

III.

Das Blattgrün.

Vortrag

gehalten vom

k. Forstamtsassistenten Carl Müller

im

botanischen Verein

zu

Landshut

am 13. Januar 1893.



Hochgeehrte Herren! Wenn ich mir aus dem an hochinteressanten Kapiteln überreichen Gebiete der Pflanzenanatomie und Physiologie gerade das vorliegende Thema für meinen heutigen Vortrag ausgewählt habe, so geschah dies deshalb, weil mir dasselbe vom allgemeinsten und weitgehendsten Interesse zu sein scheint. Stehen doch die Vorgänge, welche sich in den chlorophyllhaltigen Pflanzenzellen abspielen, im engsten Zusammenhange mit der Erhaltung des Lebens in der gesamten organischen Schöpfung, im engsten Zusammenhange mit den Wachstums- und Ernährungsprocessen, welche sich in unserem eigenen Körper abwickeln.

Ohne Chlorophyll wäre, um diese Thatsache schon hier kurz festzustellen, weder pflanzliches noch tierisches Leben auf der Erde möglich und denkbar.

Wenn wir, meine Herren, unsere Wälder und Fluren durchwandern, so entzückt uns alle die reizende Fülle und Mannigfaltigkeit der Farben, welche uns an Blättern, Blumen, Blüten Früchten u. s. w. entgegentreten. Diese bunten mannigfaltigen Farben aber sind nicht körperliches Eigentum der betreffenden Pflanze, des betreffenden Pflanzenteiles selbst, sondern werden hervorgebracht durch bestimmte, in der Pflanze enthaltene und von ihr erzeugte organische Verbindungen, welche die Fähigkeit haben, verschieden gegen das Sonnen- oder Tageslicht bezw. gegen die einzelnen Teile dieses Lichtes zu reagieren.

Es ist bekannt, dass das unserm Auge weiss erscheinende Sonnen- oder Tageslicht sich aus einer Reihe verschieden gefärbter und verschieden brechbarer Lichtarten, Lichtgattungen zusammensetzt, welche in ihrer Gesamtheit uns eben als weisses

Benützte Litteratur:

Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie 1887.

Hartig, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen 1891.

Ebermayer, Chemie der Pflanzen 1882.

Kerner von Marilaun, Pflanzenleben 1888.

Sonnen- oder Tageslicht erscheinen, welche aber durchaus keine unlösbare Einheit bilden, sondern unter Umständen getrennt, zerlegt werden können. Wir nennen z. B. eine Blume, überhaupt einen Körper, blau, wenn von der Körperoberfläche alle Lichtstrahlen verschluckt werden bis auf die blauen, welche in unser Auge zurückgelangen; wir nennen einen Körper schwarz, wenn von den auffallenden Lichtstrahlen alle verschluckt und gar keine zurückgeworfen werden; wir nennen umgekehrt einen Körper weiss, wenn von den auffallenden Strahlen alle zurückgeworfen und gar keine verschluckt werden.

Diejenigen organischen Pflanzenverbindungen nun, welche die Fähigkeit haben, verschieden gegen die verschiedenen Lichtstrahlen zu reagieren, welche die einen dieser Strahlen absorbieren, verschlucken, die anderen dagegen reflectieren, zurückstrahlen können und welche dadurch Veranlassung zur Entstehung der verschiedenen Pflanzenfarben geben, werden als Pflanzenfarbstoffe oder Pflanzenpigmente bezeichnet.

Der weitverbreiteste und sicher auch der wichtigste unter allen diesen Pflanzenfarbstoffen ist das Blattgrün, oder wie es mit einem griechischen Worte bezeichnet wird, das Chlorophyll.

Jede Pflanze, welche eine selbstständige Existenz führt, bedarf dasselbe zu ihrer Ernährung, zu ihrem Wachstum, zu ihrem Leben; frei davon sind nur die Schmarotzerpflanzen, welche es bequemer finden, die zu ihrer Entwicklung notwendigen organischen Stoffe nicht selbst zu producieren, sondern dieselben anderen pflanzlichen oder tierischen Körpern, sei es noch zu deren Lebzeiten, sei es erst nach ihrem Tode zu entnehmen.

Hierher gehört vor allem die grosse Gruppe der saprophytischen und parasitischen Pilze, ferner eine Anzahl phanerogamer Pflanzen, welche letztere ursprünglich jedenfalls mit der Fähigkeit, sich selbstständig zu ernähren, ausgerüstet waren, welche aber im Laufe langer Entwicklungsperioden durch Anpassungsvermögen und Zuchtwahl diese Fähigkeit verloren haben.

Aus der Reihe dieser chlorophyllosen phanerogamen Schmarotzer möchte ich als Beispiel die häufig vorkommende Schuppenwurz — *Lathraea squamaria* C. —, eine der ersten Frühlingsblumen, anführen, welche auf den Wurzeln von Eschen,

Pappeln, Hainbuchen, Haseln und anderen Laubhölzern schmarotzt. Die zu dicken, weissen, den Stengel dicht umkleidenden Schuppen reduzierten Blätter sind völlig frei von jeglichem Blattgrün und deshalb durchaus unfähig, selbstständig zur Ernährung der Pflanze beizutragen.

Auffallenderweise haben einige andere phanerogame Schmarotzer, so der überall verbreitete Augentrost — *Euphrasia officinalis* L. —, der Wiesenklappertopf — *Rhinanthus* — und andere trotz der schlimmen Angewohnheit des Schmarotzertumes keine derartige Reduction erfahren; dieselben besitzen vollkommen ausgebildete grüne Laubblätter und somit auch das Vermögen, sich selbstständig zu ernähren. Sie bilden den Übergang zu dem ausschliesslich auf eigene Ernährung angewiesenen Gros der Pflanzen, und alle diese von der winzigen einzelligen Alge angefangen bis zu den riesenhaften Stämmen des Urwaldes besitzen als wichtigstes Lebenselement das Blattgrün.

Von dieser Regel gibt es keine Ausnahmen. Wo man doch solche beobachten zu können glaubt, sind dieselben nur scheinbare und verschwinden, wenn man der Sache näher auf den Grund sieht.

