduziert werden, wie die Kohlenensäure bei der Bildung von Kohlenhydraten, und man nimmt an, daß sich der in der Salpetersäure enthaltene Stickstoff zunächst mit kohlenstoffhaltigem Material zu einer Aminosäure (Asparagin, Leucin, Tyrosin) verbindet, und daß erst dann durch Vereinigung dieser mit einem Kohlenhydrat Eiweiß gebildet wird. Der Schwefel wird dem mit den Nährsalzen aufgenommenen schwefelsauren Kalk oder einem anderen schwefelsauren Salz entnommen. Man nahm früher an, daß die Oxalsäure bei der Abspaltung des Schwefels eine Rolle spiele, da man Kalziumoxalat in schönen großen Kristallen oder in Form von Drüsen und Nadeln in den Zellen sehr verbreitet findet. Doch ist die Oxalsäure wahrscheinlicher ein Produkt der Spaltung von Eiweißstoffen, als daß sie bei ihrer Bildung entsteht. Man unterscheidet von Eiweißstoffen der Pflanzen: Albumine, Globuline, Legumine und Gliadine. Der im Getreide, also auch im Mehl und Brot enthaltene, als Nahrung so wichtige Kleber ist ein Gemenge aus einem Glutenskasein und anderen Eiweißkörpern. Alle diese Eiweißkörper erscheinen in löslicher oder in unlöslicher Form. So z. B. ist das in den Mandeln enthaltene Konglutin ein lösliches Eiweiß und geht auch in Lösung über, wenn aus Mandeln mit Wasser Mandelmilch gemacht wird, während das Legumin, das in den Erbsen, Bohnen, Linjen und in den Samen anderer Hülsenfrüchte enthalten ist und gleichfalls als Nahrungsmittel eine so wichtige Rolle spielt, im Wasser ungelöst bleibt, aber durch Pepsin bei Gegenwart einer Säure in den löslichen Zustand übergeführt werden kann. Andere pflanzliche Eiweißstoffe lösen sich merkwürdigerweise in Alkohol, wie die Gliadine. Während alle diese Eiweißverbindungen eine bestimmte Form nicht erkennen lassen, erscheinen in den Proteinkörnern (auch Meuron genannt) Eiweißstoffe in schöner Kristallform als sogenannte Kristalloide (s. Abbildung S. 288, Fig. 10—12, 15 und 16).

Nächst den Eiweißstoffen ist als wichtigster Baustoff die Zellulose zu nennen. Sie ist ein Kohlenhydrat, besteht aus 6 Atomen Kohlenstoff, 10 Atomen Wasserstoff und 5 Atomen Sauerstoff und geht vielleicht aus vorher gebildeten zuckerartigen Kohlenhydraten hervor. Diese Umwandlung wird durch die lebendigen Protoplasten veranlaßt, die an ihrer Peripherie



Kristalle und Kristalloide: 1 Durchschnitt durch ein abgefallenes Blatt der wilden Rebe (*Ampelopsis hederaea*), in den Zellen teils Kristallgruppen (Drusen), teils Büschel von nadelförmigen Kristallen (Raphiden), in einer Zelle auch ein einzelner Kristall von der Form des Oktaeders; 2-5 einzelner Kristall, Drusen und Raphiden von oxalsaurem Kalk; 6 Sphaerokristall im Inneren einer blasig erweiterten Hyphe und kleine Kristalldrusen an der Außenseite der Hyphefäden von *Phallus caninus*; 7 einzelne Rabel aus einem Raphidenbüschel; 8 Durchschnitt durch ein Stück einer Kartoffelknolle mit Kristalloiden und Stärkekörnern in den Zellen; 9 Kristalloide in den Zellen einer Drüse auf dem Kartoffelblatt; 10-12 Kristalloide in Proteinkörnern (Meurontörnern); 13, 14 Fettkörper in Proteinkörnern; 15, 16 einzelne Kristalloide; 10-16 aus dem Samen von *Ricinus communis*. Alles stark vergrößert. (Zu S. 280, 287, 288.)

eine zusammenhängende Schicht aus Zellulose bilden, die man Zellhaut nennt. In der jungen Zellhaut wiegt reine Zellulose vor; je nach Bedürfnis wird diese durch den Protoplasten ganz oder teilweise verändert, und zwar durch Einlagerung von Holzsubstanz (Lignin) oder von Korksubstanz (Suberin). Die Zellulose kann auch verschleimen, wie z. B. bei der Samenhaut der Quittenkerne. In den Stämmen und Ästen der Kirschen-, Pflaumen-,

Mandel-, Aprikosen- und Pfirsichbäume wird die Zellulose häufig zu einer klebrigen, gestaltlosen, bräunlichgelben, bernsteinfarbigen Masse, welche aus den Rissen der Borke hervorquillt, erhärtet und unter dem Namen Kirschgummi (Cerasin) bekannt ist. In ähnlicher Weise bildet sich aus der Zellulose in den Stämmen einiger afrikanischen Akazien arabisches Gummi (Arabin) und in mehreren Tragantsträuchern (Astragalus-Arten) der Tragant.

Eine wichtige Rolle spielen im Pflanzenleben auch die Fette. Dieselben sind meist flüssige Verbindungen von Fettsäuren mit Glycerin und bilden zwei Gruppen. Die einen trocknen an der Luft unter Ausscheidung von Kohlensäure aus, wie beispielsweise das Mohnöl und Leinöl, die man aus diesem Grund auch in der Ölmalerei verwendet. Die anderen, z. B. Mandelöl und Olivenöl, bleiben an der Luft flüssig und bilden übelriechende Fettsäuren, eine Umwandlung, die man als Ranzigwerden bezeichnet. Die Fette werden in größerer Menge vorzugsweise in Samen und Sporen, manchmal auch in den Früchten erzeugt und dort als Reservestoffe aufgespeichert.

An diese Stoffe, welche sogleich oder nach vorhergehender Rast als Baumaterial bei dem Wachstum und der Gestaltung des Pflanzenkörpers Verwendung finden, und ohne welche die Vergrößerung und Vermehrung der Zellen sowie die Vermehrung der Gewächse gar nicht denkbar sind, reihen sich andere an, die wohl selbst nicht zu Baustoffen werden, denen aber die Aufgabe zukommt, an der Herstellung der Baustoffe tätigen Anteil zu nehmen, die Bedingungen zu schaffen, unter denen die Erzeugung und Wanderung der Baustoffe, das Wachstum und die Vermehrung stattfinden können, welche nachteilige Einflüsse abwehren, Licht und Wärme regulieren und hundert andere kleine Vorteile vermitteln.

Zu diesen Stoffen, welche unter dem Namen Hilfsstoffe zusammengefaßt werden können, gehören zunächst die Farbstoffe (Anthoxyan, Anthoxanthin, Carotin, Chlorophyll, Phykokyan, Phykoerythrin, Phykophäin usw.), welche zum Teil an besonders geformte, vom Protoplasma gebildete Körper, die sogenannten Chromatophoren, gebunden, zum Teil im Zellsaft gelöst sind. Sie sind bei der Assimilation, der Umwandlung von Licht in Wärme, der Anlockung jener Tiere, die bei der Befruchtung der Pflanzen und bei der Verbreitung der Sporen und Samen eine Rolle spielen, und noch bei vielen anderen Anlässen von Bedeutung.

Nächst den Farbstoffen sind süß schmeckende Stoffe, zumal Rohrzucker, dann auch Mannit und Dulzit hervorzuheben. Wenn auch die Bedeutung dieser süßen Stoffe erst später eingehender besprochen werden kann, so ist es doch schon hier am Platze, darauf hinzuweisen, daß z. B. von dem in den Fruchtknoten des Roggens schmarogenden, schimmelartigen Pilz, aus welchem das Mutterkorn hervorgeht, eine süße Flüssigkeit, der sogenannte Honigtau, abgeschieden wird. Diese süße Flüssigkeit, in der stets die Sporen des schimmelartigen Pilzes eingebettet sind, wird von Wespen, Fliegen und anderen Insekten aufgesucht. Indem aber diese Insekten den Honigtau saugen und lecken, heften sie sich auch die Sporen an und verschleppen diese dann auf andere Pflanzen. Unzählige Gewächse scheiden an bestimmten Stellen ihrer Blüten süßen Honig aus, der als Anlockungsmittel für jene Bienen, Hummeln und Falter dient, welche die Aufgabe haben, den Pollen oder Blütenstaub von Blume zu Blume zu übertragen. Andererseits werden wieder gewisse Tiere, deren Besuch den Blüten von Nachteil sein würde, durch den an der Basis der Laubblätter abgeschiedenen Honig von den Blüten abgehalten oder, besser gesagt, abgelenkt.

