

Zeitschrift: Schweizerische pädagogische Zeitschrift

Band: 12 (1902)

Heft: 1

Artikel: Botanische Kapitelvorträge : 3. Teil : die Ernährung der Pflanzen : 1. Teil

Autor: Schinz, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-788968>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Botanische Kapitelvorträge

gehalten auf Anordnung des zürcherischen Erziehungsrates von Hans Schinz.

III.

Die Ernährung der Pflanzen.

I. Teil.

In meinem ersten Vortrag, „Über die Transpiration der Pflanzen“ habe ich zu zeigen versucht, dass der Vorgang der Wasserabscheidung, erfolge er in Dampfform oder in tropfbar flüssiger Form, für das Gedeihen der Pflanzen von fundamentaler Wichtigkeit ist, und zwar, weil nur bei vorausgesetzter Transpiration der Pflanze die ihr, wie ich schon damals sagte, zur Ernährung notwendigen Stoffe aus dem Erdboden zugeführt werden. Ich habe also schon damals stillschweigend vorausgesetzt, dass der Leser mit mir die Zufuhr von Nahrung für jede Pflanze als etwas selbstverständlich Notwendiges betrachten werde, und ich habe dies gewiss auch tun dürfen, denn es ist ja unbestritten, dass der Begriff der Ernährung unzertrennlich ist von dem des Lebens: die Lebensflamme erlischt, wenn sie nicht durch Zufuhr von Stoffen unterhalten wird.

Dieser Satz gilt nicht nur für die Tier-, sondern nicht minder auch für die Pflanzenwelt.

Zweck der nachfolgenden Ausführungen ist nun, zu skizziren, in welcher Form und in welcher Weise den Pflanzen, denn auf deren Betrachtung habe ich mich zu beschränken, die zu ihrem Gedeihen notwendigen Stoffe zugeführt werden, welche Umlagerungen diese im Pflanzenleib erfahren, welche Produkte mit dem Stoffwechsel verkettet und welche im Laufe der chemischen Arbeit dem Stoffwechsel entrissen und zur Seite gestellt werden.

Ich habe mich soeben des Ausdruckes Stoffwechsel bedient.

Die Firma Wilhelm Engelmann, Leipzig, hat mir die Clichés 5, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, Tempsky in Wien die Nummern 2, 3, 4, 6 und 7, Urban und Schwarzenberg in Wien Cliché 10 zur Verfügung gestellt; die Figur 1 endlich ist dem Jahrgang 1898 dieser selben Zeitschrift entnommen; ich nehme gerne die Gelegenheit wahr, den erwähnten Firmen ihr Entgegenkommen geziemend zu verdanken.

Der Stoffwechsel ist nur eine, allerdings äusserst wichtige Phase in der Ernährung der Lebewesen; sie setzt ein, nachdem der Pflanze — oder dem Tiere — die Nährstoffe, die bei den pflanzlichen Organismen anorganischer, bei den Tieren organischer Natur sind, zugeführt worden sind. Mit dem Begriff des Stoffwechsels bezeichnen wir die Gesamtheit der chemischen Umsetzungen, die sich durch Vermittlung des Organismus und in dessen Dienst abspielen und deren Aufgabe es ist, die zum Aufbau der Körper notwendigen Stoffe zu formiren und für den Gewinn jener Betriebsenergie zu sorgen, die für den Unterhalt des Lebens und der Lebenstätigkeit unersetzlich ist.

So ist denn der Stoffwechsel in der Tat ein für den lebendigen Organismus überaus charakteristischer Vorgang, ein Vorgang, der den lebendigen Organismus vom toten unterscheidet, der zwar letzterm nicht, wohl aber auch anorganischen Körpern zukommen kann. Als Beweis hiefür erinnert Verworn in seiner vortrefflichen „Allgemeinen Physiologie“ an das Verhalten der Salpetersäure bei der Produktion der sogenannten „englischen Schwefelsäure“. Bringt man nämlich, sagt Verworn, Salpetersäure mit dem Anhydrit der schwefligen Säure zusammen, das bei der Schwefelsäurefabrikation durch Rösten von Schwefelerzen gewonnen wird, so entzieht die schweflige Säure der Salpetersäure Sauerstoff, indem sie selbst in Schwefelsäure übergeht, während aus der Salpetersäure Unter-Salpetersäure wird. Wird nun für den fortdauernden Zutritt von frischer Luft und Wasser gesorgt, so wird aus der Unter-Salpetersäure immer wieder Salpetersäure neu gebildet, und diese gibt einen Teil ihres Sauerstoffes wieder an neue Massen schwefliger Säure ab, so dass das Molekül der Salpetersäure fortwährend durch Sauerstoffabgabe zerfällt und sich durch Sauerstoffaufnahme wieder herstellt. Auf diese Weise kann mit derselben Quantität Salpetersäure eine unbegrenzte Menge von schwefliger Säure in Schwefelsäure übergeführt werden. In diesem Vorgang haben wir also, nur in einfacherer Form, einen Stoffwechsel, eine Aufeinanderfolge von Zerfall und Neubildung einer Substanz unter Aufnahme und Abgabe von Stoffen, und doch handelt es sich hier nur um rein anorganische Verbindungen.

Stoffwechsel in einer Pflanze setzt natürlich immer Zufuhr von Nahrungsstoffen oder doch schon vorgesehene Magazinirung solcher voraus, und es liegt daher nahe und dürfte sich aus praktischen Rücksichten auch empfehlen, dass ich in allererster Linie die Verhältnisse der Stoffzufuhr und Aufnahme und dann anschliessend an diese, die Erscheinung des Stoffwechsels erörtere und zu schildern versuche. Dabei stelle ich die selbständig vegetirenden, die autotrophen Pflanzen voran und behandle

die Parasiten und Saprophyten, sowie die Insectivoren oder insektenfangenden und verdauenden Gewächse besonders.

I. Die Nährstoffe und die Stoffaufnahme.

Wenn die Frage an uns herantritt, festzustellen, aus was für Stoffen sich eine Pflanze aufbaut, so werden wir uns zu deren Beantwortung wohl am einfachsten an die Chemie wenden. Diese lehrt uns auf dem Wege der Analyse, dass einmal Kohlenstoff und Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, ausser diesen aber noch eine Menge mineralischer Stoffe den Pflanzenkörper formiren. Die Zahl der letztern ist überraschend gross, deren Nachweis nicht schwer, denn es bedarf hiezu einfach der Aschenanalyse. Aus solchen Aschenanalysen erfahren wir gleichzeitig auch, dass von den mineralischen Bestandteilen bald die einen, bald die andern in dieser oder jener Pflanze fehlen, ein Fingerzeig, dass unter den 70 und mehr heute bereits nachgewiesenen Stoffen einzelne, ja wir können gleich sagen, die Mehrzahl wohl vorkommen können, aber, da sie mitunter fehlen, zum Aufbau der Pflanze offenbar nicht unbedingt notwendig sind.

Diese Erkenntnis führt uns sofort zur Unterscheidung der sogenannten entbehrlichen und der unentbehrlichen Nährstoffe der Pflanzen. Unentbehrliche Nährstoffe sind, wie der Name besagt, solche, die unbedingt einer jeden Pflanze geboten werden müssen, wenn diese gedeihen soll, wogegen die entbehrlichen Stoffe einer Pflanze auch ohne Schaden vorenthalten werden können.

Zur Ausscheidung der entbehrlichen von den unentbehrlichen Nährstoffen bedient man sich in zweckmässiger Weise der Wasser- oder Sandkulturen, d. h. man ersetzt den Erdboden (bei den Wasserkulturen) durch Wasser, indem man Samen über Wasser keimen lässt. Um nun die Bedeutung eines bestimmten Elementes für eine Versuchspflanze zu ermitteln, stellt man Parallelkulturen nach diesen Methoden an, wobei man beiden Versuchsreihen ein gleich zusammengesetztes in Wasser aufgelöstes Nährsalzgemisch darbietet, worin sämtliche Elemente, die in den Pflanzenaschen vorkommen, enthalten sind, nur mit dem Unterschiede, dass in der einen Versuchsreihe das betreffende fragliche Element, dessen Entbehrlichkeit bzw. Unentbehrlichkeit man prüfen will, ausgeschlossen bleibt. Wenn nun beide Kulturreihen sich völlig gleich entwickeln, so muss das betreffende Element als entbehrlich für die Pflanzenart gelten, die zu dem Versuche gewählt worden war. Wenn dagegen in den Kulturen, in denen das fragliche Element ausgeschlossen

blieb, die Pflanzen stets sich abnorm entwickeln und nicht gedeihen, so muss demselben eine unentbehrliche Rolle zugeschrieben werden.

Elemente wie Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff kommen hier gar nicht in Frage, denn diese sind so wie so an der Zusammensetzung jener organischen Verbindungen beteiligt, die den wesentlichsten Bestandteil der Pflanzensubstanz ausmachen, ich erinnere nur an die Zellmembran, das Protoplasma etc.

Noch bessere Erfolge als die Wasser- geben die Sandkulturen, da sich manche Pflanzen überhaupt besser im Boden als im Wasser entwickeln. Man bedient sich in diesem Falle weissen Quarzsandes, der ausgeglüht, dann mit salpetersäurehaltigem Wasser und schliesslich noch mehrmals mit reinem Wasser durchwaschen wird, und der dann mit den hergestellten Nährlösungen begossen wird.

Auf diese Weise ist festgestellt worden, dass, abgesehen von Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, folgende Elemente die Reihe der unentbehrlichen Pflanzennährstoffe bilden: Schwefel, Phosphor, Kalium, Magnesium, Eisen und — abgesehen von den Pilzen — Calcium.

Selbstredend kann diese Aufstellung, streng genommen, nur für diejenigen Pflanzenarten als sicher gelten, an welchen dies durch die erwähnten künstlichen Ernährungsversuche geprüft worden ist, denn es kann kaum erwartet werden, dass in der ganzen Pflanzenwelt die Nahrungsbedürfnisse übereinstimmende sein werden. Die Zahl der ausgeführten Versuche ist aber immerhin doch schon ziemlich gross und da dabei stets gleichsinnige Resultate erzielt worden sind, so dürfte man zur Verallgemeinerung mindestens so lange berechtigt sein, bis etwaige Abweichungen — auch wieder auf dem Wege des Versuches — konstatiert werden können.

Die spezielle Bedeutung eines jeden der genannten unentbehrlichen Elemente für das Leben der Vegetation ist nur zum Teil aufgeklärt — ich werde später nochmals darauf zurückkommen, für uns ist von Wichtigkeit zu wissen, dass das Fehlen auch nur eines desselben die Existenz der Pflanze überhaupt ausschliesse und hinsichtlich der Besprechung über Herkunft und Art der Aufnahme ist es daher gleichgültig, ob wir mit diesem oder jenem Elemente, ob mit dem Kohlenstoff oder dem Magnesium beginnen; wenn ich den Kohlenstoff voranstelle, so geschieht es wesentlich in Anbetracht des Umstandes, dass gerade er die Hauptmasse der festen Pflanzensubstanz ausmacht. Nach Hansen wiegt ein Eichenstamm 40, 60, 100, ja 200 Zentner. Zieht man von letztem Gewicht 20 % Wasser ab, welches der Stamm in der

Substanz seines Holzes enthält, so bleibt ein Trockengewicht von 160 Zentnern. 95 % dieser Holzmasse sind organische Substanz und die Hälfte derselben, d. h. 76 Zentner, ist Kohlenstoff! Äste, Krone und Wurzelwerk sind dabei ausser Betracht gelassen und doch wiegen sie zusammen mindestens das Doppelte des Stammes!

Woher stammt nun dieser Kohlenstoff und in welcher Form wird er aufgenommen? Das ist angesichts solcher Zahlen gewiss keine müssige Frage.

Noch vor weniger als 130 Jahren war man allgemein der Ansicht, dass der Kohlenstoff, dessen Bedeutung für das Pflanzenleben, bezw. für den Aufbau des pflanzlichen Organismus man damals schon sehr wohl kannte, aus dem Erdboden stamme, hat doch noch Lavoisier selbst geglaubt, den Kohlensäuregehalt der Luft leugnen zu müssen.