Als Beispiele für derartige scheinbare Ausnahmen möchte ich die Blätter der allbekanntesten Blutbuche, einer Varietät unserer gewöhnlichen Rotbuche — *fagus silvatica* L. — und das ebenfalls allbekannte Edelweiss der Alpen — *Gnaphalium Leontopodium* L. — anführen.

Beide Pflanzen sind keine Schmarotzer, lassen aber doch die grüne Farbe vermissen und scheinen bei oberflächlicher Beobachtung chlorophyllos zu sein: das Edelweiss zeigt weisse Farbe und die Blätter der Blutbuche sind hell- bis dunkel-selbst schwarzrot gefärbt. Bei genauerer Untersuchung aber finden wir, dass beide Pflanzen genau die gleichen Chlorophyllmengen besitzen wie andere grün gefärbte Pflanzen. Der grüne Farbstoff ist bei ihnen nur verdeckt; beim Edelweiss durch die dichte weisse Behaarung und bei den Blättern der Blutbuche durch den roten Zellsaft, welcher ein Durchscheinen des grünen Farbstoffs verhindert. In der Spectralanalyse ist

uns ein Mittel in die Hand gegeben nachzuweisen, dass in diesen roten Blättern der Blutbuche in der That genau die gleichen Chlorophyllmengen vorhanden sind, wie in den grünen Blättern der gewöhnlichen Buche.

Wir können also unbedingt an dem Satze festhalten: jede Pflanze, welche nicht schmarotzt, besitzt Chlorophyll.

Die chemische Natur des Farbstoffes ist trotz der zahlreichen und eingehenden diesbezüglichen Untersuchungen noch nicht vollständig erforscht und klar gelegt. Ausser Zweifel ist nur, dass sich an dem Aufbau des Körpers die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und wahrscheinlich auch Eisen beteiligen. Der Eisengehalt wird zwar von einigen Forschern in Abrede gestellt, doch steht die Thatsache fest, dass sich das Chlorophyll nur unter Anwesenheit bezw. unter Mitwirkung von Eisen zu bilden vermag. Wahrscheinlich darf man das Chlorophyll ähnlich wie den roten Farbstoff des Blutes als eine eisenhaltige organische Verbindung betrachten, in welcher das Eisen nicht direct nachgewiesen werden kann.

Wie hinsichtlich des Eisens so ist man auch bezüglich der Elemente Phosphor, Kalium und Magnesium, welche immer in Gesellschaft des Chlorophylls angetroffen werden, darüber im Ungewissen, ob diese Elemente als wesentliche, integrierende Bestandteile des Farbstoffes oder nur als Accessorien anzusehen sind.

Von den verschiedenen Eigenschaften des Körpers möchte ich zunächst die ungemein leichte Zersetzbarkeit desselben erwähnen, eine Erscheinung, welche der Verwertung des Farbstoffes in der Technik als Färbemittel entschieden im Wege steht. Eine grüne alkoholische Chlorophylllösung, durch Übergiessen fein zerteilter Blätter oder anderer grüner Pflanzenteile mit Alkohol gewonnen, verliert schon durch das blosses Stehen im Lichte und an der Luft die grüne Farbe und nimmt ein gelbes bis braungelbes Aussehen an. Aber auch das lebende, d. h. das in der lebenden Pflanze befindliche Chlorophyll zeigt sich gegen eine allzu intensive Einwirkung des Lichtes äusserst empfindlich, kann unter Umständen dadurch zerstört werden, und es sind später zu erwähnende Einrichtungen an den Pflanzen

getroffen, welche die Bestimmung haben, eine derartige allzu intensive Belichtung des Farbstoffes zu verhindern.

Nicht minder empfindlich als gegen das Licht zeigt sich das Chlorophyll auch gegen die Einwirkung von Säuren, organischen sowohl wie mineralischen. Versetzt man eine grüne alkoholische Chlorophylllösung mit einigen Tropfen Essigsäure, Apfelsäure, Citronensäure, Weinsteinsäure oder mit Schwefelsäure, Salzsäure u. s. w., so verschwindet sofort die grüne Farbe und lässt wieder eine gelbe oder braungelbe an ihre Stelle treten.

Aus dieser Eigenschaft erklären sich die grossen Beschädigungen, welche nicht selten schon an Waldbeständen, aber auch an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen durch die saueren Gase, vornehmlich die schweflige Säure, verursacht wurden, welche bei verschiedenen technischen Betrieben der atmosphärischen Luft zugeführt werden. Alle diejenigen industriellen Anlagen, welche schwefelhaltige Erze oder reinen Schwefel rösten, bei Luftzutritt erhitzen, wie z. B. die für das Sulfitverfahren eingerichteten Cellulosefabriken, die Schwefelsäurefabriken, die Hüttenwerke können der Vegetation ihrer Umgebung mehr oder minder gefährlich werden, deshalb, weil die den Kaminen dieser Fabriken entströmende schweflige Säure insbesondere bei feuchtem Wetter von den Blättern (Nadeln) begierig aufgenommen wird und so in die Lage kommt, mit dem Chlorophyll in direkte Berührung zu treten und dasselbe zu zerstören. Diese verderbliche Wirkung tritt schon dann ein, wenn die Luft 0,004 % an schwefliger Säure enthält und äussert sich dadurch, dass auf den Blättern und Nadeln braune oder rötliche Flecken erscheinen, welche sich immer mehr ausdehnen, bis schliesslich das ganze Blatt, die ganze Nadel zerstört ist.

Am empfindlichsten gegen Rauchscha den zeigen sich die Nadelhölzer, und zwar aus naheliegenderm Grunde in der Reihenfolge der Dauer ihrer Nadeln, also in der Reihenfolge: Tanne, Fichte, Föhre, Lärche. Die Laubhölzer, deren Blätter zwar mehr schweflige Säure aufnehmen als die Blätter der Nadelhölzer, leiden trotzdem weniger unter der Beschädigung, weil eben die Blätter alljährlich neu erzeugt werden. Übrigens

verhalten sich auch die Laubhölzer der Beschädigung gegenüber sehr ungleichmässig. Am widerstandsfähigsten ist die Eiche, dann folgen der Reihe nach Ahorn, Esche, Ulme, Pappel, Vogelbeere, Erle, Linde, Weissbuche. Am empfindlichsten ist die Rotbuche.