Eine andere Bedeutung für das Leben der Pflanze haben die zahlreichen ätherischen Öle, Harze und Balsame. Sie sind keine Nährstoffe, sondern Endprodukte des

Stoffwechsels, die man auch Exkrete nennt. Die ätherischen Öle sind größtenteils Kohlenwasserstoffe (Terpene), nur wenige enthalten auch Sauerstoff, wie das Kümmelöl und das Eukalyptusöl. Terpentinöl besteht vorwiegend aus Pinen mit 10 Atomen Kohlenstoff und 16 Atomen Wasserstoff. Sauerstoffhaltig sind die damit verwandten Kampferarten. Trotz ganz ähnlicher Zusammensetzung weichen die ätherischen Öle in ihren optischen Eigenschaften, im Siedepunkt und insbesondere in ihrer Wirkung auf die Geruchsnerven sehr auffallend voneinander ab, was schon an den wenigen aufgezählten Beispielen beobachtet werden kann. Es gibt Pflanzen, welche in ihrem Laub, in ihren Blüten und in ihren Früchten verschieden riechende ätherische Öle enthalten, wie z. B. der Pomeranzenbaum, dessen Laubblätter Pomeranzenblätteröl, dessen Blüten Neroliöl und dessen Früchte Orangenöl bilden. Oft enthalten die ätherischen Öle Harze aufgelöst, und es entstehen Gemenge aus flüchtigem Öl und Harz, welche Balsame genannt werden. Die flüchtigen, weithin durch die Geruchsnerven wahrnehmbaren ätherischen Öle wirken zum Teil als Anlockungsmittel für jene Tiere, welche durch die Übertragung des Pollens oder Blütenstaubes oder durch Verbreitung der Früchte, Samen und Sporen den betreffenden Pflanzen einen Vorteil bringen; zum Teil aber werden sie zu Schutzmitteln gegen Angriffe von seiten der Tierwelt. Das letzte gilt namentlich für stark riechende Laubblätter und für harzige Früchte, welche von den Tieren als Nahrung nicht angenommen werden. Balsame, welche die aus den Knospen hervorkommenden Laubblätter wie ein Firnis überziehen, bilden ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Transpiration, auch können sie als Schutz der Knospen gegen Nässe und dadurch bedingte Fäulnis eine wesentliche Hilfe leisten. Die aus einem Gemenge von Harz und Schleim bestehenden klebrigen Auscheidungen an den Stengeln und Blütenstielen, welche so häufig bei den Nektengewächsen vorkommen, halten die nach dem Blütenhonig lüfternen, aber als Gäste nicht willkommenen Tiere ab, welche über die Stengel zu den Blüten hinaufzuklettern versuchen. So haben denn auch diese Endprodukte des Stoffwechsels vielfach, wenn sie auch nicht der Ernährung dienen, noch biologische Bedeutung.

Als Schutzmittel des grünen Gewebes der Laubblätter, aber auch der Früchte und der unterirdischen Pflanzenteile, der Wurzeln, Rhizome, Knollen und Zwiebeln, gegen das Abgefressen- und Vertilgtwerden durch Tiere kann man vielleicht die Alkaloide und Glykoside ansehen. Alle Alkaloide zeichnen sich durch ihren Gehalt an Stickstoff aus. Einige derselben sind sauerstofffrei und flüchtig. Auch andere Stickstoffverbindungen, die Amide, finden sich in den Pflanzen, wie z. B. das in dem Kraute mehrerer Meliden und in den Blüten der Weißdornsträucher und Birnbäume und der amerikanischen Pachysandra vorkommende Trimethylamin. Zu den Alkaloiden gehören die auf den Menschen und die meisten Säugetiere als Gifte wirkenden bekannten Alkaloide Atropin, Coniin, Morphin, Nikotin, Strychnin sowie die bekannten Heilmittel Chinin, Kokain und viele andere. Die an diesen Stoffen reichen Blätter werden von den weidenden Tieren als Nahrung gemieden, und für die Pflanzen haben sie daher jedenfalls die Wirkung von Schutzmitteln gegen das Abgeweidetwerden. Das flüchtige Trimethylamin in den Blüten mag aber wohl als Anlockungsmittel für Insekten dienen. Die Glykoside, welche Ester der Zuckerarten mit aromatischen Stoffen sind, schließen sich zum Teil in ihrer Bedeutung ganz den Alkaloiden an. Das Saponin wirkt als Gift auf Menschen und Säugetiere, das Amygdalin zerfällt in die giftige Blausäure, in Bittermandelöl und Zucker, und ganz ähnlich verhält es sich auch mit vielen anderen. Das Tannin schmeckt ungemein bitter und schützt dadurch Zweige, Rinden und Früchte vor dem Abgefressenwerden. Es ist aber

interessant, zu sehen, daß bei manchen Früchten, welche durch die Vermittelung von Tieren verbreitet werden sollen, die Schale nur so lange durch bittere oder giftige Glykoside herb und ungenießbar erscheint, als die im Inneren geborgenen Samen ihre Keimfähigkeit noch nicht erlangt haben. Sobald diese keimfähig geworden sind, werden auch die Glykoside umgesetzt, sie spalten sich durch den Einfluß der später zu besprechenden Enzyme oder auch durch Säuren, welche in den unreifen Früchten reichlich vorhanden sind, in Zucker und verschiedene andere unschädliche Stoffe, und die Fruchthülle, welche bisher herb, sauer und ungenießbar war, ist jetzt süß, schmackhaft und begehrenswert geworden. Dieselbe Schale, welche früher als Schutzmittel diente, bildet jetzt ein Anlockungsmittel. Die ausgereiften Früchte mitsamt den in ihnen eingeschlossenen Samen werden jetzt als Nahrung besonders von den Vögeln aufgesucht und aufgenommen, die süße Fruchthülle wird im Magen der Tiere verdaut, die gegen Verdauungssäfte trefflich geschützten Samen dagegen werden mit den Excrementen der Tiere wieder ausgeschieden, keimen an den Punkten, wo sie abgesetzt wurden, und so wird die weiteste Verbreitung der betreffenden Pflanzen ermöglicht. Das alles soll zwar später bei Besprechung der Verbreitungsmittel der Pflanzen noch ausführlich behandelt werden, aber es ist angezeigt, dieser Vorgänge schon hier in kürzester Kürze zu gedenken, um damit zu zeigen, daß die chemische Wandlung der Stoffe in den Pflanzen mit den Bedürfnissen gleichen Schritt hält, daß selbst in einem Falle, wo die Teilung der Arbeit in der Pflanze so weit geht wie in dem eben erwähnten Beispiele, die Umlagerungen und Verschiebungen der Atome, die Spaltungen und der Aufbau chemischer Verbindungen immer zur rechten Zeit und am rechten Orte sich vollziehen, nämlich immer dann und dort, wo es für die Pflanze von Vorteil ist, und daß überhaupt alle diese Stoffwandlungen in ihrer Bedeutung nur verständlich werden, wenn man sie nicht nur mit dem Leben der Pflanzen selbst, sondern auch mit dem Leben der auf die Pflanzenwelt angewiesenen Tiere in Zusammenhang bringt.

Schon oben wurde von der Oxalsäure gesprochen. Es entstehen aber in den Pflanzen noch andere organische Säuren. Sie sind Hilfsstoffe bei den Umsetzungen oder Mittelstufen zwischen den von der Pflanze gebildeten Verbindungen. Unter diesen Verhältnissen ist es begreiflich, daß die organischen Säuren in allen Teilen der Pflanze sehr verbreitet sind, und daß die Säfte der lebenden Pflanze fast durchweg sauer reagieren. Es ist auch begreiflich, daß die Zahl der organischen Säuren eine überaus große ist. Die Apfelsäure, Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure mögen als Beispiele genannt sein; man kennt aber noch mehrere hundert andere solche in verschiedenen Pflanzen beobachtete Säuren. Eine wichtige Rolle dürfte den organischen Säuren in der lebenden Pflanze auch bei der Turgeszenz der Zellen zukommen, indem sie das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser mit großer Kraft wieder anziehen und dadurch die Turgeszenz wiederherstellen.