Das Verdienst, die atmosphärische Luft als Quelle des pflanzlichen Kohlenstoffes entdeckt zu haben, gebührt dem Holländer Jan Ingenhousz. Heute herrscht darüber kein Zweifel mehr, jedem Schüler der dritten Sekundarklasse ist der Satz, dass der Kohlenstoff der Pflanzen aus der Luft stamme, geläufig. Vielleicht ist es bis zu einem gewissen Grade doch etwas zu weit gegangen, wenn behauptet wird, aller Kohlenstoff werde der Atmosphäre entzogen, denn es ist nicht einzusehen, warum nicht auch gewisse stickstoffhaltige organische Substanzen, die der Pflanze Stickstoff liefern, nicht auch zugleich Kohlenstoffquellen sein können, immerhin treten sie in den Hintergrund im Vergleich zur Atmosphäre. Untergetaucht wachsende Pflanzen beziehen selbstredend ihren Kohlenstoffbedarf nicht direkt aus der Luft, sondern aus dem sie umgebenden Medium, dem Wasser, das aber seinerseits wiederum seinen Kohlensäuregehalt der Luft verdankt. (Hinsichtlich der Verhältnisse bei Parasiten und Saprophyten verweise ich auf die spätern Erörterungen.) Wenn der Kohlenstoff der Pflanzen der Luft, bezw. dem Wasser (bei Wasserpflanzen) entstammt, so kann als direkte Quelle nur das Kohlendioxid der Atmosphäre in Betracht kommen und durch Aufnahme desselben und von Wasser werden denn auch von der Pflanze die kohlenstoffhaltigen Verbindungen, wie Stärke, Cellulose, Zucker etc., die Verbindungen, die wir unter der Bezeichnung der Kohlehydrate zusammenfassen, gebildet. Für diesen fundamentalen Satz der pflanzlichen Ernährungslehre erwähne ich vorläufig folgende zwei Beweise:

1. Kultiviert man eine Pflanze nach der angeführten Wasser- oder Sandkultur und gibt man ihren Wurzeln nur die oben genannten unentbehrlichen anorganischen Nährstoffe, schliesst also dabei den Kohlenstoff aus, so kommt sie in diesem Falle, wo ihr nur die Kohlensäure der Atmosphäre zur Verfügung steht zu durchaus normaler Entwicklung

und reichlicher Samenbildung. Dabei erweist sich das Kohlenstoffquantum in der Ernte um das Vielfache grösser als das des ausgesäten Samens.

2. Jeder Erdboden, welcher längere Zeit eine Vegetation trägt, bereichert sich an Humus, also an Kohlenstoffverbindungen, welche von den Überresten der Pflanzen, die auf ihm wuchsen, herrühren. Diese Bereicherung wäre undenkbar, wenn die Pflanzen den ihnen notwendigen Kohlenstoff dem Boden entnehmen müssten und nicht aus der Kohlensäure der Luft selbst das Material schüfen, aus welchem der Humus erst entsteht.

Wie gelangt nun die Kohlensäure der Atmosphäre in die Pflanze und was ist ihr weiteres Schicksal?

Untergetaucht wachsende Pflanzen die von der Atmosphäre ganz abgeschlossen sind, verhalten sich, wie schon anderseits bemerkt, in diesem Punkte natürlich anders als Landpflanzen; ihnen steht als Kohlensäurequelle das Wasser, das sie in gelöster Form enthält, zur Verfügung, und sie sind überdies befähigt, an jedem Punkte ihrer Oberfläche Kohlensäure aufzunehmen. Die Landpflanzen dagegen besitzen besondere Öffnungen hiefür, die sogenannten Spaltöffnungen, deren Bau, Verteilung und Funktion ich bereits im ersten Vortrage berührt habe. Der Leser erinnert sich, dass die Spaltöffnungen mit einem reich verzweigten Netz von Interzellularen in Verbindung stehen, es ist also verständlich, dass die kohlensäurehaltige Luft unschwer in das Pflanzeninnere dringt. Dort angelangt, wird die Kohlensäure, wie man sich auszudrücken pflegt, assimiliert, d. h. der Vorgang der Photosynthese, als Vorläufer des Stoffwechsels, hebt an.

Der Botaniker hat sich in nicht sehr zweckmässiger Weise gewöhnt, diesen Vorgang kurzweg als *Assimilation* zu bezeichnen, in neuerer Zeit zieht man vor, sich der Bezeichnung *Photosynthese* zu bedienen, und zwar versteht man unter Photosynthese oder Kohlensäureassimilation die Aufnahme der Kohlensäure seitens der grünen Pflanzen, Spaltung derselben in Kohlenstoff und Sauerstoff, Abgabe des Sauerstoffes an die Luft und Bildung von Kohlehydraten in der assimilirenden Pflanzenzelle.

Die Erkenntnis dieser Formel hat verschiedene Phasen durchgemacht, an dieser Stelle sei indessen nur der entscheidenden Wendepunkte gedacht. 1772 hatte Priestley, der Entdecker des Sauerstoffes, erkannt, dass grüne Pflanzen die durch die Atmung der Tiere „verdorbene Luft verbessern“ und wenige Jahre später, nämlich 1779, wurde von dem schon erwähnten Holländer Ingenhousz festgestellt, dass die grünen Pflanzen nur im Lichte Sauerstoff abgeben, nicht aber im Dunkeln. Ingenhousz war es allerdings noch nicht klar, dass die Exhalirung des Sauerstoffes eine Folge der Zersetzung der Kohlensäure sei; diesen Satz stellte mit voller Überzeugung erst Senebier 1785 auf, und stützte 1804 in meisterhafter Weise durch das Experiment und scharfsinnige Über-

legung unser Landsmann Saussure, der gleichzeitig sicherstellte, dass die Kohlensäurespaltung dazu diene, die organische Nahrung für die Pflanze zu gewinnen.

Halten wir uns vorläufig an die beiden Tatsachen: [grüne, dem Lichte ausgesetzte] Pflanzen oder Pflanzenteile geben Sauerstoff ab und entnehmen der Luft Kohlensäure. Diese beiden Nachweise sind unschwer zu leisten.

Um das von Pflanzen abgegebene Gas kennen zu lernen, bringen wir Wasserpflanzen in einen mit Wasser gefüllten Zylinder und fangen die sich loslösenden Gasblasen in einem Trichter auf, über dessen obere Mündung wir ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas gestülpt haben. Die aufsteigenden Gasblasen verdrängen aus dem Reagenzglas in Bälde das Wasser und wir können dann das angesammelte Gas entweder auf gasanalytischem Wege untersuchen, oder wir werden, was zum Zwecke der Demonstration jedenfalls einfacher ist, in das Röhrchen einen glühenden Holzspahn einführen und zeigen, dass sich derselbe sofort in Flammen setzt, infolge des Hinzutrittes des im Gläschen enthaltenen Sauerstoffes.¹⁾ Um das Verschwinden der Kohlensäure während der Sauerstoffabgabe experimentell nachzuweisen, bedienen wir uns eines andern, etwas komplizierteren Apparates (Fig. 2). In das birnförmig erweiterte Ende eines graduirten Rohres *a* wird ein an einem Platindrahte *c* befestigtes Laubblatt eingeführt, wobei der Draht nur den Zweck hat, beim Abschluss des Versuches das Blatt herausziehen zu können, ohne den Apparat verändern zu müssen. Die Glasröhre steht ihrerseits in einer mit Quecksilber gefüllten Schale *e*. Ist das Blatt in den Apparat eingeführt, so wird das Quecksilberniveau eingestellt, wobei man zur Verbindung mit einem Saugapparat das Röhrchen *b* benützt, welches schliesslich durch ein Glasstäbchen verschlossen wird. Um das Blatt vor den schädlichen Queck-

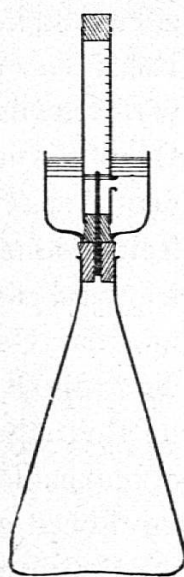


Fig. 1.

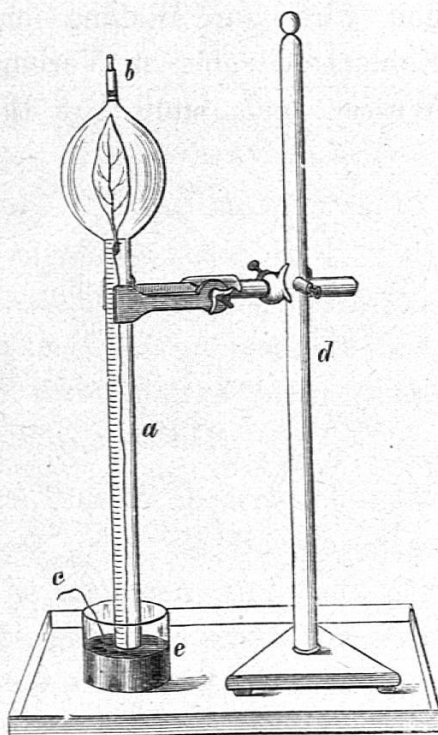


Fig. 2. Apparat zum Nachweise der Kohlensäureersetzung; *a*) ein graduirtes oben birnförmig erweitertes Absorptionsrohr, in welchem das assimilirende Blatt sich befindet; *b*) Verschluss durch einen Kautschukschlauch mit Glasstab; *e*) Quecksilberwanne.

¹⁾ Sekundarlehrer Wartenweiler in Oerlikon hat für diesen Schulversuch einen Apparat konstruirt und im Jahrgang VIII (1898) pag. 298 dieser Zeitschrift empfohlen, von dem ich mit Erlaubnis des Erstellers eine Abbildung in Fig. 1 bringe. Die nähere Beschreibung wolle man an erwähntem Orte nachlesen.

silberdämpfen zu schützen, lässt man einige Tropfen Wasser in dem Rohre *a* aufsteigen, welche das Quecksilber überdecken. Darauf wird in das Rohr reine Kohlensäure eingeleitet und die zugeführte Quantität aus den entsprechenden Ablesungen bestimmt und setzt nun den Apparat dem Sonnenlichte aus. Nach Verlauf einer bestimmten Zeit, während welcher der photosynthetische Prozess vor sich gegangen ist, wird das Blatt mittelst des Drahtes aus dem Rohre entfernt und nun das Gasgemenge im Rohre untersucht. Es stellt sich nun heraus, dass die Kohlensäure sich vermindert hat, dass aber gleichzeitig sich im Rohre Sauerstoff angesammelt hat, was sich schon aus dem Umstande erkennen lässt, dass trotz der Kohlensäureverminderung das Quecksilber im Rohre nicht gestiegen ist, sondern unveränderten Stand zeigt; es wird also ein Quantum Sauerstoff ausgeschieden, welches demjenigen gleich ist, das in der zersetzten Kohlensäure enthalten war.

Mit der Aufnahme der Kohlensäure und Spaltung derselben ist nun aber der photosynthetische Prozess noch keineswegs durchgeführt, sondern nun wird zur Bildung organisirter Substanz geschritten, indem der Kohlenstoff sofort in Verbindung tritt mit dem in der Zelle enthaltenen Wasser und damit zur Bildung eines Kohlehydrates führt, ein Vor-

gang, den wir durch die Gleichung:
 $12 \text{ CO}_2 + 10 \text{ H}_2\text{O} = 12 \text{ O}_2 + 2 (\text{C}_6 \text{ H}_{10} \text{ O}_5)$ wiedergeben. Das Verhältniss der Photosynthese zum Stoffwechsel ist damit festgelegt: Die Kohlensäureassimilation oder Photosynthese hat die Aufgabe, in besonderer Weise und in eigener Fabrik die organische Nahrung zu gewinnen, die für den Stoffwechsel ganz dieselbe Bedeutung hat, wie die von aussen bezogene organische Nahrung. Die Photosynthese ist es, die den animalen Organismus von der Pflanze unterscheidet: letztere bereitet sich die organischen Baustoffe selbst, ersterer bezieht die Nahrung in organischer Form.

Das erste Kohlehydrat, das wir als Produkt des photosynthetischen Prozesses direkt wahrnehmen

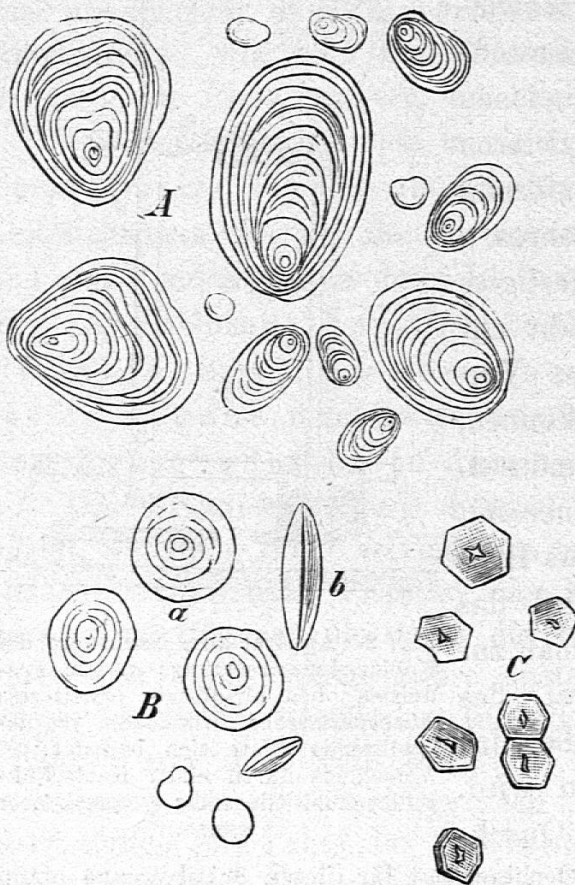


Fig. 3. Stärkekörner bei starker mikroskopischer Vergrösserung. A) aus der Kartoffel; B) aus dem Weizen; C) aus dem Maiskorn.

können, ist die allbekannte Stärke (Fig. 3) und zwar treten die Stärkekörnchen als Einschlüsse der Chloroplasten (Chlorophyllkörner der höheren Pflanzen) auf. Von entscheidender Beweiskraft dafür, dass die Stärkeeinschlüsse der Chloroplasten die Assimilationsprodukte sind, ist die leicht zu machende Beobachtung, dass die Stärke aus den Chlorophyllträgern verschwindet, und sich nicht wieder bildet, wenn keine Assimilation stattfindet, wenn die Pflanze z. B. beleuchtet, aber in kohlensäurefreier Luft kultiviert wird.