Es ist erklärlich, dass die Beschädigungen dort am intensivsten auftreten müssen, wo einerseits zahlreiche Fabrikanlagen oben genannter Art im Betrieb stehen und wo andererseits durch lange enge Thäler der Windrichtung und damit den den Kaminen entströmenden Rauchmassen eine bestimmte stetige Richtung erteilt wird, Verhältnisse, wie wir sie z. B. im Oberharz antreffen. Ganze Berghänge sind dort durch Hüttenrauchbeschädigungen schon entwaldet. Man hatte dort anfangs der achtziger Jahre 358 ha vollständige Rauchblößen, 317 ha stark beschädigte Bestände und 3700 ha geringer beschädigte Bestände.¹⁾

Man hat verschiedene Versuche gemacht, diese Beschädigungen hintanzuhalten durch Abfangen der Gase mittelst Kondensationsvorrichtungen, ohne jedoch durchschlagende Erfolge erzielen zu können.

Die forstwirtschaftlich technischen Massnahmen, welche man gegen die Kalamität anwendet, bestehen in der Nachzucht möglichst widerstandsfähiger Holzarten, Verwendung kräftigen Pflanzenmaterials, Erhaltung von Waldmänteln, plenterweiser Wirtschaft. Wo es die sonstigen Verhältnisse gestatten, wird sich die Begründung von Eichenschälwaldungen empfehlen, da Eiche und Niederwaldbetrieb den fraglichen Beschädigungen gegenüber sich besonders widerstandsfähig erwiesen haben. Vollständige Rauchblößen haben allerdings bisher jedem Kulturversuche getrotzt.

Nach dieser kleinen Episode komme ich auf die begonnene Besprechung der Eigenschaften unseres Farbstoffes zurück und möchte dieselbe mit einigen kurzen Mitteilungen über die Löslichkeit und das optische Verhalten des Körpers zu Ende bringen. Was zunächst die Löslichkeit des Chlorophylls, sein Verhalten gegen verschiedene Lösungsmittel anlangt, so ist zu-

1) Fürst. Lexikon.

nächst auf die wichtige Thatsache hinzuweisen, dass der Farbstoff in Wasser vollständig unlöslich ist, wovon man sich leicht dadurch überzeugen kann, dass man Blätter und andere grüne Pflanzenteile beliebig lange Zeit in Wasser einlegen kann, ohne dass dasselbe dadurch grün gefärbt wird. Wäre der Farbstoff in Wasser löslich, so müsste das über eine Wiese rieselnde Wasser oder das Wasser, welches beim Regen die Blätter überströmt, grün gefärbt sein; beides ist bekanntlich nicht der Fall.

Dagegen ist der Farbstoff leicht löslich in Alkohol, in Aether, in Schwefelkohlenstoff, in Benzol, in ätherischen und fetten Oelen. Übergießt man z. B. zerpfückte Blätter oder andere fein zerteilte grüne Pflanzenteile mit Alkohol, so wird der grüne Farbstoff extrahiert und die Flüssigkeit in Bälde schön grün gefärbt.

Von den optischen Eigenschaften des Farbstoffes ist die Fähigkeit desselben, gewisse Lichtstrahlen zu absorbieren und die Fluorescenz zu erwähnen. Lässt man durch eine grüne alkoholische Chlorophylllösung Sonnenlicht fallen, so geht nur ein Teil der Strahlen hindurch, während der Rest absorbiert wird. Die spectroscopische Untersuchung zeigt, dass es vornehmlich die blauen und violetten Strahlen, dann die grünen und gelben Strahlen sind, welche der Absorption anheimfallen, während die roten grösstenteils unverändert durchgehen.

Im engen Zusammenhange mit der Absorption steht die weitere Eigenschaft des Chlorophylls, die Fluorescenz. Lässt man auf eine frische grüne Chlorophylllösung Sonnenlicht fallen, so zeigt dieselbe einen schönen blutroten Schimmer, der besonders auffallend hervortritt, wenn man die Lichtstrahlen senkrecht von oben auf die Flüssigkeit fallen lässt; dieselben dringen dann in Form eines blutrot gefärbten Kegels in die Flüssigkeit ein. In diesen beiden Eigenschaften, der Absorptionsfähigkeit und Fluorescenz, sind uns untrügliche Mittel an die Hand gegeben, selbst die geringsten Spuren des Farbstoffes auf spectroscopischem Wege sicher nachzuweisen.

Über die Verteilung des Chlorophylls auf die einzelnen Pflanzenorgane ist zu bemerken, das es sich vorzüglich in be-

stimmten Partien des Zellengewebes der Blätter, daneben aber auch in gewissen Teilen der Sprossachse, mit einem Worte in allen denjenigen Gliedern des Pflanzenkörpers findet, welche dem Auge grün erscheinen.

Die chlorophyllhaltigen Gewebe tragen immer einen parenchymatischen Charakter und zwar herrscht wegen des lebhaften Gasaustausches, der aus später anzuführenden Gründen in diesen Gewebspartien vor sich geht, das Schwammparenchym. Ferner ist hervorzuheben, dass das chlorophyllhaltige Parenchym immer nur in ganz dünnen Schichten angeordnet ist. Die wichtigste Funktion dieser Gewebsform, die Assimilation, hängt nämlich von der Einwirkung des Lichtes ab und es wären dicke Schichten deshalb zwecklos, weil schon von ganz dünnen, 0,1 bis 0,5 mm dicken Schichten die wirksamen Lichtstrahlen absorbiert werden, so dass bei grösserer Dicke der Schichten für die über 0,5 mm zurückliegenden Gewebsteile kein belebendes Agens mehr vorhanden wäre. Diesem Verhältnis entspricht der Bau der dünn-spreitigen Blätter in ausgezeichneter Weise. Übrigens ist auch dort, wo aus bestimmten Gründen bei einer Pflanzenart dicke fleischige Blätter sich ausgebildet haben, wie z. B. bei den succulenten Pflanzen, das Chlorophyll immer nur auf eine dünne nahe der Oberfläche des Blattes liegende Zellschicht beschränkt.