Eine besondere Aufgabe kommt auch den verbreiteten Aminosäuren zu, unter welchem Namen man Asparagin, Glutamin, Leucin, Tyrosin usw. begreift. Dieselben gehen einerseits durch Spaltung aus den Eiweißstoffen hervor, veranlassen aber andererseits auch wieder die Restauration der Eiweißstoffe im lebenden Protoplasma. Wenn nämlich jenes Kohlenhydrat, das bei der Spaltung neben der Aminosäure aus dem Eiweißstoff entsteht, verbraucht wird, zieht die Aminosäure wieder ein frisches, in den grünen Zellen fertig gewordenes Kohlenhydrat herbei, verbindet sich mit demselben und ergänzt sich auf diese Weise wieder zu einem Eiweißstoff, ein Vorgang, der sich unzählige Male wiederholen kann, und auf den bei der Besprechung der Atmung zurückzukommen sein wird. Auch wenn Eiweißstoffe, welche im gewöhnlichen

Zustände die Zellwände nicht passieren können, geleitet werden sollen, erfolgt wahrscheinlich zuerst eine Umwandlung in Asparagin oder eine ähnliche Aminosäure, und diese ergänzt sich dann dort, wo die Eiweißstoffe verweilen sollen, durch Hinzutreten eines Kohlenhydrates wieder zu einer Eiweißverbindung.

Endlich gehört zu den Hilfsstoffen auch noch die Gruppe der Enzyme. Diese für das Pflanzenleben äußerst wichtigen Stoffe haben die merkwürdige Eigenschaft, auf andere Stoffe spaltend (hydrolytisch) einzuwirken, ohne dabei selbst zersetzt zu werden, und können infolgedessen auch in sehr geringer Menge die weitreichendsten Wirkungen ausüben. Sie enthalten sämtlich Stickstoff, sind in den Pflanzen weitverbreitet, aber infolge des Umstandes, daß sie selbst an den Stellen des Bedarfes nur in Spuren gebildet werden, nicht immer leicht nachzuweisen. Wie sie entstehen, ist noch rätselhaft; vielleicht auf ähnliche Weise wie die stickstoffhaltigen Eiweißstoffe. Sie finden sich überall dort ein, wo feste Körper zu verflüssigen, assimilierbar zu machen sind, beispielsweise, wenn es sich darum handelt, den Vorrat an geformter organischer Nahrung, welcher in Samen, Knollen und Wurzeln längere Zeit ruhend und gleichsam außer Verkehr gesetzt war, also die sogenannten Reservestoffe, in Fluß zu bringen und wieder in den Betrieb einzubeziehen, ferner, wenn es sich darum handelt, Stoffe, welche die Zellwände nicht passieren können, in einen für diese Wanderung geeigneten Zustand überzuführen, wobei sie dann die Stoffwanderung erst ermöglichen. Weiterhin treten sie in Wirksamkeit, so oft feste organische Verbindungen als Nahrung aufgenommen, Insekten und andere Tiere von den tierfangenden Pflanzen verdaut, Pflanzenleichen von den Verwesungspflanzen zerstört oder auch die Gewebe lebender Pflanzen von den Schmarozern aufgezehrt werden sollen. Wenn die Saugzellen der Schmarozerpflanzen Säfte aus den Wirtspflanzen gewinnen wollen, wenn die aus den Pilzsporen hervortreibenden Hyphen durch die Oberhaut in das Innere der angefallenen Pflanze gelangen oder Hyphenfäden im Inneren vielkammeriger Gewebe aus einer Zelle in die andere übergehen wollen, so müssen sie die Zellwände auflösen und sich so eine Durchgangspforte schaffen. Auch dort, wo sich jene merkwürdigen, im letzten Abschnitte dieses Bandes zu behandelnden Vorgänge, die man Gärungen nennt, abspielen, sind die Enzyme beteiligt. Es ist anzunehmen, daß sie einen Bestandteil des Protoplasmas der gärungs-erregenden Organismen, z. B. der alkoholerzeugenden Hefezellen, bilden und selbst durch die Zellwand hindurch auf ihre Umgebung zerlegend einwirken.

Als wichtigstes Enzym ist erstens die Diastase zu nennen, welche die Stärkekörner löslich macht, indem sie dieselben in Zucker und Dextrin spaltet. Sie stellt sich überall ein, wo Stärke aufgespeichert wurde, und zwar dann, wenn es sich darum handelt, diese Stärke wieder nutzbar zu machen und in den Stoffwechsel hineinzuziehen. Ein weiteres Enzym ist das Pepsin, welches bei Gegenwart verdünnter Säuren die Eiweißstoffe peptonisiert, d. h. sie in einen löslichen Zustand überführt, wodurch es möglich wird, daß sie durch die Scheidewände aus einer Zellkammer in die andere übergehen. Das Pepsin, welches die Pflanzen enthalten, ist von jenem des Magensaftes der Tiere wohl nicht verschieden, sowie ja auch die Rolle, die es hier und dort spielt, im Grunde dieselbe ist. Im Tiermagen hat es die wichtige Aufgabe, die Eiweißstoffe, welche als Nahrung aufgenommen wurden, in eine lösliche Form überzuführen, damit sie in das Blut gelangen können. Auch in den tierfangenden Pflanzen kommt ein Pepsin vor. Weiter sind noch das Emulsin und das Myrosin hervorzuheben, welche die Glykoside in der schon oben angegebenen Weise zerlegen und dadurch zur Bildung von Zucker, insbesondere in den Früchten, Veranlassung geben, aber auch sonst noch

verschiedene andere Spaltungen bewirken können. So wird z. B. die Spaltung des in den Mandeln enthaltenen Amygdalins in Glykose, Blausäure und Bittermandelöl durch das Emulsin veranlaßt. Auch das Papayin, das in den Früchten der *Carica Papaya* vorkommt, sowie das Invertin, welches in der Hefe beobachtet wurde, sind zu den Enzymen zu rechnen. Man hat früher jene Stoffe, welche auf ihre Umgebung zerlegend einwirken, ohne dabei selbst eine chemische Veränderung zu erfahren, Fermente genannt, aber diesen Namen aufgegeben. Es ist aber nachgewiesen worden, daß unter Umständen auch Säuren, ja auch das Wasser bei höherer Temperatur ähnliche Wirkungen zeigen, und aus diesem Grunde kann man die Enzyme als Katalysatoren bezeichnen.

Hiermit wären die wichtigsten aus der großen Zahl aller Pflanzenstoffe hervorgehoben, deren Aufbau und Zerfall, deren Verwandlung und Wechsel für unsere sinnliche Wahrnehmung im Leben der Pflanze auftreten.

## 2. Die Wanderung der Stoffe in der lebenden Pflanze.

### Die Ableitungs- und Zuleitungsvorrichtungen.

Daß die Zersetzung der Kohlensäure und die Bildung organischer Stoffe nur in den Zellen, welche Chlorophyllkörper enthalten, stattfinden kann, wurde bereits im ersten Abschnitte über die Ernährung erläutert. In den einzelligen, grünen Gewächsen müssen sich alle chemischen Vorzüge, welche zur Bildung von Zucker, Stärke, Zellulose, Chlorophyll, Eiweiß usw. führen, im Bereich einer einzigen Zelle vollziehen. Diese winzigen Pflanzen liefern den Beweis, daß die mit dem Wachstum und dem Aufbau verbundenen Stoffwandlungen auf engstem Raume nebeneinander und oft auch gleichzeitig stattfinden. Es ist aber schwer, sich vorzustellen, wie in dem winzigen Protoplasmaklümpchen, das den lebendigen Körper der einzelnen Zelle bildet, die verschiedensten Funktionen verteilt sind.