Wir kultivieren zu diesem Zwecke eine chlorophyllhaltige Pflanze in vollkommen kohlensäurefreier Atmosphäre. Kohlensäurefreie Luft erlangt man, indem man dem durch die Glasglocke *d* und die Sperrflüssigkeit *a* (Fig. 4) abgegrenzten Luftvolumen die Kohlensäure entzieht. Dies geschieht, indem man als Sperrflüssigkeit konzentrierte Kalilauge in die Schale *a* einfüllt, welche begierig alle Kohlensäure des Luftvolumens, das übrigens ja nur eine geringe Menge davon enthält, an sich reißt. Unter die Glasglocke bringt man die Versuchspflanze und setzt nun den Apparat dem Lichte aus. Natürlich wird man dafür gesorgt haben, dass nur eine stärkefreie Pflanze zum Versuche zugelassen wird, d. h. man hat sich die bis zum Versuche im Dunkeln gehaltene Versuchspflanze aus Samen, die man unter Lichtabschluss hat keimen lassen, gezogen und von der man sich durch die Jodprobe (Jod färbt Stärke blau) überzeugt hat, dass sie wirklich keine Spur von Stärke enthält.

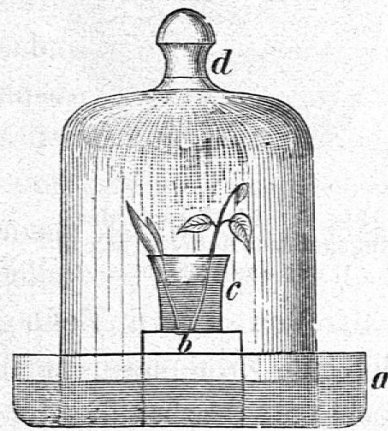


Fig. 4.

Die Blätter der im Dunkeln erwachsenen Pflanze färben sich nunmehr, im Apparat dem Lichte ausgesetzt, rasch grün, ein Beweis, dass Kohlensäure zu Ergrünung nicht erforderlich ist, dagegen wird trotz des Vorhandenseins des Chlorophylls keine Stärke gebildet; sowie wir aber die Glasglocke abheben und die Versuchspflanze von kohlensäurehaltiger Luft umspühlen lassen, hebt der photosynthetische Prozess an und führt zur Stärkeerzeugung.

Da nur die direkt beleuchteten Chloroplasten assimilieren, und Stärke produzieren, so bleiben die künstlich verdunkelten Partien eines Blattes stärkefrei und man erhält daher bei der nachherigen Behandlung mit Jod blauschwarzgefärbte Namenszüge, wenn durch Bedeckung mit einem entsprechend ausgeschnittenen Stanniolblatt für die lokalisierte Beleuchtung des Blattes Sorge getragen worden ist (Fig. 5).

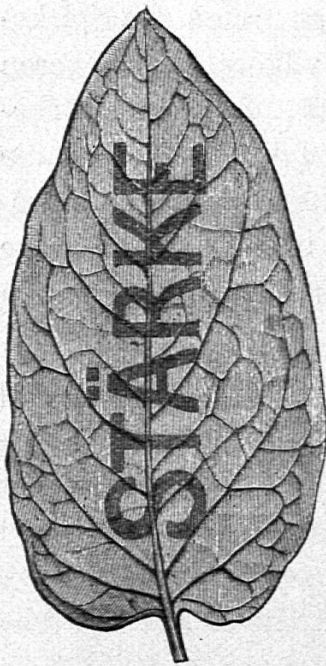


Fig. 5. Blatt nach der angegebenen Methode (pag. 9) mit Jod gefärbt.

Alles deutet darauf hin, dass die Stärke nicht überhaupt das erste Assimilationsprodukt ist, vielmehr bilden sich ganz sicher vor der Stärke andere Verbindungen, vielleicht Zucker, die für uns aber (zur Zeit wenigstens) nicht nachweisbar sind und die Stärke wird daher als das erste sichtbare Assimilationsprodukt bezeichnet.¹⁾

Der Assimilationsprozess, d. h. der Prozess von der Aufnahme der Kohlensäure ab bis zum Auftreten der ersten Stärkeeinschlüsse scheint sehr rasch zu verlaufen, denn G. Krause hat gefunden, dass eine entstärkte *Spirogyra* (eine Fadenalge mit spiralförmigen Chloroplasten) im Licht schon in 5 Minuten eine nachweisbare Menge von Stärke bildet.

Der photosynthetische Prozess ist nun von einer Reihe inner- und ausserhalb der Pflanze liegender Bedingungen abhängig.

Von innern Bedingungen sind in allererster Linie zu nennen das lebende Protoplasma und das Chlorophyll, jener grüne, dem Leser wohlbekannte Farbstoff. Ich nenne gleichzeitig beide, denn ich möchte dadurch andeuten, dass beide Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden müssen, denn sowenig wie unseres Wissens isolirtes Chlorophyll zur Photosynthese befähigt ist²⁾, so wenig assimiliert ein durch Hitze z. B. getöteter grüner Plasmaklumpen. Allerdings scheint in besonderen Fällen das Chlorophyll unter Umständen in seinen Funktionen von einem andern Farbstoff abgelöst werden zu können, so z. B. in den roten Purpurbakterien, in denen der grüne Farbstoff durch roten ersetzt zu sein scheint, doch ist dieser Punkt jedenfalls, wenn es sich bewahrheitet, dass diese Bakterien beim künstlichen Abtöten sich grün färben, noch näher zu verfolgen. Einer kritischen Prüfung bedürfen auch noch die Angaben, dass ungefärbte Protoplasamassen, sogenannte ungefärbte Protoplasten assimilieren sollen, denn es ist nicht ausgeschlossen, dass nicht etwa dennoch kleine Mengen Chlorophyll vorhanden, aber durch irgend eine Verbindung mit andern Körpern schwer nachweisbar sind.

¹⁾ Der Satz gilt für die grünen Pflanzen; bei den blaugrünen Algen, den Schicophyceae oder Cyanophyceae soll Glycogen das erste wahrnehmbare Assimilationsprodukt sein.

²⁾ Nach allerneuesten Forschungen scheint es nun allerdings, als ob dennoch eine Assimilation ausserhalb der lebenden Pflanzenzelle unter Umständen stattfinden könne, immerhin sind die Akten hierüber noch nicht geschlossen. Vergl. Friedel in den *Comptes rendus* (1901) XXXII No. 18.

Untersucht man nun irgend eine grün gefärbte Blattzelle mikroskopisch, so überzeugt man sich leicht, dass nicht etwa der ganze Zellinhalt gleichmässig grün gefärbt ist, sondern man nimmt sofort wahr, dass der grüne Farbstoff an bestimmte Träger gebunden ist, an Farbstoffträger oder Chloroplasten, die bei den höhern Pflanzen in der Regel linsenförmige Gestalt haben, bei niedern Gewächsen, Algen etc. bald plattenförmig, bald sternförmig sind, bald die Form einer Hohlkugel etc. haben.

Diese Chloroplasten bestehen ihrer chemischen Natur nach aus Protoplasma, also aus Eiweissstoffen; es sind lebendige Organe im lebendigen Protoplasma. Ihre morphologische Gestaltung ist noch mehr oder weniger dunkel, im allgemeinen wird heute angenommen, dass der Chlorophyllträger schwammähnliche Struktur besitze und dass der Farbstoff sich in vakuolenähnlichen Räumchen des farblosen Stromas befinde.

Welche Rolle dem Chlorophyllfarbstoff bei der gleich zu besprechenden Kohlensäurezersetzung zufällt, wissen wir zur Stunde noch nicht, möglich, dass ihm nur die Rolle eines Sensibilisators zukommt, d. h. die Aufgabe, die Energie der Schwingungen auf die Moleküle der Kohlensäure zu übertragen, mit andern Worten in den aktiven Teilen des Chloroplasten mittelst der durch die Lichtstrahlen im Chlorophyll erzielten Schwingungen diejenigen Bewegungszustände hervorzurufen, welche zum photosynthetischen Betrieb notwendig sind.

Des weitem ist die Photosynthese unter allen Umständen an das Licht gebunden: ohne Licht keine Kohlensäurezersetzung.¹⁾ Damit ist

¹⁾ Wenn es sich darum handelt, die Notwendigkeit des Lichtes für die Entbindung von Sauerstoff durch grüne Pflanzen zu zeigen, so lässt sich folgendes, von Professor Kny in der Naturwissensch. Wochenschrift von Potonié und Körber empfohlenes Verfahren anwenden.

Indigokarmin ist ein Farbstoff, der in wässriger Lösung durch sauerstoffentziehende Mittel entfärbt und durch Zufuhr frischen Sauerstoffes in seiner ursprünglichen blauen Färbung wieder hergestellt wird. Stellt man sich eine wässrige Lösung dieses Farbstoffes dar, so kann man dieselbe durch Hinzufügen einer Lösung von hydroschwefeligsauerm Natron entfärben. Hat man dafür gesorgt, dass von der letztgenannten Verbindung nur eben soviel hinzugefügt wurde, als zur Entfärbung unbedingt notwendig war, so sieht man, wie an der Berührungsfläche der Flüssigkeit mit Luft die Blaufärbung sofort wieder eintritt und sich allmählich nach abwärts verbreitet. Führt man die Entfärbung vorsichtig in einer Flasche mit Stopfen aus, bringt, bevor dieselbe geschlossen wird, in die Flüssigkeit einen frischen grünen Pflanzenteil und setzt die Flasche dem direkten Sonnenlicht oder dem Lichte einer elektrischen Bogenlampe aus, so sieht man die Bläue zuerst im Umkreise des grünen Pflanzenteiles auftreten und von hier aus sich in blauen Schlieren durch die Flüssigkeit verbreiten. Dieser Versuch ist auch gut geeignet, zu zeigen, dass nicht der grüne Farbstoff allein es ist, welcher die Kohlensäure zerlegt, sondern der

gleich gesagt, dass die Photosynthese nur tagsüber stattfindet, nachts aber aussetzt. Das Licht ist nicht etwa bloss deshalb notwendig, weil im allgemeinen im Dunkeln kein Chlorophyll gebildet wird, sondern es wirkt direkt auf den photosynthetischen Prozess ein, denn auch grüne Pflanzen zersetzen unter Ausschluss von Licht keine Kohlensäure und andererseits gibt es eine Reihe von Pflanzen, die auch im Dunkeln ergrünen, ich erinnere nur an die Keimblätter der Tannengewächse. Die Lichtstärke ist dabei kein nebensächlicher Faktor, denn nur intensives Tageslicht ist imstande, Kohlensäurezersetzung zu bewirken, abgeschwächtes reicht dazu nicht aus. Die Pflanzen können also tatsächlich mangels genügender Beleuchtung verhungern, eine Tatsache, die jedem, der Zimmerpflanzen hält, zwar bekannt ist, aber in der Regel zu wenig gewürdigt wird.

Eine wie geringe Menge Licht eine Pflanze erhält, wenn sie vom Fenster entfernt im Zimmer steht, kann man sich leicht durch eine, der Publikation von Hansen entnommene, einfache Betrachtung klar machen.