Das Chlorophyll ist stets an lebende, von der eiweissartigen Substanz des Protoplasmas erfüllte Zellen gebunden. In toten, vom Protoplasma verlassenen Zellen, wie sie z. B. in der Hauptmasse des Holzes der Bäume enthalten sind, findet sich niemals Chlorophyll.

Die Art und Weise seiner Anordnung in den Zellen ist verschieden. Bei einigen Algen ist der ganze Protoplasma-körper der Zelle gleichmässig von dem Farbstoffe durchzogen und erscheint infolgedessen gleichmässig grün gefärbt. In der grossen Mehrzahl der Fälle jedoch sind es nur bestimmte, je nach Pflanzenart verschieden geformte Teile des Protoplasmas, welche den grünen Farbstoff enthalten.

So ist bei einigen Vertretern der eben genannten Pflanzen-gruppe der Algen das Chlorophyll auf stern- oder plattenförmige, bei anderen auf spiralig gebildete Teile des Protoplasmas

koncentriert; bei weitaus den meisten Pflanzen aber sind Träger des grünen Farbstoffes die Chlorophyllkörner im engeren Sinne, d. h. verschieden grosse, rundliche, häufig linsenförmige Körper, welche sich durch eine Art Hautschichte von dem Zellplasma, welchem sie eingebettet sind, scharf abgrenzen und, wenn auch aus demselben hervorgegangen und in letzter Linie von ihm abhängig, doch mehr oder weniger selbstständige Organe darstellen, welche zu wachsen und nach Erreichung einer gewissen Grösse sich auch zu teilen vermögen, wie eine Zelle.

Über die Entstehung dieser den grünen Farbstoff führenden Körner werden verschiedene Anschauungen vertreten, deren eine ich eben schon erwähnt habe. Nach derselben bilden sich die Chlorophyllkörner in dem Plasma der jugendlichen Zelle aus diesem, dem Plasma, selbst in der Weise, dass an den Bildungscentren Plasmamicelle, das heisst aus der Vereinigung mehrerer Plasmamolecüle entstandene Particlen der Substanz zu rundlichen Anhäufungen zusammentreten, welche sich vor dem umgebenden Protoplasma durch grössere Dichtigkeit auszeichnen und so dem Auge sichtbar werden. Nach anderer Ansicht bilden sich die Chlorophyllkörner aus Stärkekörnern oder endlich drittens aus kleinen in der Zelle schon vorgebildeten eiweissartigen Körpern, den sogenannten Leukoplastiden.

In diesen Körnern entsteht sodann der grüne Farbstoff, das Chlorophyll, durch gewisse, ihrem innersten Wesen nach noch unbekannte chemische Processe, welche sich nur unter Mitwirkung von Licht, Wärme und Eisen abwickeln können. Die Beteiligung der letztgenannten drei Factoren an der Blattgrünbildung ist durch die sorgfältigsten Versuche im pflanzenphysiologischen Laboratorium in unanfechtbarer Weise dargethan.

Was zunächst die Einwirkung des Lichtes auf das Ergrünen der Pflanzen betrifft, so möge dieselbe durch nachstehend angeführte Erscheinungen illustriert werden. Jedermann kennt die sogenannten etiolirten Pflanzen oder Pflanzenteile, wie wir sie z. B. an Kartoffeln oder Rüben, welche in lichtlosen Kellerräumen überwintert, hier gegen das Frühjahr hin auszutreiben beginnen, oder an Gräsern und anderen Pflanzen, die unter Steinhäufen oder Brettern gewachsen sind, beobachten

können. Die austreibenden Sprossachsen und Blätter zeichnen sich sowohl durch ihre eigentümliche, abnorme, durch den Lichtmangel verursachte Gestaltung, als besonders dadurch vor den im Lichte erwachsenen Pflanzen aus, dass die Blätter nicht grün sondern gelb gefärbt sind. Bleiben die Pflanzen im Finstern, so müssen sie nach kürzerer oder längerer Zeit aus später anzuführendem Grunde sterben, kommen sie jedoch rechtzeitig an's Lichte, so ergrünen unter dessen Einwirkung die bleichen gelben Blätter und das weitere Leben und Wachstum der Pflanze ist möglich geworden.

In sehr interessanter, augenfälliger Weise kann die Einwirkung des Lichtes auf die Chlorophyllbildung durch den Versuch nachgewiesen werden, bei welchem man die Spitze einer bis zum Beginne des Versuches unter normalen Verhältnissen erwachsenen Pflanze z. B. einer Winde, einer Gurke, oder einer Weinrebe durch eine schmale Öffnung in einen lichtlosen Kasten leitet. Der Kasten kann aus Pappe oder Holz hergestellt sein: Hauptsache ist, dass die Fugen desselben so dicht schliesen, dass in der That gar kein Licht in das Innere gelangen kann.

Die in einen derartig construierten Behälter eingeleitete Pflanzenspitze wächst, trotz der sie nun auf einmal umgebenden Dunkelheit, dank der Thätigkeit der ausserhalb des Kastens befindlichen Pflanzenteile ruhig weiter; es entwickeln sich in dem lichtlosen Innenraume des Kastens neue Blätter und Triebe, aber dieselben zeigen kein normales Aussehen mehr, sie werden etiolirt und bleiben weiss oder gelb, ohne eine Spur einer grünen Färbung erkennen zu lassen. Leitet man später die Pflanze durch eine zweite kleine Öffnung wieder aus dem Kasten hinaus, so geht nunmehr die Entwicklung in regelmässiger Weise weiter und die Blätter sowie die bezüglichen Stengeltheile erscheinen wieder grün gefärbt, so dass also zwischen zwei grünen Zonen an der Pflanze eine weisse oder gelbe eingeschlossen ist; entfernt man dann den Kasten und setzt die im Dunkeln erwachsenen Pflanzenteile dem Lichte aus, so verschwindet in kurzer Zeit die gelbe Färbung, um die grüne an ihre Stelle treten zu lassen.