In einzelligen Desmidiaceen (vgl. die Tafel bei S. 22, Fig. 9 und 10) beträgt der Weg, den der in den mittelständigen Chlorophyllkörpern erzeugte Zucker zurückzulegen hat, um an die Peripherie der Zelle zu gelangen, vielleicht nur zwei oder drei Tausendstel eines Millimeters; aber es ist doch ein meßbarer Weg, und man kann daher schon von einer Wanderung und Ableitung des Zuckers in der Desmidiaceenzelle sprechen. Die Leitung wird ohne Zweifel wieder von gewissen Teilen des Protoplasmas ausgeführt, und vielleicht stehen die mannigfaltigen Stränge und Balken, welche in der Substanz des Protoplasmas beobachtet werden, hiermit im Zusammenhang. In mehrzelligen Pflanzen ist der Weg, den die Stoffe zurückzulegen haben, um an die Stellen zu gelangen, wo sie als Baustoff oder in irgendeiner anderen Weise Verwendung finden sollen, häufig auch nur auf den Raum einer einzigen winzigen Zelle beschränkt, vielfach jedoch auf eine lange Zellenreihe ausgedehnt. Das letztere besonders dann, wenn den verschiedenen Zellen einer Pflanze verschiedene Funktionen zukommen, was schon bei vielen Sporenpflanzen, noch mehr aber bei den Samenpflanzen der Fall ist. Die in den grünen Blättchen eines Mooses gebildeten Stoffe müssen, wenn sie zum Aufbau der Sporenbüchse und zur Herstellung der Sporen verwendet werden sollen, von Zelle zu Zelle zu dem am Moosstämmchen angelegten Archegonium hingeführt werden, ein Weg, der je nach den Arten von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern schwankt.



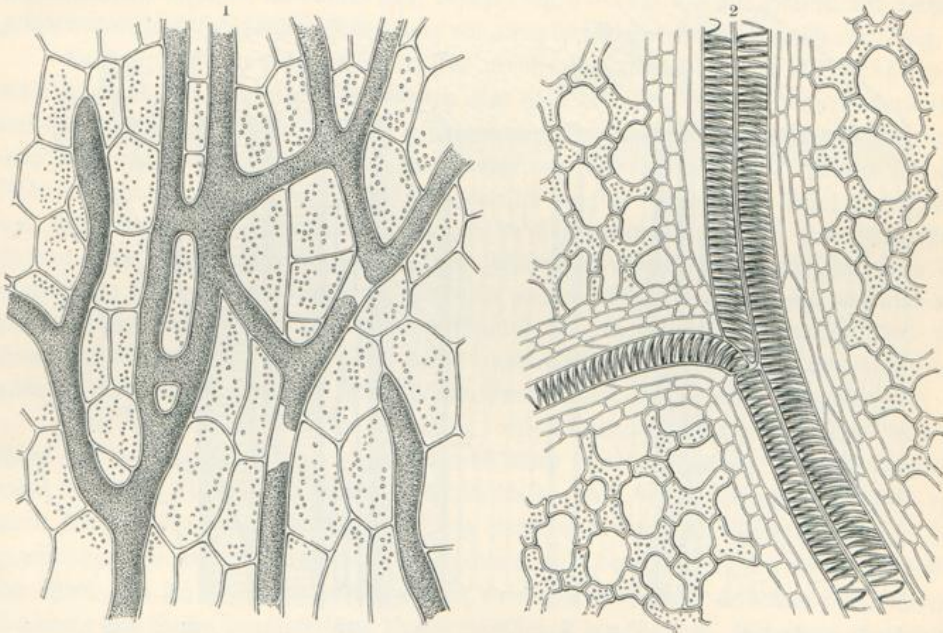
Bei den höheren, aus Zellgeweben bestehenden Pflanzen liegen die Orte der Stoffbildung und des Verbrauches weiter voneinander entfernt. Damit ist aber notwendig auch die Annahme einer weiten Wanderung der Stoffe verbunden. Die Stoffe, welche zum Weiterbau der Zweige einer Espe dienen, werden in den langgestielten grünen Blattflächen dieser Pflanze erzeugt; um in den wachsenden Zweig zu kommen, müssen sie durch den langen Blattstiel wandern und einen Weg zurücklegen, welcher die Größe jener Zellen, in denen sie gebildet wurden, mehrere tausendmal übertrifft. Und werfen wir einen Blick auf eine Palme, welche ihre wenigen, zu einem Schopfe vereinigten großen Blätter am Scheitel eines schlanken Stammes wiegt: damit die in den grünen Blättern gebildeten Baustoffe zu den wachsenden Wurzeln kommen, haben sie einen Weg von 20 und 30 m Länge zurückzulegen. Noch weiter ist wohl die Wegstrecke, auf welcher die im Laube der tropischen Lianen bereiteten Säfte geleitet werden. Daß in solchen Fällen die von den wandernden Stoffen eingehaltenen Bahnen und ebenso deren Anfangs- und Endstationen eine besondere Ausbildung erfahren, ist von vornherein zu erwarten. Was man darüber in Erfahrung gebracht hat, mag hier in Kürze zusammengestellt sein.

Als Anfangs- oder Ausgangsstation erscheint natürlich immer das grüne Gewebe. In den grünen, mehrzelligen Algen sowie in den Moosen bilden die chlorophyllhaltigen Zellen zugleich auch die Strombahn für die in ihnen gebildeten abzuleitenden Stoffe. Schon bei den Moosen entstehen in den Blättchen sehr häufig Zellenreihen und Zellenzüge, welche gegen die Basis der Blättchen, also gegen die Stellen, wo die Blättchen dem Stengel aufsitzen, zusammenlaufen, und in der Nähe dieser Stellen sind die Zellen auch entsprechend der Richtung des Stromes am meisten in die Länge gewachsen. Auch im Stengel sind die leitenden Zellen entsprechend der Stromrichtung stark in die Länge gestreckt. Eine deutliche Grenze zwischen den Zellformen an der Ausgangsstation, in der Strombahn und am Stromziel ist aber hier nicht zu erkennen.

Anders verhält es sich bei jenen Gewächsen, deren Blätter und Stengel von Gefäßbündeln durchzogen sind. Da übernehmen chlorophyllose Zellen und eigentümliche, zu Bündeln vereinigte Zellenstränge die von dem grünen Gewebe ausgehenden Stoffe, um sie zu den Stellen des Verbrauches hinzuleiten. Man bezeichnet diese Gewebe als Leitungsbahnen. Die Teilung der Arbeit hat sich demnach in allen diesen Fällen so vollzogen, daß ein Teil der Zellen die Zersetzung von Kohlenäure und die Bildung der ersten organischen Verbindungen, ein anderer Teil die Ableitung dieser ersten Erzeugnisse übernimmt, wobei selbstverständlich nicht ausgeschlossen ist, daß während der Ableitung auch noch mannigfaltige Umwandlungen der Stoffe erfolgen. Bei einer solchen Teilung der Arbeit ist es von Wichtigkeit, daß die organischen Verbindungen, welche in den oberflächlich gelegenen grünen Zellen unter dem Einfluß des Lichtes gebildet wurden, möglichst rasch aus ihren Bildungsstätten entfernt werden, damit dort der wichtige Vorgang der Kohlenäurezersehung keinerlei Störung erleide. Dieser möglichst raschen Abfuhr auf kürzestem Wege ist nun in der Weise Rechnung getragen, daß die grünen Zellen in der Richtung, nach der sie ihre Erzeugnisse fortschaffen, gestreckt, aber von zylindrischer Form sind und parallel nebeneinander liegen.