„Eine Pflanze, die im freien wächst, erhält das von der ganzen einen Halbkugel des Himmels zurückgestrahlte Licht und wird bei Sonnenschein direkt von den Sonnenstrahlen getroffen. Stellen wir nun eine Pflanze aus dem Freien ans Fenster, so ist sie dadurch auf halbe Lichtstrahlung gesetzt. Sie kann höchstens die Hälfte des Lichtes erhalten, wie die Freilandpflanze. Ausserdem erhält die Pflanze, wenn sie an einem nach Norden liegenden Fenster steht, gar kein direktes Sonnenlicht. Die kleine

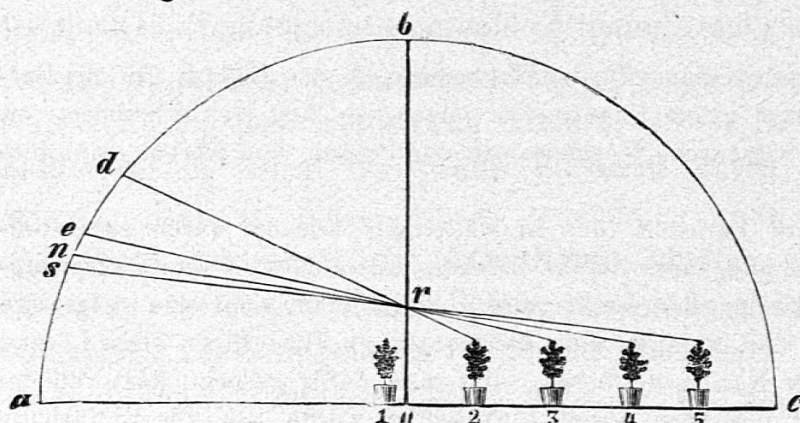


Fig. 6. Darstellung der Abnahme des Lichtes für eine Pflanze, die vom Fenster entfernt wird.

Zeichnung (Fig. 6) wird überzeugender als Worte dartun, in welchem Masse die Lichtmenge für eine Pflanze abnimmt, die man allmählich vom Fenster entfernt. Der Halbkreis *a b c* stellt die halbe Himmelskugel dar, *o r* ist die

Fensterhöhe. Aussen, vor dem Fenster stehend, würde die Pflanze das von dem Teil *a b* des Himmels reflektirte Licht erhalten, hinter dem Fenster innerhalb des Zimmers in die Stellung 2 gerückt, ist die disponible

lebende Chloroplast, denn wenn man einen durch hohe Temperatur soeben getöteten grünen Pflanzenteil ebenso behandelt, wie den lebenden, so bleibt nunmehr die Blaufärbung aus. (Aus der Naturwissenschaftl. Wochenschrift N. F. I, Nr. 3 (1901) p. 30.)

Lichtmenge nur die von *a d* zurückgestrahlte und wird immer geringer je mehr die Entfernung vom Fenster zunimmt. Von dem Physiologen Detlefsen sind genaue Berechnungen über diesen Punkt angestellt worden, aus denen sich ergibt, dass schon in einer Entfernung von 1 Meter vom Fenster, (ein Abstand, in dem man gewöhnlich Blumentische plaziert findet) nur $\frac{1}{5}$ von der Lichtmenge zur Pflanze gelangt, welche sie im Freien erhalten würde. Die Folge davon ist schliesslich ein abnormes Wachstum, bedingt durch ungenügende Ernährung.“

Nun ist dem Leser aber auch bekannt, dass das Sonnenlicht allerdings in unserm Auge zwar nicht die Empfindung einer besondern Farbe erweckt, dass dieses weisse Licht aber trotzdem durch Zusammenwirken von Strahlen verschiedener Art entsteht. Mittelst des Prismas zerlegen wir das Sonnenlicht in seine einzelnen Farben, in die Regenbogenfarben. Wohl bekannt ist des weitern, dass diese verschiedenen Farben durchaus verschiedene Eigenschaften besitzen, dass z. B. es die blauen und violetten, die sogenannten chemischen Farben sind, welche die Zersetzung der Silbersalze (Photographie) oder die unter Explosion vor sich gehende Vereinigung von Chlor und Wasserstoff bewirken und die Physiologen haben sich daher schon frühzeitig gefragt, welche Spektralfarben wohl die aktiv wirksamsten sein dürften. Das Experiment lehrt, dass es die roten Strahlen sind, welche die Photosynthese bewirken, wogegen die Leistungen der violetten Strahlen äusserst geringe sind.

Zur Ausführung dieser Versuche bedienen wir uns zweier Zylinder, die mit Brunnenwasser gefüllt werden und in denen wir irgend eine Wasserpflanze kultiviren (Fig. 7). Wir stellen die Gefässe an die Sonne und überdecken sie sodann mit je einer doppelwandigen Glasglocke, zwischen deren Wänden sich eine Flüssigkeit von bestimmter Farbe befindet. Wir wählen für die eine Glasglocke die blaue Lösung von Kupferoxydammoniak (gewonnen, indem eine Lösung von Kupfervitriol mit Ammoniak versetzt wird), für die andere Glocke eine Lösung von Kaliumbichromat (gelb). Die blaue Lösung absorbiert die rotgelbe Hälfte des Spektrums und lässt nur blauviolette Strahlen und einen Teil des grünen Spektrums durchgehen, die Kaliumbichromatlösung dagegen löscht die blauen und violetten Strahlen des Spektrums aus. Die Energie der Photosynthese wird nun gemessen durch die Zahl der von der kultivirten Pflanze aufsteigenden Blasen, die Sauerstoffblasen sind und deren

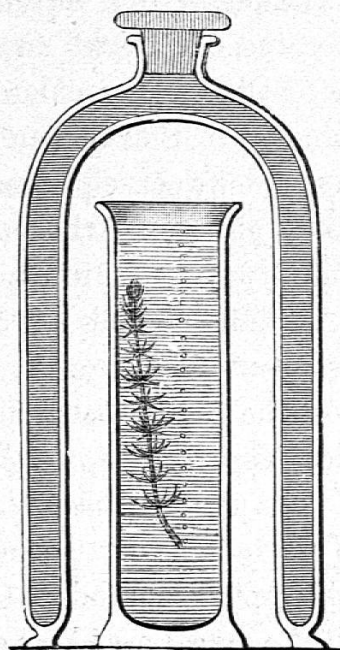


Fig. 7.

Bildung eine Folge der Kohlensäurezersetzung ist, d. h. je energischer der photosynthetische Prozess vor sich geht, um so rascher werden sich die Blasen folgen. Das Experiment lehrt nun, dass im blauen Lichte beinahe gar keine Blasen aufsteigen, dass unter der gelben Glocke dagegen die Zersetzung sehr rasch vor sich geht.

Von den natürlichen Lichtquellen kommt nur das Sonnenlicht in Betracht. Lampen-, Gas- und schliesslich auch elektrisches Licht bewirken bei grosser Lichtstärke allerdings eine Photosynthese, sie ist aber verschwindend gering neben jener des Sonnenlichtes und kommt vorderhand praktisch noch gar nicht in Betracht, namentlich auch deshalb nicht, weil z. B. das elektrische Licht, von dem man sich für Pflanzenkulturen s. Z. soviel versprochen hat, gerade diejenigen Strahlen, welche wir als die wirksamsten für die Kohlensäurezersetzung erkannt haben, nur in geringer Menge enthält.

Auch die Temperatur scheint die Energie der Photosynthese zu beeinflussen, indessen sind die bezüglichen Verhältnisse noch zu wenig abgeklärt, als dass sich ein bestimmter Satz aufstellen liesse; wir erkennen nur soviel, dass für die Kohlensäurezersetzung sowohl eine obere wie eine untere Temperaturgrenze zu konstatieren ist.

Aus dem Vorangegangenen haben wir erkannt, dass verschiedene Faktoren zusammenwirken müssen, um die notwendigen Bedingungen für den photosynthetischen Prozess zu schaffen: die Organismen müssen Chloroplasten führen — ich sehe hier ab von den fraglichen Purpurbakterien und jenen noch sehr ungenügend bekannten, angeblich chlorophyllosen und doch kohlenensäurezersetzenden Organismen —, es muss eine Lichtquelle von bestimmter Stärke zur Verfügung stehen und die Temperatur darf nicht zu tief und nicht zu hoch sein.

Die in den chlorophyllführenden Zellen auf photosynthetische Wege produzierte Stärke darf nun aber nicht dort verweilen, sie muss nunmehr dem Stoffwechselprozess anheimgegeben werden und gleichzeitig muss sie auch aus den Arbeitszellen weggeführt und den Leitungssystemen zugeführt werden; eine Anhäufung von Kohlehydraten in der Bildungszelle (Assimilationszelle) würde rasch zu einer Sistierung der Assimilations-tätigkeit führen. Die Stärke verwandelt sich zu diesem Zwecke in eine lösliche Verbindung, in Zucker und wandert als Zucker nach den Orten des Verbrauches.

Aus dem bisanhin Entwickelten ergeben sich nun einige für das Verständnis der gegenseitigen Beziehungen zwischen Anordnung der chlorophyllführenden Gewebe und Photosynthese wichtige Leitsätze. Es dürfte dem Leser klar geworden sein, dass im allgemeinen die Assimilations-

energie sich steigern muss mit der zunehmenden Quantität an Chloroplasten, auch grösser sein wird, je leichter die assimilirenden Zellen mit der kohlensäurehaltenden Luft in Berührung kommen können, dass der Prozess aber auch um so ungestörter vor sich gehen wird, je rascher die Assimilationsprodukte abgeleitet werden.

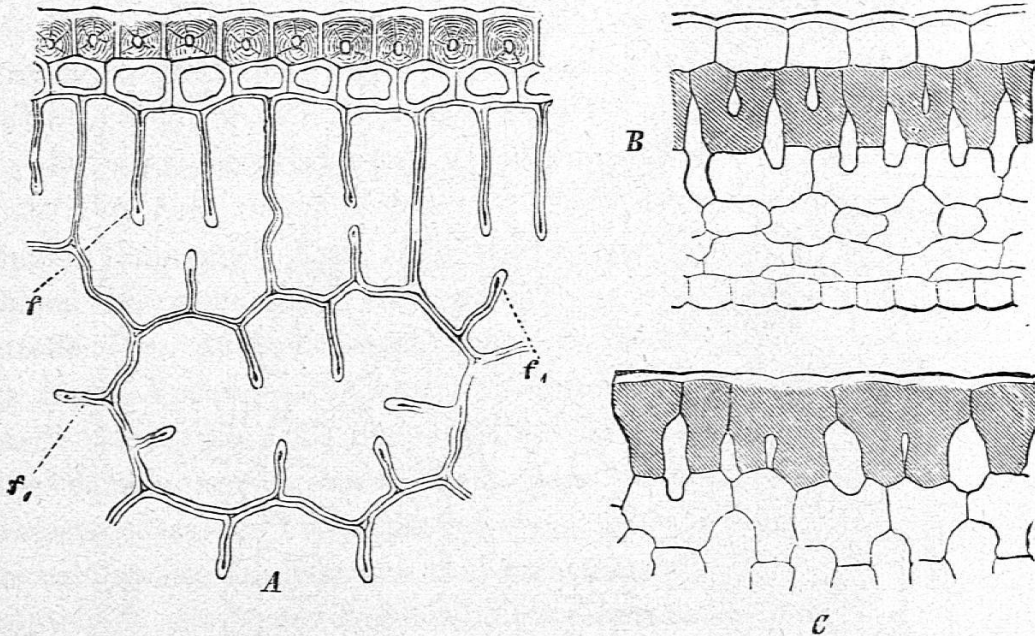


Fig. 8. Armpalissadengewebe. *A* Teil des Blattquerschnittes von *Pinus Laricio*. Die Membranfalten sind in den subepidermalen Assimilationszellen senkrecht zur Blattfläche orientirt (*f*), in den darunter liegenden Zellen dagegen ohne bestimmte Orientirung (*f'*). Der Deutlichkeit wegen wurden bloss die Zellwände gezeichnet. *B* Querschnitt durch das Laubblatt von *Sambucus nigra*. Die Armpalissadenschicht ist schraffirt. *C* Protodermale Armpalissadenschicht von *Adiantum trapeziforme*.

Im Bau des Assimilationsgewebes tritt daher auch in erster Linie das Prinzip der Oberflächenvergrösserung zu Tage: je grösser die Zahl der Chlorophyll führenden Zellen ist, und je mehr Chlorophyllkörner eine Assimilationszelle führt, um so energischer wird der photosynthetische Prozess vor sich gehen.

Haberlandts Verdienst ist es namentlich, uns mit einer überraschend grossen Zahl von Modifikationen in der Ausgestaltung der Chlorophyllzellen aufmerksam gemacht zu haben, die alle darauf zielen, eine möglichst grosse Oberfläche zu schaffen, um einer möglichst grossen Zahl an Chloroplasten Raum zu bieten. Ich kann an dieser Stelle unmöglich auf Einzelheiten eintreten, glaube auch, dass ein Verweis auf die beigegebenen Figuren (8 *A*, *B*, *C*) genügen dürfte.

Wir haben uns dabei stets zu vergegenwärtigen, dass die Chloroplasten oder Chlorophyllkörner in den Assimilationszellen wandständig zu sein pflegen und dies

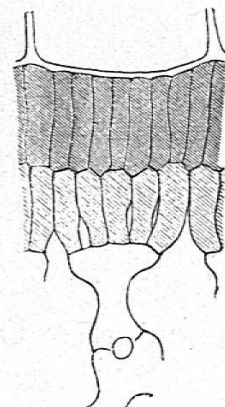


Fig. 9. Palisadenzellbüschel, einer Sammelzelle aufsitzend, aus dem Laubblatte von *Ficus elastica*.