Einen weiteren Beweis für die Lichtbedürftigkeit der Pflanzen liefert das sogenannte Leuchtmoos, eine kleine Moosart, welche in den mitteleuropäischen Granit- und Schiefergebirgen vorkommt und hier die Höhlungen und Klüfte des Gesteins bewohnt. Das in diese Felsenhöhlen dringende Licht ist natürlich mehr oder weniger beschränkt und könnte unter Umständen hinter dem Minimum des Lichtbedürfnisses des Moores zurückbleiben. Um dieser Gefahr vorzubeugen, finden sich am Leuchtmoos besonders konstruierte kugelige Organe, welche gewissermassen wie optische Apparate, wie Sammellinsen wirken und die einfallenden Lichtstrahlen sammeln und konzentrieren; dabei ist die Einrichtung getroffen, dass die auf solche Weise gesammelten und konzentrierten Strahlen gerade auf jene Zellen hingelenkt werden, welche die Chlorophyllkörner enthalten.

Gleich jenen Pflanzen, welche in Grotten und Höhlen wachsen, werden auch diejenigen, welche unterhalb der Meeresoberfläche, unterhalb der Oberfläche von Seen und Teichen ihren Standort haben, nur von geschwächten Sonnenstrahlen getroffen. Die Intensität der Belichtung ist um so geringer, je tiefer der Standort der betreffenden Pflanze unter der Wasseroberfläche gelegen ist, da die Stärke des das Wasser durchdringenden Lichtes mit der Länge des zurückgelegten Weges abnimmt.

In einer Tiefe von 200 m herrscht im Meere bereits vollständige Finsternis; in einer Tiefe von 170 m gleicht die Beleuchtungsstärke jener, welche wir bei mond hellen Nächten über dem Wasser beobachten können. Diese Lichtmenge reicht aber noch nicht aus, um das selbstständige Leben chlorophyllhaltiger Pflanzen zu ermöglichen; erst von 90 m an ist die hierfür notwendige Lichtmenge vorhanden, aber auch hier nur dann, wenn das Wasser möglichst klar und durchsichtig ist. Im allgemeinen beschränkt sich das Pflanzenleben im Meere auf einen längs des Strandes verlaufenden Gürtel von etwa 30 m Tiefe: unterhalb dieser schmalen Zone ist das Pflanzenleben so gut wie erloschen, und die Tiefe des Meeres bildet in allen Zonen der Erde eine pflanzenleere Wüste.

Ähnlich wie beim Leuchtmoos finden sich nun auch bei diesen meerbewohnenden Pflanzen, insbesondere bei denjenigen, welche in grösseren Tiefen wachsen, besondere Organe, welche wie dort die Aufgabe haben, als Lichtsammler zu wirken und die Lichtstrahlen auf jene Stellen des Zellinnern hinzulenken, welche die Chlorophyllkörner enthalten.

So absolut notwendig nun aber auch das Licht zur Chlorophyllbildung erscheint, so darf doch die Intensität der Beleuchtung nicht über ein gewisses Mass hinausgehen, wenn nicht die Wirkung auf das Chlorophyll eine schädliche sein und das Verblässen oder völlige Verschwinden des grünen Farbstoffes zur Folge haben soll.

Aus der grossen Zahl von Erscheinungen, welche diese Thatsache bestätigen, mögen folgende angeführt werden: Von den Blättern einer und derselben Pflanze zeigen zur selben Zeit diejenigen, welche dem directen Sonnenlichte ausgesetzt sind, ein viel helleres Grün, als diejenigen, welche sich im Schatten befinden. Schattenertragende Pflanzen, wie Fichten, Tannen, verblässen bei plötzlicher Freistellung durch Wegnahme der beschattenden Umgebung. Verhüllt man Teile eines von der Sonne voll beschienenen Blattes in irgend welcher Weise, z. B. durch Umlegen eines Papierbandes oder eines geschmeidigen Blechstreifens und belässt die Hülle einige Zeit, so wird man bei der Entfernung derselben finden, dass die nicht bedeckt gewesenen Stellen des Blattes ein viel helleres Grün zeigen als die bedeckt gewesenen, welche letztere, wieder dem Sonnenlichte ausgesetzt, in Bälde ebensohell erscheinen werden, wie ihre Umgebung. Man führt diese Beobachtung auf eine durch die Einwirkung stärkerer Beleuchtungsgrade verursachte verstärkte Atmung beziehungsweise Verbrennung von Pflanzensubstanz überhaupt und auch von Chlorophyll zurück. Eine andere Erklärung dieser Farbenveränderung je nach der Beleuchtungsintensität ist durch die nachgewiesene, mit dem Wechsel in der Lichtstärke Hand in Hand gehende Standortsveränderung der Chlorophyllkörner innerhalb der einzelnen Zellen gegeben. Dieselbe geht in der Weise vor sich, dass die Chlorophyllkörner bei schwächeren Beleuchtungsgraden

dem Lichte ihre grösste Fläche zuwenden und zugleich diejenige Wand der Zelle aufsuchen, welche am meisten rechtwinkelig zu den einfallenden Lichtstrahlen steht, während sie bei zunehmender Stärke der Beleuchtung sich an diejenigen Wände der Zelle zurückziehen, welche parallel zu den einfallenden Lichtstrahlen stehen, wobei sie zugleich dem Lichte ihre schmalste Seite, ihre Kante, zuwenden.

Zu diesem Schutze gegen die schädliche Einwirkung zu starker Beleuchtung, welchen sich die Chlorophyllkörner selbst durch Standortsveränderung und Drehung auch durch Contraction und Volumverminderung verschaffen können, kommt als weiteres Schutzmittel die Einrichtung, vermöge welcher zahlreiche Blätter zu derartigen Wendungen befähigt sind, dass sie bei schwächerer Beleuchtung ihre Spreite rechtwinkelig zur Lichtquelle zu stellen vermögen, während sie dieselbe bei intensiverer Beleuchtung in eine zu den Lichtstrahlen parallele Lage bringen.