Ein Austausch von Stoffen zwischen solchen zylindrischen Zellen, d. h. eine Wanderung der Stoffe quer durch deren Langseiten hindurch, ist vollständig ausgeschlossen und die Auswanderung von Stoffen erfolgt nur in der Richtung, nach der die betreffenden zylindrischen Zellen gestreckt sind. Die Stränge, welche die von den grünen Zellen herkommenden Stoffe ableiten, sind als helle, bald zarte, bald grobe Adern in das Grün der Laubflächen eingeschaltet, verlaufen als dicke Bündel durch die Blattstiele, Zweige und Stengel und bilden bei den

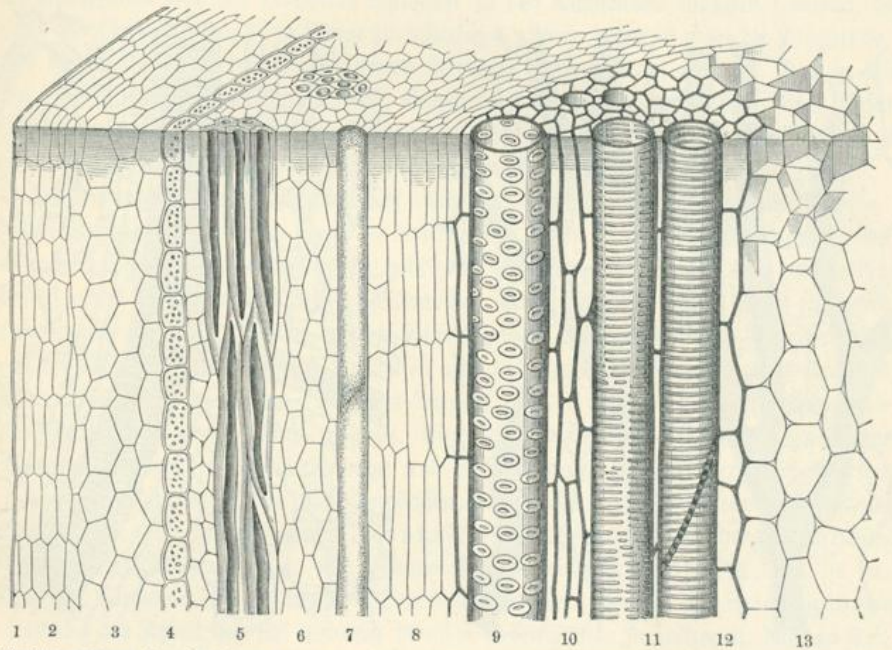
Holzpflanzen, dicht zusammengedrängt, die Hauptmasse der Stämme. Es ist schon früher gesagt, daß diese Stränge nicht nur die plastischen Stoffe ableiten. In ihnen finden sich regelmäßig auch Holzzellen, Holzröhren, welche das Wasser sowie die von den Wurzeln aufgenommenen mineralischen Nährstoffe aufwärts zu den transpirierenden Geweben führen. Endlich sind diesen zweierlei der Leitung dienenden Geweben regelmäßig noch elastische, faserförmige Bastzellen angelagert, damit das Ganze die nötige Festigkeit und Elastizität erhält. In solchen Strängen, die man Gefäßbündel nennt, finden sich demnach die verschiedensten Zellformen mit den verschiedensten Funktionen auf engem Raume vereinigt (s. Abbildung, S. 46).



Ableitungsorgane: 1 Milchröhren aus einem Blatte des Gifllattichs (*Laetuea virosa*), 250fach vergrößert; 2 Gefäße mit schraubigen Verdickungsleisten an den Wänden, umgeben von der Gefäßbündelscheide, aus einem Blatte von *Ricinus communis*, 210fach vergrößert. (Zu S. 295 und 297.)

Die Vorrichtungen für die Stoffleitung sind besonders deshalb bei den Pflanzen entwickelter, weil in der Pflanze die verschiedenen Stoffe, Stärke, Eiweiß, Fette u. a., nicht zu einem allgemeinen Nahrungsaft gemischt zirkulieren, sondern unabhängig voneinander transportiert werden müssen. Darum werden auch ihre verschiedenen Gewebe zu Leitungsbahnen benutzt. Vor allem sind es Schichten von Parenchymzellen, welche den anderen Teilen des Gefäßbündels, zumal den wasserleitenden Holzröhren und Holzzellen, angelagert sind, dieselben häufig rings umkleiden und einen förmlichen Mantel bilden, den man mit dem Namen Gefäßbündelscheide belegt hat. Diese sind besonders in den Laubblättern entwickelt und bilden dort einen Hauptbestandteil der Blattrippen und Blattadern, die als Nerven durch das grüne Gewebe ziehen (s. obenstehende Abbildung, Fig. 2). In den feineren und feinsten Äderchen, welche die letzten Endigungen der Gefäßbündel darstellen, umgeben Parenchymzellen die wenigen durch schraubensförmige Verdickungen ausgesteiften oder auch verholzten wasserleitenden Zellen, die von dem Gefäßbündel noch übriggeblieben sind.

Nächst den Gefäßbündelscheiden sind die Markstrahlen als Leitungsbahnen der von den grünen Zellen gebildeten Stoffe aufzuführen. Sie bestehen gleichfalls aus parenchymatischen Zellen und sind senkrecht auf die Achse der Stammbildung, der sie angehören, gestreckt. Sie bilden Gewebeplatten, die zwischen die Gefäßbündel eingelagert sind und das in der Mitte des Stammes gelegene Mark mit der Rinde verbinden. Im Holz haben sie verholzte Wände. Außer diesen sogenannten primären Markstrahlen bilden sich auch noch innerhalb der Gefäßbündel ganz ähnliche Platten aus parenchymatischen Zellen, welche aber mit dem Mark in der Mitte des Stammes in keinem Zusammenhang stehen und sekundäre Markstrahlen



Ausschnitt aus dem Zweige eines Laubholzes, ungefähr 200fach vergrößert, schematisch: 1 Oberhaut (Epidermis), 2 Kork (Periderm), 3 Rindenparenchym, 4 Gefäßbündelscheide, 5 Hartbast, 6 Bastparenchym, 7 Siebröhre, 8 Kambium, 9 getripfeltes Gefäß, 10 Holzparenchym, 11 Gefäße, 12 Markscheide, 13 Mark. (Zu S. 296—297.)

genannt werden. Wenn man den Zweig eines Nadelholzes oder eines Laubholzes quer durchschneidet, so erblickt man auf dem Querschnitte die Gefäßbündel in den meisten Fällen so angeordnet, daß sie zusammen einen Ring um das mittelständige, von der Markscheide umschlossene Mark (s. obenstehende Abbildung, Fig. 12 und 13) bilden; dieser Ring erscheint von den eben besprochenen Geweben unterbrochen, welche strahlenförmig vom Mark ausgehen, woraus sich der Name Markstrahlen erklärt.

Als eine dritte Form der Leitungsvorrichtungen für die in den grünen Zellen gebildeten organischen Verbindungen hat der Weichbast zu gelten. Er besteht zum Teil aus zartwandigen parenchymatischen, häufig auch engen, langen, sich an den Enden verschmälernden Zellen (Kambiformzellen), die in der Richtung des Bündels oder Stranges, dem sie angehören, gestreckt sind und ein Bastparenchym genanntes Gewebe bilden (s. obenstehende Abbildung, Fig. 6), zum anderen Teil aus Schläuchen, die in verhältnismäßig großen, oft 2 mm messenden Abständen Querwände eingeschaltet enthalten. Scharf umgrenzte Felder sowohl auf den

eingeschalteten Querwänden als auch an den seitlichen Wandungen der Schläuche sind sieb- artig durchlöchert und werden Siebplatten genannt, die Schläuche selbst aber heißt man Siebröhren (s. Abbildung, S. 296, Fig. 7). Der Weichbast bildet nur selten selbständige Stränge; in der Regel sind ihm Stränge elastischer, fester, faserförmiger Hartbastzellen, die mit der Stoffleitung nichts zu tun haben und denen nur eine architektonische Bedeutung zukommt, angelagert (Fig. 5). Dieser Faserbast oder Hartbast, mit dem Weichbaste vereinigt, bildet dann in den Gefäßbündeln die eine Hälfte, den sogenannten Bastteil, während die andere Hälfte, der sogenannte Holzteil, aus Holzzellen, die mit Holzröhren und anderen wasserleitenden Gefäßen kombiniert sind, besteht (Fig. 9—11). Die aus Holzteil und Bastteil zusammengesetzten Gefäßbündel sind häufig von einer Gefäßbündelscheide eingeschlossen (Fig. 4).

Sehr merkwürdige Leitungsbahnen für gewisse Produkte bilden die Milchröhren (s. Abbildung, S. 295, Fig. 1). Sie kommen aber nicht bei allen Pflanzen vor, sondern sind auf wenige Gruppen beschränkt. Sie erscheinen als dünnwandige, vielfach verzweigte, häufig auch netzförmig verbundene, schlauch- oder röhrenförmige Gebilde, welche alle Teile der Pflanze, Blätter, Stengel und Wurzeln, anscheinend ziemlich regellos durchziehen. Man unterscheidet mit Rücksicht auf ihre Entwicklung Milchgefäße (gegliederte Milchröhren) und Milchzellen. Erstere gehen, ähnlich den Holzgefäßen, aus Zellenreihen hervor, deren Zwischenwände sich auflösen, so daß aus den Zellenreihen Schläuche werden; letztere entstehen aus einzelnen anfänglich sehr kleinen Zellen, die sich außerordentlich verlängern, vielfach verzweigen und mit ihren Verzweigungen sich zwischen die Zellen anderer Gewebe eindrängen, ganz ähnlich wie etwa die Hyphen schmarogender Pilze in das Gewebe ihrer Wirtspflanzen hineinwachsen.