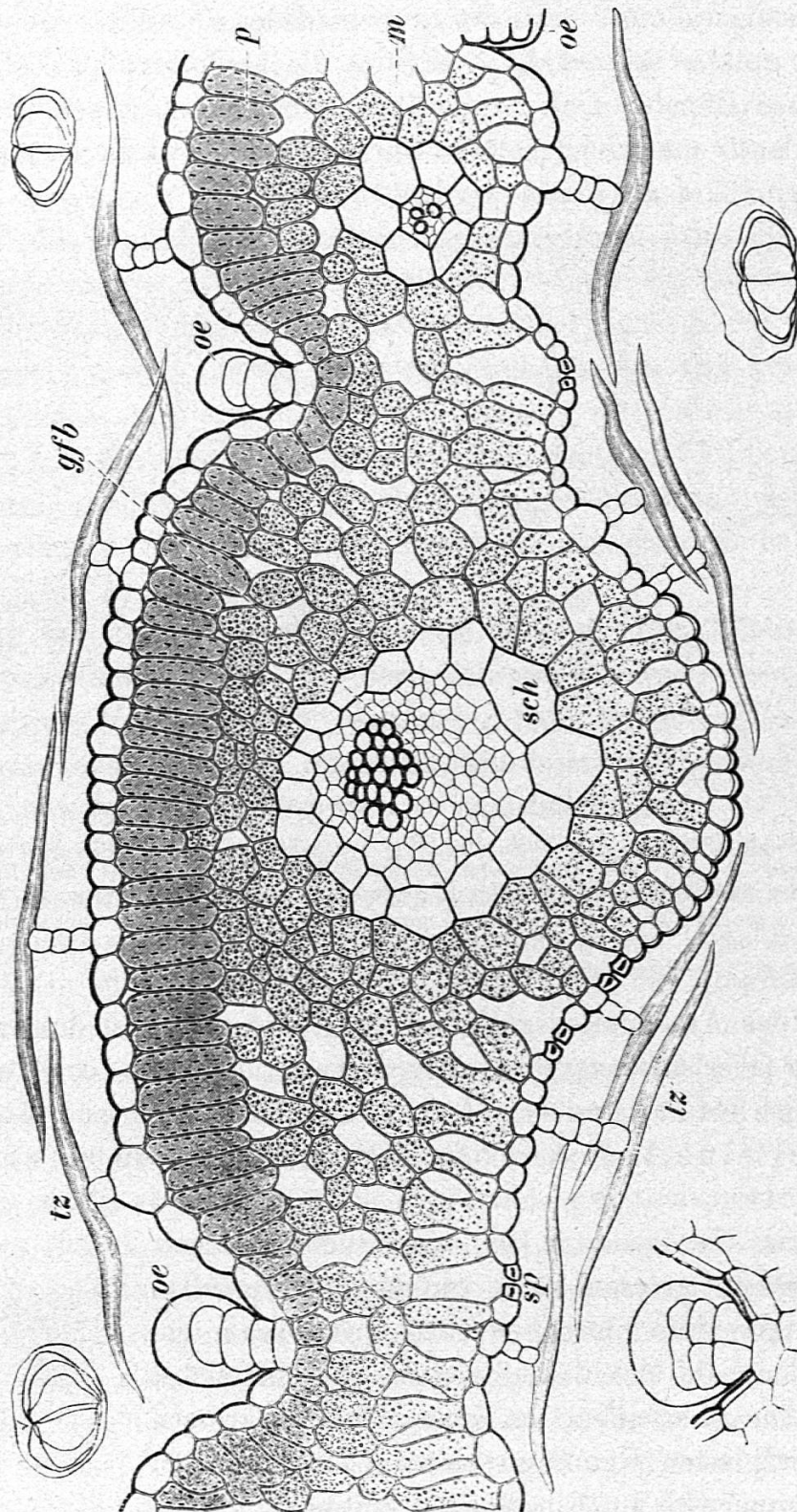


Fig. 10. Querschnitt durch ein Blatt von *Artemisia Absinthium* an der Mittelrippe, *tz* Haare, *oe* Öldrüsen, *gfb* Leitbündel mit Parenchymascheide (*sch*), *sp* Spaltöffnung, *p* Palissadenschicht, *m* Mesophyll.

vorausgeschickt, dürfte der Leser rasch über die Bedeutung der in Fig. 8 *A* skizzierten Wandfalten *f* und *f*₁, und jener in *B* und *C* ins Klare kommen: die physiologische Bedeutung derselben besteht vor allem darin, dass sie die Innenfläche der Zellhaut vergrößern und so Platz schaffen für eine vermehrte Anzahl von Chloroplasten.

Wer ein Mikroskop zur Hand hat, der wird die Zahl dieser Beispiele unschwer erweitern können, und manche Zellgestalt und Zellanordnung, die er bisanhin für etwas mehr oder minder zufälliges oder nebensächliches anzusehen gewohnt war, dürfte ihm auf Grund unserer Erörterungen nun doch in einem wesentlich andern Lichte erscheinen.

Das zweite Bauprinzip, das den Bau der Assimilationsgewebe beherrscht, lautet: die Assimilationsprodukte sind auf möglichst kurzem Wege abzuleiten

Es wird gut sein, wenn wir uns an dieser Stelle aufs neue des Baues eines Laubblattes erinnern; um mich aber nicht wiederholen zu müssen im einzelnen, verweise ich auf die betreffenden Auseinandersetzungen anlässlich des ersten Vortrages (Jahrgang X dieser Zeitschrift, 1900, pag. 55) und auf Fig. 10. Ich habe damals schon ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Palissadengewebe, das bald ein- bald zweiseitig, bald ein- bald mehrschichtig ausgebildet sein kann, das Assimilationsgewebe par excellence sei, dass aber auch dem Mesophyll eine photosynthetische Aufgabe nicht abgesprochen werden dürfe, schon deshalb nicht, weil es ja auch Blattgrün führt. Dem Mesophyll sind nun in ernährungsphysiologischer Beziehung zwei Funktionen überbunden. Erstens hat es mit Hülfe seines Chlorophyllapparates zu assimilieren und zweitens muss es die tagsüber neu erzeugten Assimilationsprodukte ableiten und dem Leitungssystem zuführen. Das Mesophyll wird nicht gleich den Palissadenzellen direkt vom Lichte getroffen, denn ein Teil der Lichtintensität wird ja bereits von den ihm vorgelagerten Palissadenzellen verschluckt, mit diesem Minus an Licht steht möglicherweise in Korrelation die reichlichere Ausbildung an Interzellularen, durch die das Mesophyll im allgemeinen ja charakterisirt ist, denn dadurch werden die einzelnen Zellen allseitig von der atmosphärischen Luft umspült.

Die Mesophyllzellen können nun in ihrer Gesamtheit zugleich als Assimilationsgewebe und als Ableitungs-

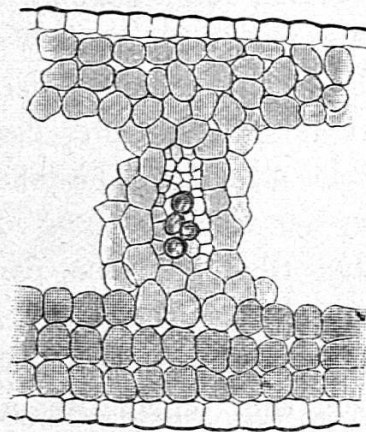


Fig. 11. Querschnitt durch das Laubblatt von *Galanthus nivalis*. Vergr. 80.

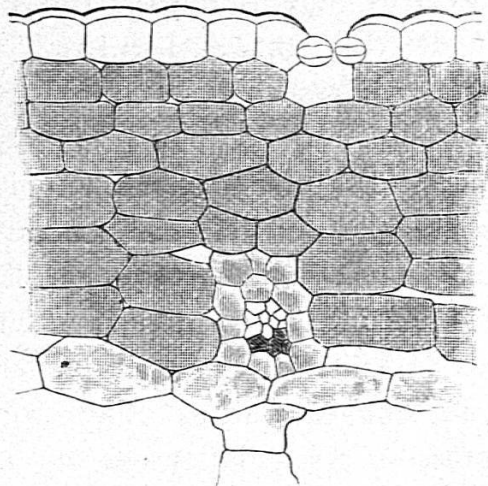


Fig. 12. Partie aus dem Blattquerschnitte von *Iris germanica*. Vergr. 145.

gewebe dienen; der mangelnden Arbeitsteilung entspricht dann das Ausbleiben jeder morphologischen Differenzierung, oder, im Gegensatz hiezu, die Arbeitsteilung ist soweit durchgeführt, dass die assimilirenden Zellen die produzierten Stoffe direkt einem andern, dem ableitenden, Gewebe zuführen. Dass die Differenzierung im anatomischen Bau im letztern Falle eine sehr weitgehende sein wird, liegt auf der Hand. In der Natur sind nun beide Extreme realisiert und durch zahlreiche Übergänge mit einander verbunden. Auch hier muss ich mich, um nicht allzu weitschweifig zu werden, damit begnügen, den Leser auf die Figuren zu verweisen. I. Das Assimilationsgewebe dient zugleich als Ableitungsgewebe, Fig. 11, die einen Querschnitt durch ein Laubblatt von *Galanthus nivalis* repräsentirt. Unter der Epidermis der Oberseite befindet sich eine aus 3 bis 4 Zelllagen bestehende Schicht von chlorophyllreichen Zellen, welche in der Längsrichtung des Blattes gestreckt sind und sehr regelmässige, zur Blattoberfläche parallele Längsreihen bilden. Die Grundform einer einzelnen solchen Zelle ist ein achtseitiges Prisma mit abwechselnd breiteren und schmälern Seitenflächen, mit welcher letzteren die Zellen an ein System von sehr regelmässig ausgebildeten Interzellularen grenzen. II. Es ist ein Assimilations- und ein Ableitungsgewebe vorhanden. Die Assimilationsprodukte wandern aus dem ersteren direkt in das letztere, Fig. 12, in der das Ableitungsgewebe in der Form einer das Leitbündel umgebenden Parenchymscheide auftritt. III. Ausser dem Assimilations- und Ableitungsgewebe ist noch ein besonderes Zuleitungsgewebe vorhanden (α in Fig. 13, sogenannte Sammelzellen), in welches die Hauptmenge der produzierten Stoffe aus den assimilirenden Zellen direkt übertritt; von hier aus erfolgt dann erst die Zuleitung in das eigentliche Ableitungsgewebe (sehr typisch in den Fig. 9, 13, 14, 15).

Schliesslich noch ein Wort über die Anordnung des Assimilationsgewebes in Bezug auf die ganzen Organe. Es ist ohne weiteres klar, dass ein Verlegen der chlorophyllführenden Gewebezellen in vom Lichte abgeschlossene Organe, in die Wurzeln, Rhizome etc., zwecklos wäre, klar auch, dass es für die Pflanze nutzbringender sein wird, wenn sie die Assimilationsgewebe in einem flächenförmigen Organe unterbringt, als in einem zylindrischen oder gar kugeligen von demselben Volumen. Ein dünnes flaches Blatt wird bei sonst gleichen Bedingungen eine grössere Assimilationsenergie entfalten als ein kleineres, aber dickeres Blatt von demselben Volumen. Man sollte also glauben, dass die Pflanzenwelt ganz ausnahmslos dahin zielen müsste, möglichst grosse,