Als Schutzmittel gegen zu starke Belichtung sind schliesslich auch die Haarbildungen zu betrachten, welche sich bei vielen Pflanzen finden und nicht selten die ganze Pflanzenoberfläche mit einem dichten weissen oder grauen filzigen Überzug versehen erscheinen lassen, wie es z. B. bei dem schon vorhin einmal bei anderer Gelegenheit genannten Edelweiss der Fall ist. Auch die wachsartigen Überzüge, die Verdickung der Kuticularschichten, die Furchen, Falten, Gruben auf der besonnten Blattoberfläche und ähnliche Einrichtungen sind hier zu erwähnen.

Nicht minder wichtig als das Licht ist für die Ausbildung des Chlorophylls ein gewisses Mass von Wärme. Unterhalb der hiezu notwendigen, für die einzelnen Pflanzen verschieden gelagerten, niedrigsten Temperatur findet auch bei vollem Lichtgenusse kein Ergrünen der Pflanzen statt. Dieselben können zwar unter Umständen wachsen, bleiben aber ebenso wie bei Lichtmangel bleich, gelb und ergrünen erst dann, wenn der entsprechende Temperaturgrad erreicht ist.

Als dritter der Faktoren, welche hauptsächlich bei der Chlorophyllbildung thätig sind, wurde das Eisen genannt,

Fehlt dasselbe in dem Substrat, in welchem die Pflanze erwächst, so zeigt sich wiederum die eigentümliche Erscheinung, dass bei im übrigen völlig zusagenden Wachstumsbedingungen keine normalen grünen, sondern bleiche, weisse Blätter gebildet werden. Diese durch Eisenmangel herbeigeführte Bleichsucht aber, die Chlorose, wie sie im Gegensatz zu der durch Lichtmangel herbeigeführten Erscheinung des Etiollements genannt wird, ist ihrer Natur nach wesentlich von letzterem verschieden. Während nämlich im Finstern erwachsene etiolierte Blätter und Stengelteile unter dem Mikroskop deutlich ausgebildete Chlorophyllkörner erkennen lassen, welche nur statt mit dem normalen grünen mit einem gelben Farbstoff tingiert sind, findet sich im Plasma der Zellen chlorotischer Pflanzen nicht nur kein Chlorophyll, sondern es fehlen auch die Träger des letzteren, die Chlorophyllkörner, deren Ausbildung infolge des Eisenmangels nicht zu stande kommen konnte.

In völlig zweifelloser Weise lässt sich die erwähnte Wirkung des Eisens bei den bekannten Kulturversuchen darlegen, bei welchen irgendwelche Pflanzen in wässrigen Nährstofflösungen erzogen werden. Angenommen, die Nährlösung erhalte durch Einbringen der erforderlichen Substanzen in destilliertes Wasser Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium, mit anderen Worten diejenigen mineralischen Stoffe, ohne deren Mitwirkung die vollkommene Ausbildung einer Pflanze nicht möglich ist, so wird sich die Pflanze, z. B. eine Gartenbohne oder irgend eine andere, deren Wurzeln in die Nährstofflösung eingetaucht sind, eine Zeit lang in völlig normaler Weise entwickeln, bis auf einmal die letztgebildeten Blätter sich nicht mehr grün färben, sondern ein bleiches chlorotisches Aussehen zeigen, obwohl der Pflanze Licht und Wärme in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Der in der Pflanze vorhandene Eisenvorrat, welcher bisher die Ausbildung von Chlorophyllkörnern und von Chlorophyll ermöglichte, ist verbraucht, und es musste deshalb die erwähnte abnorme Entwicklung eintreten.

Bringt man nun in die Nährstofflösung geringe Mengen eines Eisensalzes, so wird zu beobachten sein, dass die zuerst bleichen Blätter nach wenigen Tagen die normale grüne Färbung zeigen.

Noch unmittelbarer lässt sich die Einwirkung des Eisens dadurch nachweisen, dass man einfach eine Stelle der Oberfläche eines chlorotischen Blattes mit einer Eisenlösung bestreicht. Nach kurzer Zeit wird die bestrichene Stelle ergrünen und als Centrum der Chlorophyllbildung für das ganze Blatt dienen.

Die Aufgabe nun, meine Herren, welche dieser grüne Farbstoff der Blätter unserer Pflanzen im Haushalte der Natur zu erfüllen, ist eine ungemein wichtige und von weittragendster Bedeutung für das gesamte organische Leben auf der Erde. Diese Aufgabe besteht darin, die Kohlensäure der Luft, welche durch winzig kleine Öffnungen, die sogenannten Spaltöffnungen, in das Innere der Blätter aufgenommen wird, unter Mitwirkung von Licht und Wärme zu zerlegen in ihre Elementarbestandteile Kohlenstoff und Sauerstoff, welcher letzterer wieder aus der Pflanze ausgeschieden wird oder aber bei Atmungsprocessen, welche sich im Pflanzenkörper abspielen, Verwendung findet, während die Kohlenstoffatome unter Mitwirkung von Wasser und gewissen mineralischen Stoffen zur Neubildung von organischer Substanz verwendet werden. Einzig und allein durch diesen Process werden die ungeheueren Massen an organischer Substanz erzeugt, welche zum Werden, zur Ernährung, zum Wachstum der zahllosen pflanzlichen und tierischen Individuen auf der Erde notwendig sind.

Wenn wir, meine Herren, den Wald durchwandern und uns seiner ewig jungen Schönheit und Pracht freuen, wenn unser Auge emporschweift zu den gewaltigen Kronen, welche sich auf der Höhe der säulengleichen Stämme wiegen, oder an den reizenden Gruppen haftet, welche Farne und Gräser und Moose und Busch- und Strauchwerk am Boden des Waldes bilden, oder wenn wir beim Durchwandern unserer Fluren uns der wogenden Ährenfelder freuen, dann mögen wir billig in Staunen versinken bei dem Gedanken, dass die ganze hehre Pracht um uns her ihren letzten Ursprung in den winzigen Gebilden findet, welche den Blättern ihre grüne Farbe verleihen, dass die gewaltigen Stoffmassen, welche zum Aufbau der Millionen von Stämmen, der zahllosen Blüten und Blätter und Kräuter und Ähren verwendet wurden, ein Erzeugnis des