Man findet die Milchröhren, wie gesagt, nicht in allen Pflanzen. Besonders reich an ihnen sind die Wolfsmilcharten, einige Tausend Arten von Korbblütlern, worunter beispielsweise der Salat (*Lactuca*), welcher dem Milchsaft (*Lac*) seinen lateinischen Namen verdankt, der Oleander, viele *Asklepiadazeen*, die *Papaverazeen* und die *Artocarpeen*. Aus den gigantischen Stämmen der tropischen Feigenbäume quillt der Milchsaft manchmal aus Rissen der Rinde, die sich von selbst gebildet haben, reichlichst hervor und verdichtet sich zu langen Schnüren und Seilen von Federharz, die wie ein Mantel herabhängen. Besonders erwähnenswert ist hier auch der Kuhbaum von Caracas (*Galactodendron utile*), aus dem, wenn man ihn ansticht, eine Fülle süßer genießbarer Milch hervorquillt, dann die *Hevea brasiliensis* am Amazonas, welche, in der Heimat und in anderen Tropenländern angepflanzt, den besten Kautschuk liefert, endlich der Mohn (*Papaver somniferum*), dessen eingetrockneter Milchsaft als *Opium* bekannt ist. In der Mehrzahl der Fälle ist der Milchsaft weiß, bei den *Papaverazeen* findet man aber auch andere Farben. So enthält das Schöllkraut (*Chelidonium majus*) einen orangefarbenen und die Blutwurz (*Sanguinaria Canadensis*) einen blutroten Milchsaft. Auch die milchenden Blätterchwämme (*Lactarius*) führen teils weißen, teils schwefelgelben, teils orangefarbenen und mennigroten Milchsaft. Die Milchäfte sind wohl allgemein als Exkrete anzusehen, die der Ernährung nicht mehr dienen.

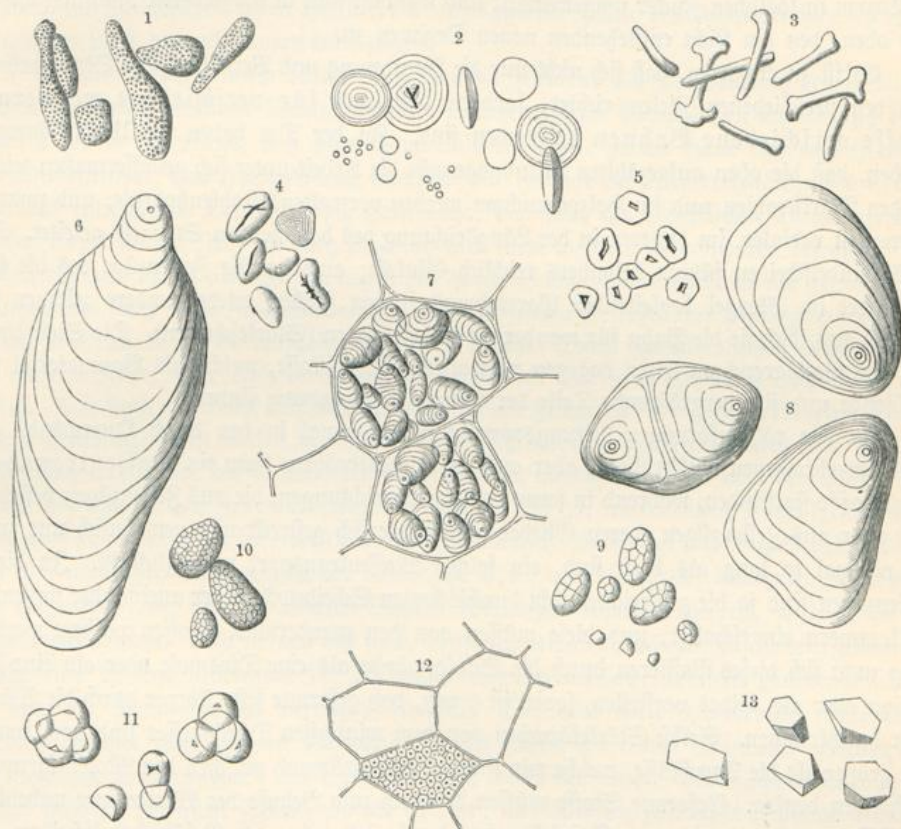
In den Laubblättern verlaufen die Milchröhren zusammen mit den Gefäßbündeln und ersetzen mitunter die Gefäßbündelscheiden; wenigstens sind dort, wo sich die Milchröhren an die Gefäßbündel anlegen, die Gefäßbündelscheiden lückenhaft und nur sehr unvollkommen ausgebildet. Auch treten in den Stammbildungen der *Asklepiadazeen*, wo die Milchröhren sehr entwickelt sind, die Siebröhren auffallend zurück; man schließt daraus, daß sich die verschiedenen Ableitungsvorrichtungen mitunter gegenseitig ersetzen und vertreten können.

In bezug auf den Anschluß der Ableitungsorgane an die grünen Zellen herrscht eine sehr große Mannigfaltigkeit. In den Blättern ist der Anschluß der stärkebildenden Zellen an die ableitenden Gefäßbündel häufig durch besonders geformte, sehr oft vielarmige Zuleitungszellen vermittelt, die selbst weniger Chlorophyll enthalten wie die Assimilationszellen. Das Ziel der wandernden Stoffe bilden in erster Linie die wachsenden Teile der Pflanze, die Wurzelenden und Zweigenden, wo die neuen Organe entstehen, überhaupt alle Stellen, wo sich den schon vorhandenen Zellen neue zugesellen, wo abgestorbene und absterbende durch frische ersetzt werden sollen und daher Baustoffe in genügender Menge vorhanden sein müssen. In zweiter Linie wird sich die Wanderung von Stoffen nach jenen Punkten richten, wo Schutz- oder Lockmittel notwendig sind, welche indirekt zur Erhaltung und Vermehrung der Art beitragen, und wo mit dem Schutz oder der Anlockung ein Verbrauch an Stoffen verbunden ist. So ist es z. B. von Wichtigkeit, daß der an gewissen Stellen in den Blüten abgeschiedene Honig, welcher den die Befruchtung vermittelnden Gästen aus der Insektenwelt zur Speise dient, stets in genügender Menge vorrätig sei und für den Fall, daß er durch Bienen oder Falter aus seinen Behältern abgeholt wurde, sofort durch neuen Zufluß ersetzt wird. Ebenso muß dafür gesorgt sein, daß in den Fallgruben und in den anderen Vorrichtungen, welche dem Tierfange dienen, Pepsin und andere zur Verdauung der Beute notwendige Substanzen in hinreichender Menge ausgebildet werden, daß die Alkaloide und bitteren Stoffe, durch welche die Wiederfäuer von dem Abfressen des Laubes abgehalten werden, in der nötigen Menge und zur rechten Zeit an die richtige Stelle gebracht werden. Der Vorgang der Vermehrung und Fortpflanzung bringt es auch mit sich, daß jene Zellen und Teile, die sich von der Pflanze ablösen und als Sporen und Samen in die weite Welt hinauswandern sollen, für die erste Zeit ihrer Selbständigkeit mit einem Vorrat von Nährstoffen ausgerüstet werden, damit sie davon so lange zehren und auf Kosten derselben so weit sich entwickeln können, als notwendig ist, um dann aus Luft, Wasser und Erde sich selbst die nötige Nahrung zu verschaffen. Die Stellen, wo sich Sporen und Samen ausbilden, werden daher gleichfalls ein wichtiges Ziel für gewisse wandernde Stoffe sein. Endlich kann es sich auch noch darum handeln, daß in Gegenden, wo ein zeitweiliger Stillstand in der Lebenstätigkeit der Pflanzen eintritt, wo das saftreiche grüne Laub infolge periodisch eintretender Dürre vertrocknet oder infolge der Winterkälte erfriert, im Sommer alle in den Blättern verbreitete Stärke oder Zucker aus den dem Untergange geweihten Blättern auswandern, an gesicherten Stellen abgelagert und zur späteren Verwendung aufgespeichert werden.