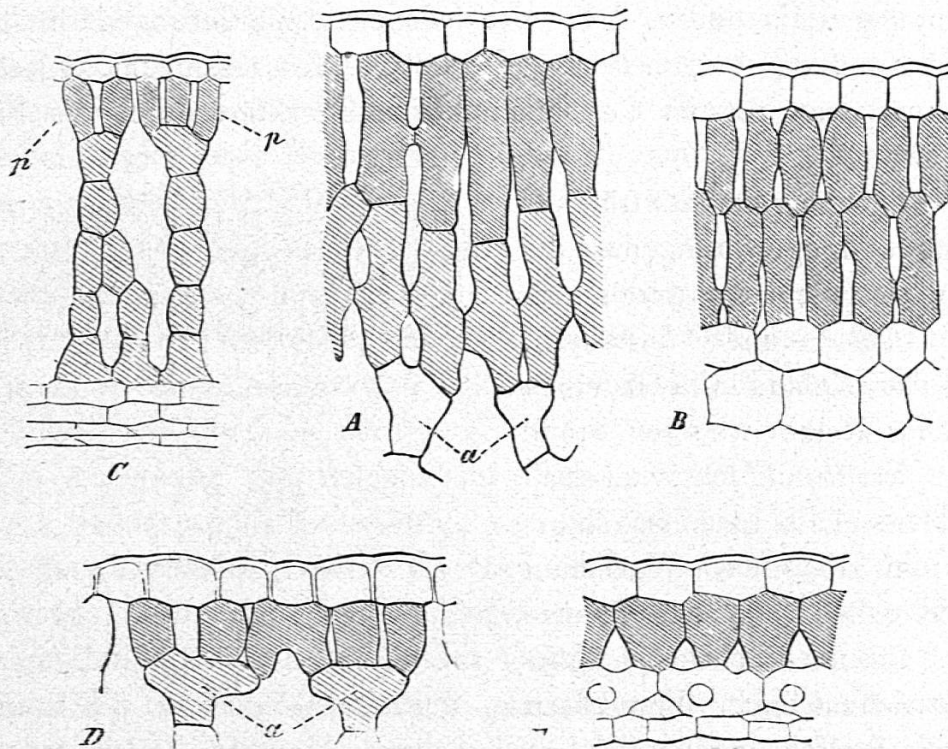


Fig. 13. Palissadengewebe. *A* von der Oberseite der Wedelspreite von *Asplenium ruta muraria*; *a* trichterförmige Sammelzellen. *B* Partie aus dem Blattquerschnitte von *Asphodelus Villarsii*. Vergr. 106. *C* Assimilatorische Gewebelamellen aus dem Blatte von *Cryptomeria elegans*; horizontaler, durch die Mitte des Blattes geführter Längsschnitt. Vergr. 65. *D* Partie aus dem Querschnitt durch die Wedelspreite von *Aspidium Sieboldi*; *a* Sammelzellen. *E* Querschnitt durch die fertile Blattspreite von *Asplenium Belangeri*: das Mesophyll besteht bloss aus zwei Zellschichten; die obere setzt sich aus Trichterzellen, die untere aus Schwamm-parenchymzellen zusammen.

dünne, ungeteilte Blattflächen zu erzeugen. Unsere Erfahrung lehrt uns, dass wohl die Tropenwelt diesem Ideale zustrebt, dass aber im übrigen von diesem Bestreben scheinbar wenig zu beobachten ist. Der Grund liegt eben darin, dass an die Pflanzen noch gar mancherlei andere Anforderungen gestellt werden, ich erinnere nur an das über die Transpiration Gesagte und an die mechanischen Bauprinzipien. Zum Zwecke der Reduktion der Transpirationsgrösse wird eine Verkleinerung der Blattfläche angestrebt, die mitunter so weit geht, dass überhaupt keine grünen Blätter mehr ausgebildet werden (*Ruscus*, *Equisetum* etc.), und zur Erhöhung der Biegefestigkeit sucht die Pflanze im Stengel ihre „mechanischen Zellen“ möglichst peripher unterzubringen.

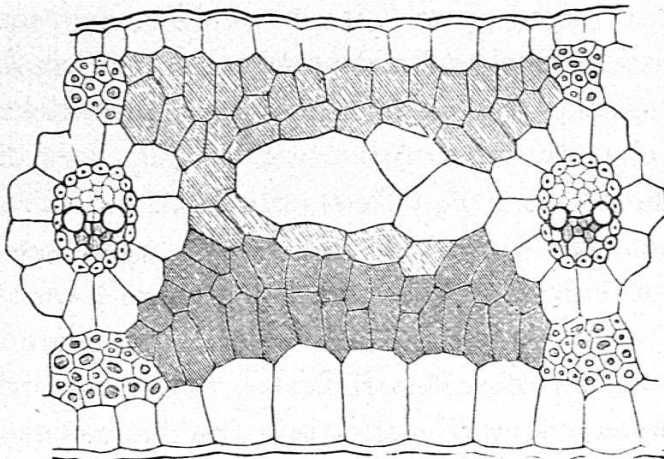


Fig. 14. Querschnitt durch ein Hochblatt von *Cyperus alternifolius*. Vergr. 300.

Da kommen dann eben die verschiedenen Anforderungen in gegenseitigen Konflikt, es müssen gegenseitige Konzessionen zugestanden werden und von diesem Gesichtspunkte aus erklären sich die Figuren ohne weiteres.

Ich habe bereits an früherer Stelle darauf hingewiesen, dass die Pflanzen sich nicht nur durch Aufnahme von C, H und O ernähren, sondern dass sie zu ihrem Gedeihen noch einer Reihe weiterer Stoffe bedürfen, Stoffe, die ich, weil auch ihre Abwesenheit in einer Nährlösung ein abnormes Wachstum und schliesslich Tod der Pflanze bedingt, als unentbehrliche Nährstoffe bezeichnet habe. Von diesen wichtigen Stoffen nenne ich in erster Linie den Stickstoff, der unentbehrlich ist zum Aufbau der Eiweissmoleküle.

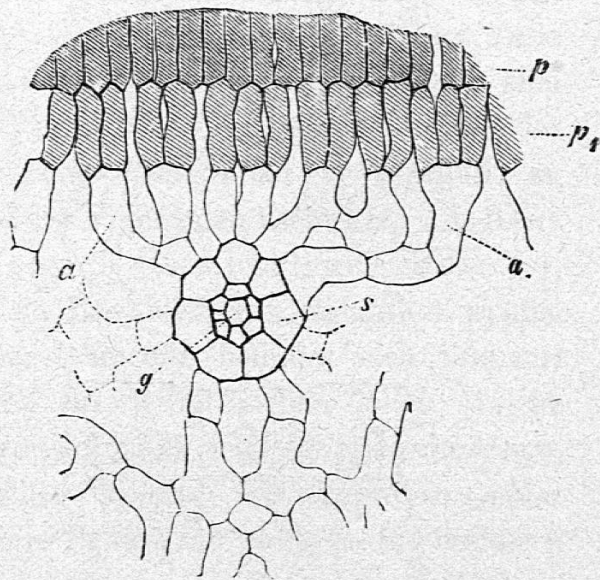


Fig. 15. Partie aus dem Blattquerschnitt von *Ficus elastica*; *p*, *p*₁ die beiden Palissadenschichten; *a* Aufnahms- oder Sammelzellen; *g* zartes Leitbündel, bloss aus Tracheiden bestehend; *s* Parenchymscheide. Vergr. 230.

Woher nehmen die Pflanzen ihren Stickstoff? Aus der Luft, die ja bekanntlich neben $\frac{1}{5}$ Sauerstoff $\frac{4}{5}$ Stickstoff enthält? Oder aus dem Erdboden, dem Humus?

Eine bestimmte Antwort auf diese Fragen verdanken wir dem französischen Gelehrten Boussingault (1854 und 1855), nachdem schon vor ihm die gasometrischen Messungen Saussures (1804) allermindestens die irrigen Anschauungen über die ausgedehnte Verwendung des freien Stickstoffes in der Pflanze widerlegt hatten. Boussingault wies auf dem Wege des Experimentes, indem er Pflanzen unter völligem Ausschluss aller andern Stickstoffverbindungen nur durch Zuführung des in der Luft enthaltenen Stickstoffes zu kultiviren versuchte, nach, dass in diesem Falle keine Stickstoffzunahme stattfindet, dass die Pflanzen demnach nicht im stande sind, den freien Stickstoff zu fixiren. Wie der Leser noch vernehmen wird, gilt dieser Satz allerdings nicht mehr ganz allgemein, vorderhand sei es indessen gestattet, von den Spezialfällen abzusehen.

Wenn der Stickstoff der Atmosphäre ausser Betracht fällt, so bleibt uns nur der des Bodens. In diesem findet sich N in zweierlei Form besonders verbreitet vor, als Ammoniak und als salpetersaures Salz (Nitrate). Noch Liebig ist der Meinung gewesen, dass man für alle Pflanzen im Ammoniak die Stickstoffverbindung zu erkennen habe, die

der Pflanze als Nahrung diene; durch die Versuche Boussingaults und dessen Nachfolger ist aber experimentell bewiesen worden, dass mit Ausnahme der Pilze die Pflanzen vielmehr die ihren Ursprung von der Zersetzung organischer Stickstoffverbindungen und von Ammoniaksalzen ableitenden Nitrate vorziehen.¹⁾ Die Nitrate sind alle in Wasser leicht löslich und können daher als wässrige Lösung von den Pflanzen durch die Wurzeln aufgenommen werden. Die Bedeutung der salpetersauren Salze ist von den Vertretern der Landwirtschaft längst anerkannt, wie denn ja z. B. arme Ackerböden bekanntlich künstlich durch Zuführung von Chilisalpeter gedüngt werden.

Die Aneignung der Salpetersäure seitens der Pflanze hat zur notwendigen Bedingung die gleichzeitige Anwesenheit einer kohlenstoffhaltigen organischen Verbindung, setzt also bei chlorophyllhaltigen Pflanzen eine stattfindende Assimilation von Kohlensäure voraus. Bei dieser Salpetersäureassimilation ist vermutlich das Chlorophyll nicht mittätig, wie ja überhaupt die Stickstoffassimilation gar nicht im grünen Blatte zu erfolgen braucht (Pilze!) Wahrscheinlich können alle Zellen, die z. B. etwas Zucker führen, Nitrate assimilieren und in der Tat lässt sich in den meisten nitratführenden Parenchymzellen Zucker nachweisen. Als erstes Produkt der Salpetersäureassimilation werden vermutlich Amide gebildet und aus diesen leiten schliesslich die Eiweissstoffe wahrscheinlich ihren Ursprung ab, indem die Amide von Zelle zu Zelle nach den Orten der Eiweissproduktion geleitet werden, wie in die Früchte, die Samenanlagen etc.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, dass der Boussingaultsche Satz, die Pflanzen sind nicht imstande, freien Stickstoff zu fixieren, einer Einschränkung bedarf, denn es ist heute nachgewiesen, dass dennoch eine Assimilation freien Stickstoffes stattfindet seitens einiger Bakterien und seitens der Leguminosen, von den letztern in symbiotischem Zusammenwirken mit den Knöllchenbakterien.

Von diesen Mikroorganismen ist namentlich das Bodenbakterium *Clostridium Pasteurianum* durch die Untersuchungen Winogradskys (1893 und 1894) näher erforscht worden. Wir wissen von diesem, dass es sich derart der Aneignung freien Stickstoffes angepasst hat, dass es sehr gut auf stickstofffreiem Nährboden vegetiert. Es ist dies eine höchst bedeutsame Entdeckung, denn sie lässt uns mit grösster Wahrscheinlichkeit vermuten, dass durch die Arbeit dieser Stickstoffbakterien eine Stickstoffdüngung herbeigeführt wird, die jedenfalls auch denjenigen Pflanzen zu gute kommt, die nicht imstande sind, freien Stickstoff zu assimilieren.

¹⁾ In jüngster Zeit ist man indessen wieder eher geneigt, diesen Satz etwas einzuschränken.

Hinsichtlich der Leguminosen war den Landwirten schon längst bekannt, dass sie mit Schmetterlingsblütlern selbst auf ganz stickstoffarmem Boden, auf dem Getreide mangels Stickstoffes nicht fortkommen konnte, ohne Stickstoffdüngung reiche Ernten erzielen konnten. Woher stammte nun dieser Stickstoff, da doch im Boden keiner vorkam und die Aneignung freien Stickstoffes von der Wissenschaft geleugnet wurde?

Die Untersuchungen der letzten 12 Jahre haben auch dieses Dunkel erhellt. Hellriegel (1888) ist es gewesen, der zuerst erkannt hat, dass diese Stickstoffansammlung an den Besitz der Wurzelknöllchen (Fig. 16) gebunden ist, deren Bildung von der Infektion durch die im Boden lebenden Knöllchenbakterien (*Bacillus radicola*) verursacht wird. Die in die Wurzeln eingedrungenen Bakterien assimilieren gleich dem *Clostridium* elementaren Stickstoff, bilden organische Stickstoffverbindungen und werden dann schliesslich von der Wirtspflanze verdaut, die sich durch diesen gewalttätigen Akt in den Besitz der Stickstoffverbindungen ihrer Gäste setzt.¹⁾

Diese wichtige Erfahrung hat zu dem praktischen Resultate geführt, dass man schon jetzt stickstoffarme Böden dadurch fruchtbar macht, dass man auf ihnen Lupinen anpflanzt und sie dann unterpflügt. Auf solchen durch Verwesung der Lupinen an Stickstoff reicher gewordenen Böden lässt sich dann mit Vorteil Getreide anbauen. Ja man geht noch weiter, so in Norddeutschland, wo man begonnen hat, stickstoffarme Böden, auf denen auch die Lupinen und Erbsen nicht gedeihen wollen, mit spezifischen Nitrobakterien (*Alinit*, *Nitrazin*) zu infizieren!

Wenden wir uns nun der Erwerbung der Aschenbestandteile, der anorganischen Salze zu, als deren unentbehrliche ich bereits genannt habe — ich nenne die in Frage kommenden Elemente — Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen.