Blattgrünes sind. Ja wir können noch weiter gehen; nicht nur die Pflanzenwelt, auch die gesamte Tierwelt und wir Menschen verdanken in letzter Linie die Möglichkeit, das Leben zu erhalten, dieser wunderthätigen Farbe. Der tierische Organismus befindet sich nämlich dem pflanzlichen gegenüber insofern im vollständigsten Abhängigkeitsverhältnis, als nur die Pflanze, genauer gesprochen die grünen, chlorophyllhaltigen Pflanzenteile im stande sind, aus den anorganischen Rohstoffen der Luft und des Bodens neue organische Substanz zu bilden, während dem tierischen Organismus diese Fähigkeit voll und ganz abgeht; die gesamte Nahrung, welche die Tierwelt bedarf, liefert die Pflanzenwelt, eine Thatsache, auf welche bereits im mosaischen Schöpfungsberichte der Bibel hingewiesen ist, indem dort die Tierwelt erst dann in's Leben gerufen wird, nachdem die Erde bereits mit einer Vegetationsdecke überzogen war.

Dieser hochwichtige Vorgang nun, aus welchem die Neubildung organischer Substanz resultiert und welcher sich, wie schon wiederholt erwähnt, nirgendsonstwo als in den chlorophyllhaltigen Pflanzenteilen abspielen kann, wird Assimilation genannt. Für den Beginn der Assimilationsthätigkeit einer Pflanze wurde neben dem Vorhandensein des Chlorophylls als zweite unbedingt notwendige Voraussetzung die Mitwirkung des Lichtes erkannt. Ebenso wie eine Pflanze nur bei Lichtgenuss ergrünen kann, ebenso vermag sie nur bei Lichtgenuss zu assimilieren. Eine im Finstern befindliche Pflanze ist nicht im stande, die in der umgebenden Luft enthaltene Kohlensäure zu zersetzen und zur Erzeugung neuer organischer Stoffe zu verwerten. Sie vermag zwar unter sonst geeigneten Bedingungen zu wachsen, sie vermag neue Blätter zu entfalten und ihr Volumen zu vergrössern, wie dies z. B. bei der schon erwähnten Erscheinung des Austreibens von Kartoffelknollen oder Rüben in lichtlosen Kellerräumen beobachtet werden kann; aber dieser Vorgang ist grundverschieden von dem der Assimilation. Das Wachstum einer Pflanze im Finstern ist nur möglich durch Verwendung der in der betreffenden Pflanze bereits vorhandenen durch frühere Assimilationsthätigkeit dieser Pflanze erzeugten Stoffe, wie sie ja in den Kartoffelknollen,

in Rüben u. s. w. als sogenannte Reservestoffe in grosser Menge aufgespeichert sind; die Pflanzensubstanz nimmt aber hiebei trotz des Wachstums nicht zu, sondern gerade im Gegenteil ab infolge der wie bei den Tieren so auch bei den Pflanzen vor sich gehenden Oxydations- oder Atmungsprocesse, bei welchen organische Stoffe zu Wasser und Kohlensäure verbrennt werden, während irgend welcher Ersatz hiefür der in der Finsternis weilenden Pflanze nicht geboten werden kann. Die weitere Folge des Verbleibens in der Dunkelheit ist denn auch schliesslich die, dass die Pflanze nach Verbrauch aller Reservestoffe verhungern muss; sie geht einfach zu Grunde. Nicht in so scharfer, aber immerhin in augenfälliger Weise tritt diese Erscheinung auch bei den auf dem Blumentisch im Zimmer kultivierten Pflanzen zu Tage. Auch hier zeigen die Pflanzen fast stets infolge der sehr beschränkten Lichtzufuhr ein kümmerndes kränkliches Aussehen. Entsprechend der schwachen Belichtung kann auch die Assimilation nur eine sehr geringe sein und das Endergebnis ist, dass die Pflanze fast immer eines langsamen Hungertodes stirbt. Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei den im Freien vegetierenden Pflanzen. Dank der unbeschränkten Einwirkung des Lichtes sind sie tagsüber im stande, neue Baustoffe aus Kohlensäure und Wasser in ausreichendem Masse zu bilden, welche zu weiterem Wachstum verwendet werden können. Bei ihnen bedeutet das Wachstum nicht nur eine Volumvermehrung, sondern auch eine Vermehrung der organischen Substanz, denn der Verlust an letzterer, welcher durch die Atmung herbeigeführt wird, wird bei weitem durch die Neubildungen übertroffen, welche aus der Assimilationsthätigkeit der Blätter resultieren.

Die internen Vorgänge bei der Zersetzung der Kohlensäure durch das Licht in den Chlorophyllkörnern sind bis jetzt noch nicht erforscht und nur nach ihrer Wirkung klar gelegt. Man denkt sich bekanntlich wie die Erscheinung der Wärme so auch die des Lichtes hervorgerufen durch auf die greifbare Materie übertragene Schwingungen des den Weltenraum erfüllenden Äthers. Derselbe ist vermutlich ein körperlicher

Stoff ähnlich der Luft, aber sicher ein über jede Vorstellung feines Medium, welches deshalb in alle Zwischenräume zwischen den chemisch kleinen Teilen der Körper, den Moleculen, einzudringen und denselben seine Schwingungen mitzuteilen vermag. Man kann vielleicht annehmen, dass eben durch diese Schwingungen, welche sich auf die in die Blätter aufgenommene Kohlensäure übertragen, die Zerspaltung derselben in Kohlenstoff und Sauerstoff bewirkt werde. Wie dem aber auch sei, jedenfalls steht die Thatsache fest, dass die Zersetzung nur bei Lichtzutritt stattfindet und zwar zeigt hiebei die beste Wirkung diejenige Lichtintensität, welche durch Ätherschwingungen zu stande kommt, deren Wellenlänge ungefähr achtundfünfzig bis neunundfünfzig Hunderttausendel Millimeter beträgt. Von diesem Lichtoptimum aus nimmt die Energie der Zersetzung ab sowohl beim Längerwerden wie beim Kürzerwerden der Lichtwellen, um nach abwärts bei einer Länge von neununddreissig Hunderttausendel Millimeter, nach aufwärts bei einer solchen von sechsundsiebzig Hunderttausendel Millimeter ganz zum Stillstande zu kommen.