Das geschieht bei allen Pflanzen, die mit unterirdischen Reservestoffbehältern, Knollen, Rhizomen, Zwiebeln, überwintern. Hier ist es gewöhnlich die Stärke, die auf weite Strecken transportiert wird und sich in Form großer Körner in den Geweben der Speicherorgane abgelagert. Bei dieser Wanderung wird die Stärke durch das diastatische Enzym in löslichen Zucker umgewandelt, denn nur eine Lösung kann durch die zahllosen Zellwände, welche den Weg zum Ziel verlegen, hindurchgehen. In den Zellen der Speicherorgane wird die Zuckertlösung von kleinen, den Chromatophoren ähnlichen, aber farblosen Organen, den Leukoplasten oder Stärkebildnern, aufgenommen und in große Stärkekörner umgewandelt.

Die in den verschiedenen Pflanzenarten gebildeten Stärkekörner sind nach Größe und Gestalt sehr verschieden. Die meisten größeren Stärkekörner zeigen unter dem Mikroskop abwechselnde bläuliche und rötliche Zonen, was man auf Rechnung eines verschiedenen, sprungweise wechselnden Wassergehaltes bringt. Die bläulichen Zonen sind ärmer, die rötlichen

reicher an Wasser. Viele von ihnen zeigen auch einen wasserreichen Kern, der bei der Kartoffelstärke (s. untenstehende Abbildung, Fig. 8) und der Stärke aus den Knollen des Blüthenhilfes (Fig. 6) exzentrisch, bei der Weizenstärke (Fig. 2) zentral gelagert ist. An Stelle dieses Kernes kann sich infolge des Eintrocknens der Kernsubstanz auch eine Höhle ausbilden, wie z. B. im Stärkekorn der Bohnen und anderer Hülsenfrüchte (Fig. 4). In den meisten



Verschiedene Formen der Stärke: 1 aus den Samen der Rabe (*Agrostemma Githago*); 2 aus einem Weizenkorn; 3 aus der Wolfsmilch; 4 aus einem Bohnensamen; 5 aus einem Matskorn; 6 aus dem Wurzelstock des Blüthenhilfes (*Canna*); 7 aus der Kartoffelknolle (in Zellen eingeschlossen), 8 aus der Kartoffelknolle (isoliert, sehr stark vergrößert); 9 aus einem Haferkorn; 10 aus dem Samen des Lolches (*Lolium temulentum*); 11 aus der Knollenzwiebel der Zeitlose (*Colchicum autumnale*); 12 aus einem Reiskorn; 13 aus einem Hirsekorn. Sehr stark vergrößert.

Pflanzenarten haben die Stärkekörner eine rundliche Gestalt, jene der Rabe (*Agrostemma Githago*) sind dagegen spindel- und keulenförmig (Fig. 1), die der Wolfsmilcharten erinnern an kleine Röhrenknochen (Fig. 3). Wieder andere sind eckig und kantig wie Kristallfiguren (Fig. 5, 13), und zwar besonders dann, wenn die Zellen, die als Vorratskammern dienen, ganz dicht mit Stärkekörnern vollgepfropft sind, was eine Hemmung ihres Wachstumes und eine gegenseitige Abplattung zur Folge hat. In der Stärke des Hafers sowie in jener des Reises sind zahlreiche kleine, eckige Körnchen zu größeren, ellipsoidischen Körnern zusammengeklüftet (Fig. 9, 10), und in der Stärke aus den Zwiebeln der Zeitlose findet man vier oder fünf rundliche Körner, deren jedes eine Kernhöhle zeigt, zu regelmäßigen Gruppen verbunden (Fig. 11).

Die Stärke ist eine in heißem Wasser leicht aufquellbare Substanz, sie reißt das Wasser begierig an sich, verliert dabei ihre Form und bildet, ohne sich aufzulösen, den bekannten Kleister. Mit Jodlösung färbt sie sich schön blau. In den Reservestoffbehältern, z. B. einem Samen, kann die Stärke lange unverändert und wie tot verharren; wenn aber der Same keimt oder die Knolle austreibt, wird die Stärke wieder verflüssigt. Sie wird von neuem durch ein Enzym in löslichen Zucker umgewandelt und wandert nun in umgekehrter Richtung wieder nach oben, den am Licht entstehenden neuen Organen zu.

Es ist zu erwarten, daß sich nicht nur die Anordnung und Verteilung der Strombahnen nach den verschiedenen Zielen richtet, sondern daß auch für verschiedene wandernde Stoffe verschiedene Bahnen vorhanden sind. In der Tat haben die Untersuchungen ergeben, daß die oben aufgezählten Leitungsgewebe die Arbeit unter sich gewissermaßen teilen. In den Markstrahlen und im Holzparenchym werden vorwiegend Kohlenhydrate, und zwar in ersteren in radialer, im letzteren in der Längsrichtung des betreffenden Stengels geleitet. Die Gefäßbündelscheiden führen besonders reichlich Glukose; auch gewisse Zellenzüge des die Gefäßbündel im Stengel begleitenden Parenchyms führen Zucker; wieder andere zeichnen sich dadurch aus, daß sie die Bahn für wandernde Stärke bilden (Stärkecheiden). Die Siebröhren und das Bastparenchym leiten dagegen vorwiegend Eiweißstoffe, welche als Baumaterial für wachsende und sich vergrößernde Teile der Pflanze Verwendung finden.

In den röhrenförmigen Leitungsvorrichtungen, zumal in den durch Querwände gar nicht unterbrochenen Milchröhren, aber auch in den Siebröhren kann ein Massentransport der Stoffe stattfinden, während in jenen Leitungsvorrichtungen, die aus Zellenzügen bestehen, und zwar aus Zellenzügen, deren Glieder nicht sonderlich gestreckt und gewöhnlich nur zweibis viermal so lang als breit sind, ein solcher Massentransport unmöglich ist. In diesen Zellenzügen sind ja die zahlreichen nicht durchlöchernten Scheidewände der aneinander stoßenden Zellkammern eingeschaltet, und diese müssen von den wandernden Stoffen passiert werden. Mag man sich dieses Passieren durch die Scheidewände als eine Diosmose oder als eine Filtration oder als beides vorstellen, soviel ist gewiß, daß geformte feste Körper durch die Wände nicht durchkommen. Selbst Stärkekörnchen von dem winzigsten Durchmesser sind noch immer viel größer als die Durchlässe, welche wir uns in jeder Zellwand zwischen den Molekülgruppen vorhanden denken. Geformte Stoffe müssen demnach zum Behufe der Wanderung unbedingt verflüssigt werden, und wenn Stärkekörnchen durch Zellenzüge der Gefäßbündelscheiden, die aus Hunderten einzelner reihenweise aneinander schließender Zellen bestehen, wandern sollen, so müssen sie hundertmal verflüssigt und hundertmal wieder geformt werden.

Es ist auf das bestimmteste nachgewiesen, daß solche Wanderstärke nicht etwa nur am Beginn ihrer Wanderung verflüssigt und erst dann, wenn die verflüssigte Masse am Ziel angelangt ist und es die Umstände erheischen, wieder zu festen Körnern geformt wird, sondern daß, wie gesagt, in jedem der aufeinander folgenden Glieder eines Zellenzuges immer von neuem eine Verflüssigung und nach erfolgtem Durchgange durch die Scheidewand eine Formung stattfindet. Das ist ein sehr mühsamer und langwieriger Vorgang, und es drängt sich unwillkürlich die Frage auf, warum diese zahlreichen Zwischenwände in den Zellenzügen nicht beseitigt werden. Die röhrenförmigen Gefäße sind doch auch aus Zellenzügen hervorgegangen, und zwar in der Weise, daß die trennenden Scheidewände aufgelöst wurden; warum werden gerade hier die zahlreichen Querwände erhalten und dadurch die Wanderung der Stoffe kompliziert und verlangsam? Bei der Allgemeinheit und Regelmäßigkeit

ihres Vorkommens kann vorausgesetzt werden, daß sie für die Pflanze von Vorteil sind. Man könnte zunächst daran denken, daß durch diese Wände die Bahn ausgesteift und die zarten Wandungen der in der Strombahn liegenden Zellen vor dem Zusammenfallen geschützt werden. Das ist aber aus mehreren Gründen nicht wahrscheinlich. Erstens wären solche dünne Wände ein schlechtes Aussteifungsmaterial, und andererseits wäre es unerklärlich, warum die in den Nischen und Rinnen des festen Holzkörpers eingelagerten Zellen des Bastparenchyms trotz der geschützten Lage dennoch Querwände zeigen.