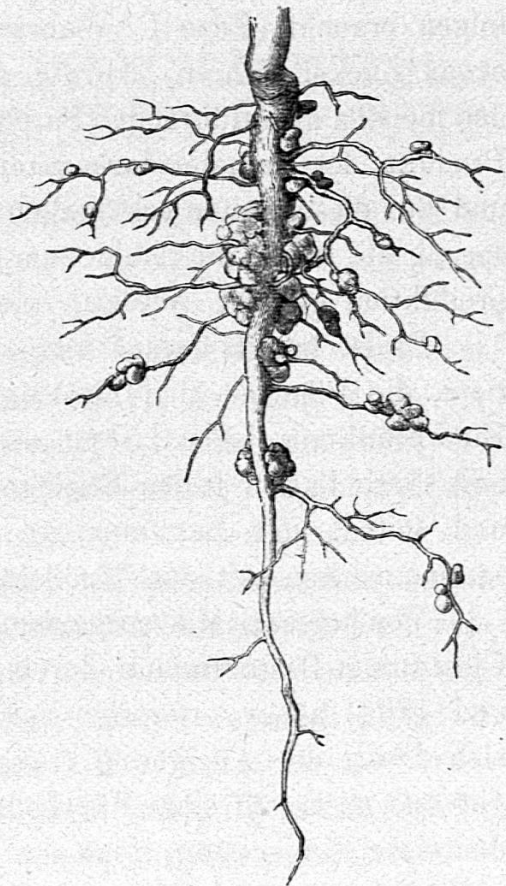


Fig. 16. Wurzelknöllchen von *Lupinus luteus*. $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse.

¹⁾ Nach einer andern Ansicht soll durch die Lebenstätigkeit der Knöllchenbakterien ein Enzym erzeugt werden, das die Blätter der infizierten Leguminose zur Assimilation freien Stickstoffes befähigen würde.

Obschon wir längst wissen, dass eine jede Nährlösung, in der wir eine höhere Pflanze kultiviren wollen, ausser H, S, C und N die genannten Elemente in passenden Verbindungen unter allen Umständen enthalten muss, wenn die Versuchspflanze normal gedeihen soll, so ist uns dennoch die Rolle, die jedem einzelnen Stoff zugewiesen sein wird, erst ungenügend hekannt. Vom Schwefel können wir mit Sicherheit behaupten, dass er zur Konstitution der Proteinstoffe notwendig und aus diesem Grunde allein schon unentbehrlich ist. Die für die Ernährung geeignetste Form des Schwefels ist diejenige schwefelsaurer Salze: Kainit, schwefelsaures Ammoniak und Gips sind daher als künstliche Düngungsmittel von Bedeutung. In nicht minder inniger Beziehung zu den Proteinstoffen wie der Schwefel steht der Phosphor, der als phosphorsaures Salz zur Ernährung zur Anwendung kommt; bei der künstlichen Düngung werden daher Phosphorite, Knochen, Guano, Superphosphat und neuestens Thomaschlacke (das bei der Entphosphorung des Eisens gewonnene Nebenprodukt) benutzt.

Steht einer Pflanze kein Eisen zur Verfügung, so zeigt sie sehr bald die Erscheinungen der Chlorose: die grüne Farbe verschwindet und die Folge ist ein baldiges Absterben der Versuchspflanze.

Hinsichtlich der übrigen Elemente sind wir immer noch über blosser Vermutungen kaum hinausgekommen und ich glaube daher, an dieser Stelle auch nicht weiter darauf eintreten zu sollen.

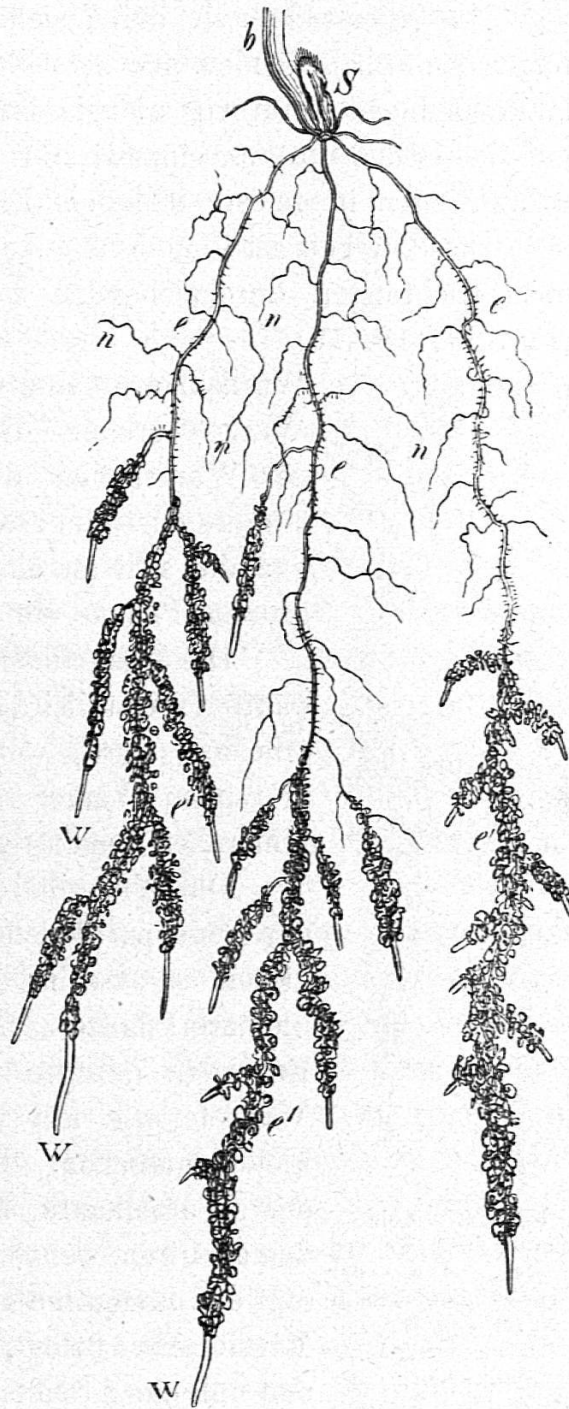


Fig. 17. Wurzelsystem eines gekeimten Weizenkornes. *S* die Samenschale; *w* die noch nicht behaarten Wurzelspitzen; *e* abgestorbene Wurzelhaare; *e*¹ die Verwachsung jüngerer Wurzelteile mit dem Boden.

Die Nährstoffe nun, deren sich die Pflanze zu bemächtigen trachtet, finden sich im Erdboden nur zum kleinern Teil in gelöster, zum grössern in gebundener Form vor und da ist es nun Aufgabe der Wurzeln, aktiv auf die Bodensubstanz einzuwirken und ungelöst vorhandene Nährstoffe überzuführen in gelöste und dem Pflanzenkörper einzuverleiben.

Diese Arbeit ist den Wurzelhaaren der den Erdboden meist nach allen Richtungen durchziehenden zahlreichen Nebenwurzeln überbunden (Fig. 17, 18, 19).

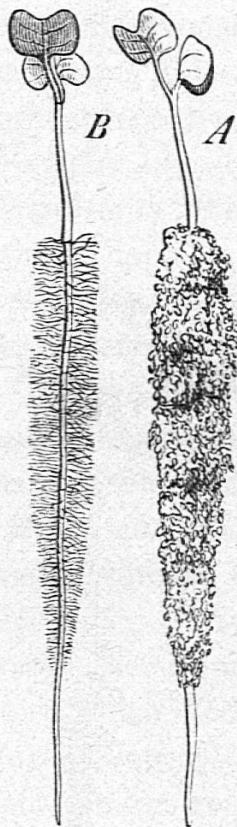


Fig. 18. Keimpflanze des weissen Senfes. *A* aus der Erde genommen zeigt die an den Wurzelhaaren haftenden Bodenteilchen, die bei *B* durch Schwenken in Wasser abgerissen sind.

Wurzelhaare sind Ausstülpungen der Wurzeloberhaut, die unmittelbar hinter der Wurzelspitze die Wurzel auf eine kürzere oder längere Strecke überkleiden und die sich an einer einzelnen, mittelgrossen Pflanze zu tausenden vorfinden.

Die Wurzelhaare sind befähigt, eine Säure (vermutlich Kohlensäure) auszuscheiden, durch welche die Lösung der in reinem Wasser sehr schwer löslichen Mineralien begünstigt wird.

Die Wurzelhärchen legen sich dicht den Bodenpartikelchen an, verkleben mit diesen, so dass infolgedessen, wenn eine kleinere Pflanze z. B. sorgfältig aus dem Erdboden gezogen wird, die einzelnen Wurzeln wie mit kleinen Höschen bekleidet aussehen. Die ätzende Wirkung der Wurzelhaare lässt sich unschwer demonstrieren, wenn man in einem Blumen-

topf den Boden mit einer polirten dunkeln Marmorplatte belegt, Erde darauf schüttet und nun einen Samen darin zur Keimung bringt. Die heranwachsende Pflanze sendet dann ihre Wurzeln abwärts, diese treffen auf die Marmorplatte, kriechen darüber hinweg und die Wurzelhaare korrodieren nun an den Kontaktstellen die Marmorplatte, so dass dieselbe dann später, wenn sie herausgenommen wird, matt aussieht.

Auch hier wiederum wird es im Interesse einer ausgiebigen Aufnahme liegen, wenn die aufgenommenen Stoffe in den feinen Wurzelhaaren nicht etwa aufgehäuft, sondern möglichst rasch abgeleitet werden, es ist daher verständlich, wenn die Haare der Querwände entbehren, also einzellig sind.



Fig. 19. Wurzelhaare einer Keimpflanze des Weizens mit Bodenteilchen verwachsen; stark vergrössert.

Es ist nun nicht nötig, besonders zu betonen, dass die aufgenommenen Stoffe nicht etwa einfach gleich Bausteinen neben- und übereinander gelagert werden, denn Sie wissen ja sehr wohl, dass nunmehr, nach erfolgter Aufnahme, jener Prozess anhebt, den wir als den Stoffwechsel bezeichnen und der in der Umbildung und Verarbeitung der Assimilationsprodukte, der Verkettung der Verbindungen und der Abscheidung nutzloser Produkte besteht.

Leider gestattet es der gegenwärtige Stand der Forschung noch nicht, von diesen Prozessen ein so abgerundetes Bild zu entwerfen, wie von der Photosynthese, von der wir doch allermindestens heute schon den Anfang und das Ende kennen, wenn auch unsere Kenntnis der Stärkebildung noch keineswegs lückenlos ist. Im Vordergrund des Interesses steht die Synthese der Eiweissstoffe. Wir wissen, dass die Eiweissstoffe sich durch Synthese aus einfacheren Verbindungen aufbauen, wissen, dass Schwefel und Stickstoff in der Form salpeter- und schwefelsaurer Salze dem Boden entnommen werden und vermuten wenigstens, dass die Pflanze dann mit dem Produkt der Photosynthese, der Stärke oder überhaupt den Kohlehydraten durch die im lebendigen Protoplasma wirkenden Kräfte das Eiweissmolekül aufbaut. Der Frage nach dem „wie“ folgt sogleich die Frage nach dem „wo“. Bei den einfachsten Organismen, den einzelligen Algen oder Pilzen spielen sich natürlich die Prozesse der Photo- und Eiweiss-synthese in einer und derselben Kammer ab, wogegen bei den höhern Pflanzen ganz sicherlich eine weitgehende Arbeitsteilung Platz greift. Zur Zeit ist man geneigt, in den Siebröhren die Stätte der Eiweissbildung zu erkennen, oder diese doch allermindestens als die leitenden Organe in Anspruch zu nehmen.

Die plastischen Baustoffe, d. h. die stickstofflosen und stickstoffhaltigen, für den Stoffwechsel bestimmten Körper haben gleich dem Wasser und den mit ihm aufgenommenen Nährsalzen in der Pflanze vielfache Wanderungen auszuführen, bald nach den Orten der Magazinierung, den Speicherorganen, bald nach den Orten des Verbrauches. So wandert die Stärke aus dem Chlorophyllkorn durch das Blatt und den Blattstiel in den Stengel oder Stamm, wird in diesem zeitweise abgelagert (transitorische Stärke), um schliesslich in den Organen oder in den Speicherorganen für die nächstkommende Vegetationsperiode reserviert zu werden (Reservestärke). Die $C_6H_{10}O_5$ wandern vorzugsweise in den Parenchymzellen, welche meist scheidenartig die Leitbündel umgeben, den sogenannten Stärke- oder Zuckerscheiden, die Eiweisssubstanzen dagegen bewegen sich, wie schon angedeutet, zur Hauptsache wohl in den Siebröhren, vielleicht auch in den Milchröhren. Diese Arbeitsteilung ist bei

den höhern Pflanzen sehr zweckmässig durchgeführt, findet sich aber in den Grundzügen auch schon verwirklicht bei niedern Gewächsen, wie z. B. bei Tangen und Laminarien.