Noch möge die interessante Erscheinung der verschiedenartigen Wirkung der einzelnen Teile des Sonnenlichtes bzw. des Spectrums desselben auf die Zersetzung der Kohlensäure in den Pflanzen erwähnt werden. Zerlegt man mittelst eines Glasprismas das Sonnenlicht in seine einzelnen Bestandteile und setzt die Versuchspflanze der Reihe nach den verschiedenen Lichtgattungen aus, so ergibt sich, dass die Kohlensäurezerersetzung am lebhaftesten im rotgelben Teile des Spectrums vor sich geht, während sie im blauen Teile bedeutend geringer und am schwächsten im violetten Teile ist, entgegen der früheren Anschauung, nach welcher die letzteren sogenannten chemischen Strahlen wie bei anderen chemischen Processen, bei welchen das Licht eine Rolle spielt, so auch bei der Assimilation als die vorzüglich wirksamen angesehen wurden.

Bei allen Äusserungen der Lebensthätigkeit einer Pflanze und nicht zum mindesten bei der Assimilation spielt die Wärme eine wichtige Rolle. Ehe dieselbe einen gewissen Grad erreicht hat, können keine Assimilationsvorgänge eintreten und

nur dann finden sie am ausgiebigsten statt, wenn der Pflanze gleichzeitig das Optimum an Licht und das Optimum an Wärme zur Verfügung steht. Andernfalls erreicht die durch die Assimilationsthätigkeit der Pflanze neu erzeugte organische Substanz nicht jenes Mass, welches von der gleichen Pflanze unter günstigeren Bedingungen erreicht werden könnte. So erzeugen z. B. die in den Hochlagen der Mittel- und Hochgebirge erwachsenden Bäume während einer Vegetationsperiode bedeutend weniger organische Substanz als die in den tieferen Lagen wachsenden, was leicht an der Hand der Jahrringsbildung nachgewiesen werden kann. Die Jahresringe eines in geringerer absoluter Höhe vegetierenden Baumes werden durchschnittlich viel breiter sein, als die eines Individuums derselben Baumart, dessen Standort in höheren Lagen sich befindet und bei gleichem Alter werden die beiden Bäume mehr oder minder bedeutende Differenzen in ihren Gesamtstärkeverhältnissen erkennen lassen. Der Grund hiefür ist lediglich darin zu suchen, dass den Pflanzen der Hochlagen eine beträchtlich geringere Wärmesumme zur Verfügung steht als jenen, die sich in tiefer gelegenen Gegenden angesiedelt haben und dass dementsprechend auch die Assimilation eine minder ausgiebige sein kann als weiter unten.

Als erstes sichtbares und nachweisbares Assimilationsproduct erscheint in den Chlorophyllkörnern Stärke in Form grösserer oder kleinerer Körnchen, welche bei sehr lebhafter Assimilationsthätigkeit zuletzt das ganze Chlorophyllkorn erfüllen können. Es ist aber dabei wohl zu beachten, dass sich diese Stärke nicht direct aus den durch Licht und Wärme im Chlorophyll aus ihrer chemischen Verbindung getrennten Elementen der Kohlensäure und des Wassers bildet; dieselbe ist vielmehr als ein Umwandlungsproduct anderer zuerst entstandener Kohlenstoffverbindungen anzusehen. Man ist zwar über die Natur dieser ursprünglichen Assimilationsproducte noch nicht im klaren, doch ist wahrscheinlich, dass sich der fragliche Vorgang in der Weise abspielt, dass sich aus Kohlensäure (CO_2) und Wasser (H_2O) unter Ausscheidung zweier Atome Sauerstoff ein der Gruppe der Ameisensäure angehöriger

Körper von der chemischen Zusammensetzung CH_2O (Formaldehyd) bildet. Durch Vereinigung von sechs Moleculen dieses Körpers entsteht Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) und letzterer kann durch Abgabe von einem Molecul Wasser in Stärke ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) übergehen.

Die so in den Blättern entstandene Stärke kann man leicht durch folgenden Versuch nachweisen. Man nimmt bei Witterungsverhältnissen, welche einer lebhaften Assimilation günstig sind, also an einem warmen sonnigen Sommertag, Blätter von irgend einer Pflanze, tötet dieselben durch Eintauchen in kochendes Wasser und legt sie dann auf einige Zeit in Alkohol, wodurch ihnen der Chlorophyllgehalt entzogen wird, so dass sie zuletzt völlig farblos erscheinen. Behandelt man dann diese farblosen Blätter mit dem bekannten Reagens auf Stärke, mit Jod, durch Übergiessen mit einer hellbraunen Jodlösung, so werden die Blätter in kurzer Zeit infolge der Bildung mit Jodstärke tief blauschwarz gefärbt. Bei dem nämlichen Versuch kann man zugleich den Nachweis liefern, dass die Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern nur unter dem directen Einflusse des Lichtes möglich ist. Schützt man nämlich einen Teil der Fläche eines zu dem Versuche bestimmten Blattes durch irgend welche Verhüllung vor der directen Belichtung, so wird gerade diese Stelle bei der späteren Behandlung mit Jod sich nicht blau färben, sondern weiss bleiben, weil eben an dieser Stelle infolge der gehemmten Lichtzufuhr keine Stärkebildung möglich war.

Von den Chlorophyllkörnern aus wandert die Stärke unter verschiedenen Umwandlungen durch die leitenden Organe des Pflanzenkörpers an die Verbrauchsorte, d. h. in diejenigen Teile, welche wachsen, um dort das Material zur Neubildung von Zellen zu liefern, oder sie wird in den Reservestoffbehältern aufgespeichert, um hier für irgend welchen späteren Gebrauch bereit gehalten zu werden.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht des Naturwissenschaftlichen Vereins Landshut](#)

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Müller Carl

Artikel/Article: [III. Das Blattgrün. Vortrag gehalten vom k. Forstamtsassistenten Carl Müller im botanischen Verein Landshut am 13. Januar 1893. 125-146](#)