Es handelt sich vielmehr darum, daß ohne die Zellwand das Protoplasma gewisse Eigenschaften gar nicht betätigen könnte. Bei der Schilderung der Protoplasten am Anfang dieses Bandes wurde festgestellt, daß jeder Protoplast von einer zarten Haut von eigentümlicher Molekularstruktur, dem Hyaloplasma, umgeben ist. Infolge der Wasseranziehung des Körnerplasmas entsteht ein Druck auf die Hautschicht, den man als osmotischen Druck bezeichnet. Dieser Druck in der Zelle ist ganz erheblich und kann mehrere Atmosphären betragen. Die Zellmembranen bilden das Widerlager für diesen Druck, sie werden durch ihn gespannt und pflanzen ihn fort. Das Zustandekommen des osmotischen Druckes aber befähigt erst die Zelle Arbeit zu leisten, in der die Aufgabe des Lebens besteht. Durch den osmotischen Druck erhalten die einzelne Zelle, aber auch der ganze Pflanzenkörper und seine einzelnen Organe erst ihre Form. Das kann man leicht feststellen, indem man den Zellendruck durch Hinderung der Wasserzufuhr herabsetzt: dann welken die Pflanzenteile, schrumpfen, fallen zusammen und verlieren vollständig ihre Form, die sie unter Umständen wieder annehmen, wenn man den Wasserdruck wieder herstellt. Ohne Zellwände wäre die Pflanze also gar nicht in ihrer Form existenzfähig. Aber auch Lebensarbeiten beherrscht der osmotische Druck, Wachstum und Reizbewegungen sind von ihm abhängig. Demnach ist der osmotische Druck und die darauf berechnete Zellstruktur das Gegebene, dem sich die anderen Lebensforderungen anpassen müssen, so auch die Ernährungsvorgänge. Und sie tun das auch, denn wir erkennen, daß die Millionen Zellwände, welche eine Pflanze unweegsam für die Stoffbewegung machen, gar kein Hindernis bilden, da wir die Stoffbewegung verfolgen können. Wie aber diese Hindernisse überwunden werden, darüber fehlt uns die Einsicht, und wir stehen vor einem scheinbaren Widerspruch mit sonstigen Erfahrungen. Die Stoffbewegung bildet für unsere theoretische Erklärung ein großes Rätsel. In allen Fällen, wo die lebenden Protoplasten von einer Zellhaut umgeben sind, müssen die Baustoffe und Stoffwechselprodukte von außen her durch die Zellhaut und die Hautschicht des Protoplasmas in das Innere der Zelle gelangen, wie andererseits wieder jene aufgenommenen Substanzen, die von einer Zelle nicht selbst benutzt werden, auf demselben Wege wieder entlassen und ausgeschieden werden müssen. Es muß daher die Zellhaut und die Plasmahaut der mit der Nahrungsaufnahme beschäftigten Protoplasten einen entsprechenden Bau zeigen, und es müssen deren kleinste Teile so geordnet sein, daß, unbeschadet der Festigkeit, ein Durchgang sowohl der aufzunehmenden Nahrung als auch der auszuscheidenden Stoffe möglich ist. Diese Durchlässe in der Zellwand sind jedenfalls noch viel enger als die früher geschilderten feinen Porenkanäle, durch die ungemein zarte Protoplasmastränge laufen, und sie haben so geringe Dimensionen, daß sie selbst mit den besten Mikroskopen nicht wahrgenommen werden können. Dennoch muß man aus einer Reihe von Erscheinungen auf ihr Vorhandensein schließen und annehmen, daß die Zellhaut wie andere Körper nicht aus einer ununterbrochenen Substanz, sondern aus kleinsten Teilchen besteht, die man Moleküle nennt, welche durch unendlich kleine Zwischenräume voneinander getrennt sind.



Diese Zwischenräume können sich verengern und erweitern, indem auf den Verband der Moleküle zwei Kräfte einwirken, von denen die eine sich als gegenseitige Anziehung der Atome und Atomgesellschaften (Mizellen) äußert, während die andere die Atome und Moleküle auseinander treibt. Die erstere dieser Kräfte, die allen Stoffteilchen innewohnende Anziehungskraft, wird chemische Verwandtschaft genannt, wenn sich durch sie Atome verschiedener Art zu einem Moleküle verbinden; sie heißt dagegen Kohäsion, wenn sich gleiche Moleküle untereinander festhalten, und Adhäsion, wenn Massen von Molekülgruppen bei Berührung ihrer Oberflächen einander festhalten.

In die Zwischenräume zwischen den die Zellhaut bildenden Molekülen und Molekülgruppen können Moleküle anderer Stoffe von außen eindringen. Allerdings nur dann, wenn die einzulassenden Moleküle nicht größer sind als die Zwischenräume und nur für den Fall, daß zwischen den Molekülen der Zellwand und denen des einzulassenden Körpers jene Anziehungskraft besteht, die man als chemische Verwandtschaft bezeichnet. Beide Voraussetzungen treffen für die Moleküle des Wassers zu, und diese werden auch erfahrungsgemäß durch Zellwand und Plasmahaut leicht eingelassen. Die Zellhaut trinkt sich mit Wasser, oder, wie der technische Ausdruck lautet, sie hat die Fähigkeit, Wasser zu imbibieren. Die Anziehungskraft der Zellhautmoleküle zu denen des Wassers ist sogar so groß, daß dadurch die Kohäsion der Zellhautmoleküle überwunden wird und diese durch das imbibierte Wasser auseinandergedrängt werden. Die Zellhaut quillt infolgedessen auf und nimmt an Umfang zu.

Auch in Wasser gelöste Stoffe, z. B. Salze, Zucker und andere, treten mit dem Wasser leicht durch die Zellhaut hindurch in das Innere der Zelle ein. So scheint denn die Zellmembran gar kein Hindernis für die Stoffwanderung zu bilden, und sie ist es in diesem Sinne auch nicht. Vielmehr liegt die Schwierigkeit, sich eine Aufnahme von Stoffen in die Zelle klar vorzustellen, im Verhalten der Plasmahaut. Sie läßt, wie die Beobachtung zeigt, weder, wie die Zellulosemembran, die zur Ernährung nötigen Stoffe hinein-, noch einmal aufgenommene oder in der Zelle erzeugte Stoffe wieder heraustreten. Ein Zellgewebe, das Zucker oder einen löslichen Farbstoff enthält, gibt, wenn wir es ins Wasser legen, nichts von diesen Stoffen ab, obwohl das Wasser fort und fort in die Zellen hineingezogen wird. Diese Hemmung eines Austausches liegt, wie die Untersuchungen von Pfeffer, de Bries und anderen ergeben haben, in den merkwürdigen Eigenschaften der Plasmahaut, die mit den physikalischen Eigenschaften sogenannter semipermeabler Membranen übereinzustimmen scheint, d. h. wohl das von dem osmotisch aktiven Körnerplasma angezogene Wasser einseitig durchläßt, aber dafür nichts nach außen treten läßt, wie das eine gewöhnliche tierische Membran bei osmotischen Experimenten tut. Durch diese einseitige Wasseraufnahme wird die Entstehung des osmotischen Druckes verständlich, aber dem Verständnis der Stoffwanderung stehen diese Eigenschaften des Protoplasmas entgegen. Da aber ein Stoffeintritt und -austritt in die Pflanzenzellen ganz offenbar stattfinden muß, wie der Erfolg der Stoffwanderung ergibt, so müssen wir annehmen, daß die osmotischen Eigenschaften der Plasmahaut keine unveränderlichen sind, und daß eine Regulierung der Stoffbewegungen durch die Plasmahaut selbst stattfindet. Wie? das ist einstweilen schwer zu sagen. Allein, wenn gewöhnlich solche Vorgänge im Organismus, deren Bedingungen wir nur zum Teil kennen, als vitale bezeichnet werden, so ist mit diesem Wort nur eine Rubrizierung, nicht aber eine Erklärung gegeben.