Ich habe schon oben von den im Protoplasma sesshaften „Kräften“ gesprochen, deren Wirkung wir in den ewigen Umsetzungen des Stoffwechsels erkennen, jenen Kräften, die das Characteristicum des „Lebens“ sind und deren Ausschaltung gleichbedeutend mit Tod ist.

Wer liefert diese Kraft?

Das ist die Atmung, ein Vorgang, der chemisch von dem entsprechenden bei den Tieren nicht verschieden ist und der in der Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure und Wasser besteht. Gerade wie beim Tiere, so bedeutet auch bei der Pflanze die Atmung einen Stoffverlust, eine Zerstörung organischer Substanz. Die Bildung von Kohlensäure bei diesem Vorgange ist unschwer nachzuweisen. Wir bringen lebende Pflanzenteile unter eine gut schliessende Glasglocke, in welche eine durch Kalilauge geleitete, also von Kohlensäure befreite Luft eintritt, leitet man die wieder austretende Luft durch Barytwasser, so entsteht in diesem ein Niederschlag von kohlensaurem Baryt (Fig. 20).

Die Atmungsenergie wird durch den Luftdruck beeinflusst, des weitem durch die Temperatur, nicht aber durch das Licht, sofern dieses wenigstens nicht durch eine Linse (und zwar bei Ausschluss der wärmenden Strahlen) auf das atmende Organ geleitet wird; die Pflanzen atmen daher bei Tag und bei Nacht, assimilieren Kohlensäure dagegen

nur bei Tag. Da gesunde Pflanzen trotz der Atmung an Gewicht und Körpergrösse zunehmen, ist klar, dass der Aufbau der Kohlehydrate den Abbau überwiegt und es ist dies verständlich, wenn bedacht wird, dass selbst in so chlorophyllarmen Pflanzen wie der Nestwurz (*Neottia nidus avis*) trotz des geringen Chlorophyllapparates bei günstiger Beleuchtung die Sauerstoffproduktion über der Atmung das Übergewicht behauptet.

Bald nach der Entdeckung des Atmungsvorganges ist der Satz: „Ohne Sauerstoffatmung kein Leben“, aufgestellt und verfochten worden, aber, wie es so oft geht: er hat der unaufhaltsamen Forschung nicht Stand halten können, denn es sind uns heute Organismen bekannt, ob-

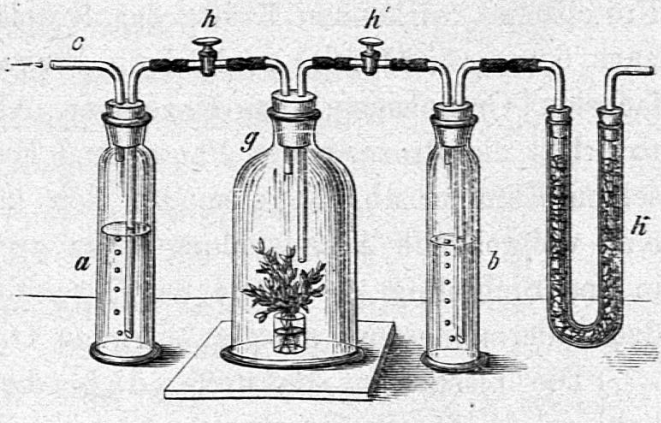


Fig. 20. Apparat zur Demonstration der Kohlensäurebildung bei der Sauerstoffatmung.

ligate Anaeroben werden sie genannt, die nur unter Ausschluss von Sauerstoff leben. Zu diesen seltsamen Wesen gehören verschiedene Bakterien, zum Teil Gährungserreger, also Pflanzen, die im Haushalte der Natur eine grosse Rolle spielen. Bei der Komplizirtheit der Verhältnisse wage ich es nicht, an dieser Stelle auf die speziellen Wachstumsverhältnisse dieser Organismen einzutreten und begnüge mich, darauf hingewiesen zu haben.

Ich kann nun aber das Kapitel der Ernährung chlorophyllführender, selbständig vegetirender Pflanzen nicht schliessen, ohne nicht noch auf einen äusserst wichtigen Prozess im Leben der Organismen aufmerksam gemacht zu haben, den die Physiologen als intramolekulare oder innere Atmung bezeichnen. Kultivirt man nämlich eine Keimpflanze unter Ausschluss von Sauerstoff, so stirbt sie nicht sogleich ab, sondern sie atmet noch eine Zeit, oft tagelang und gibt Kohlensäure an die Aussenwelt ab, wobei allerdings die Quantität der abgegebenen Kohlensäure zusehends abnimmt. Bei dieser innern Atmung wird also kein Sauerstoff von aussen aufgenommen, trotzdem findet aber ein Zerfall der Pflanzensubstanz statt, der erst sistirt wird, wenn dem äussern Sauerstoff der Zutritt ermöglicht wird. Alles deutet darauf hin, dass innere Atmung und Sauerstoffatmung in ursächlicher Beziehung zu einander stehen, in dem Sinne, dass die innere Atmung die Ursache des ganzen Atmungsprozesses ist (Hansen).

Da die pflanzliche Atmung gleich der tierischen eine Verbrennung, eine Oxydation ist, so hat sie auch Wärmebildung als eine Begleiterscheinung. In der Regel ist für uns, wenn wir nicht feine Instrumente anwenden, diese Wärmebildung kaum wahrnehmbar, immerhin ist längst bekannt, dass z. B. der sterile obere Kolbenteil des gefleckten Aronstabes (*Arum maculatum*) zur Zeit der Anthere bis um 10 Grad C. wärmer als die umgebende Luft ist, ja für eine tropisch-amerikanische Aroidee, *Colocasia odora* wird der Wärmeüberschuss der Luft in der Spatha gegenüber der umgebenden Luft bis zu 22 Grad C. angegeben. Bekannt ist dem Leser sicherlich auch die Wärmebildung bei der Keimung der Gerste zwecks Malzbereitung, die Temperatur der lebhaft atmenden Gerstenkörner übersteigt dabei die der weitem Umgebung um 5 bis 10 Grad. Die durch Atmung frei werdende Wärme ist es auch, die es den lieblichen Kindern unserer Firnfelder, den zarten Soldanellen ermöglicht, ihre zarten Glockenblüten durch den Schnee an die Oberfläche zu stossen.

Gewiss steht auch die Lichtbildung, wie wir eine solche von Pilzmycelien kennen, in Beziehung zur Atmung, die sich dabei abspielenden Vorgänge entziehen sich aber allerdings noch unserer Kenntnis.

In dem Masse, wie die lebendige Substanz von aussen Stoffe aufnimmt und sie dem Stoffwechselprozess überantwortet, findet auch eine Ausscheidung von Umsetzungsprodukten statt. Zahlreiche derselben sind uns bekannt; bei unserer geringen Kenntnis der Umsetzungen und der sie begleitenden Vorgänge sind wir aber zur Zeit nur für wenige Fälle imstande, sagen zu können, aus welchen Prozessen diese Endprodukte eigentlich hervorgehen. Die von der lebenden Zelle abgegebenen Körper sind entweder gasförmig, fest oder flüssig; spielen sie im Organismus noch weiter irgend eine nützliche Rolle, so bezeichnet sie der Physiologe als Sekrete, als Exkrete dagegen, wenn sie als unbrauchbar gewordene Reste nach aussen entfernt werden. Einzelne der Sekrete, um zuerst diese in aller Kürze in den Bereich unserer Betrachtung zu ziehen, verlassen sofort nach ihrer Produktion den Organismus, wie z. B. die Fermente, die mit der Verdauung in Beziehung stehen (das peptonisierende Ferment der Blattdrüsen bei Drosera- (Sonnentau-)Arten, die aetherischen Öle, Säuren, Nektar, Wachsausscheidungen u. s. w., andere bleiben dauernd im Organismus, so die Cellulosemembranen, die Kalkoxalat- und Kalkkarbonatkrystalle, der Milchsaft etc. Von einzelnen dieser Sekrete ist allerdings der strenge Nachweis, dass sie dem Organismus wirklich noch einen Nutzen gewähren, noch ausstehend, unsere Annahme beruht zum Teil hier auf Analogieschlüssen.

Die Exkrete sind weniger mannigfaltig als die Sekrete. Zu den gasförmigen Exkreten zählen wir den beim photosynthetischen Prozess an die Aussenwelt abgegebenen Sauerstoff, des weitern die Kohlensäure bei der Atmung, zu den flüssigen das Wasser. Nicht unerwähnt dürfen die Ptomaine und Toxalbumine bleiben, die Exkretstoffe der Eiweissmetamorphose, die sich namentlich im Stoffwechsel der Spaltpilze bilden und auf deren giftiger Wirkung wohl zum grössten Teil die schweren Erkrankungen bei den durch Bakterieninfektion erzeugten Infektionskrankheiten, wie Cholera, Dysenterie, Dyphterie, Typhus, beruhen. Verwandt mit den Ptomainen sind die Alkaloide, gleichfalls überaus giftige Exkretstoffe, durch deren Vorhandensein zahlreiche Giftpflanzen ausgezeichnet sind und die wir vielleicht besser zu den Sekreten zählen würden, da wir ja annehmen, dass sie der Pflanze als Schutz gegen pflanzenfressende Tiere dienen. Gross ist überhaupt die Zahl jener Umsetzungsprodukte, von denen wir zur Stunde noch gar nicht wissen, ob wir sie zu den Sekreten oder zu den Exkreten zählen sollen, ich erinnere nur an die nicht seltene Bildung von Kalkkrystallen, z. B. an die Cystolithen, deren Vorhandensein ja grosse Familien charakterisirt (Acanthaceen).

Ich komme zum Schlusse. Ich habe im vorstehenden gesucht, dem Leser den Gang der pflanzlichen Ernährung, die Art der Nahrungsaufnahme und den Prozess des Stoffwechsels in den Hauptzügen darzulegen und habe mich dabei auf die höhern, selbständig lebenden Pflanzen beschränkt, mir nur ab und zu gestattend, abzuschweifen auf Nebengebiete. Aufgabe des nächsten Vortrages wird nun sein, ein Bild der entsprechenden Vorgänge bei den in ihrer Nahrungsaufnahme in einem gewissen Abhängigkeitsverhältnis stehenden Pflanzen, den Humusbewohnern, Schmarotzern, Insektivoren, zu entwerfen.

Empfehlenswerte Literatur:

- Pfeffer: Pflanzenphysiologie, II. Auflage, I. Band (1897).
 Verworn: Allgemeine Physiologie, II. Auflage (1897).
 Frank: Lehrbuch der Botanik, I. Band (1892).
 Haberlandt: Physiologische Pflanzenanatomie, II. Auflage (1896).
 Kerner: Pflanzenleben, II. Auflage, I. Band (1891).
 Hansen: Die Ernährung der Pflanzen, II. Auflage (1898).
 Sachs: Pflanzenphysiologische Vorlesungen (1892).
 Wetterwald: Die Kohlenstoff-Assimilation (1893).
 Holliger: Die Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff (1901).

L i t e r a r i s c h e s .

A. Besprechungen.

A. F. C. Vilmar. *Geschichte der deutschen Nationalliteratur*. 25. (Jubiläums-) Auflage. Mit einer Fortsetzung: „Die deutsche Nationalliteratur vom Tode Goethes bis zur Gegenwart“, von *Adolf Stern*. Marburg 1901, Elwertscher Verlag. Fr. 6. 80, geb. Fr. 8. 80.

Mehr als ein halbes Jahrhundert hat die Literaturgeschichte von Vilmar ihren Platz auf dem Büchermarkte behauptet, und sie darf sich auch heute noch, trotz mancher Einseitigkeit, neben ihren Rivalen sehen lassen. Aus einer Reihe von Vorlesungen ist die erste Auflage von 1845 hervorgegangen, die sich in den folgenden Jahrzehnten unter den Händen des Verfassers zum gegenwärtigen Umfang erweiterte. Nach Vilmars Tode (1868) hielten sich die Herausgeber der neuen Auflagen (Goedeke, Stern) an den Wunsch des Verstorbenen, dass am Text seines Werkes nichts geändert werde; nur die Anmerkungen wurden erweitert und dem Stande der neuern Forschung angepasst. Eine willkommene und notwendige Beigabe war der Überblick über die deutsche Literatur vom Tode Goethes bis zur Gegenwart, den Adolf Stern zuerst der 22. Auflage anfügte, und der jetzt zum viertenmal als Anhang des Vilmarschen Buches erscheint. — Auch in der vorliegenden 25. Auflage ist an dem Vilmarschen Texte nicht gerüttelt worden, während dagegen die Fortsetzung von Stern eine teilweise Neubearbeitung erfahren hat. Der Anhang ist in der vorliegenden Form ein trefflicher Führer durch die fast unübersehbare Literatur der letzten 70 Jahre; in sorgfältiger Auswahl, in trefflichen, knappen Charakteristiken löst er die schwere Aufgabe, das literarische