Über den Einfluss der Sonnenstrahlen auf die Chlorophyllbildung und das Wachsthum der Pflanzen überhaupt.

Von **Phil. et Med. Dr. Jos. Boehm,**

Docent der dem. Botanik an der Wiener Universität.

(Vorgetragen in der Sitzung vom 21. Juli 1859.)

Seit einer Reihe von Jahren beschäftige ich mich mit der Untersuchung des grünen Farbstoffes der Pflanzen, und habe einige Resultate meiner Studien bereits vor zwei Jahren der verehrten Classe vorgelegt ¹⁾. Ich habe im Wesentlichen Mohl's Ansicht bestätigend, nachzuweisen gesucht, dass die Chlorophyllkörner nicht als Bläschen im physiologischen Sinne des Wortes anzusehen sind, dass sie aus drei sehr verschiedenen Factoren bestehen, von denen der Eine Amylum oder irgend ein anderer mehr wenig fester Bestandtheil des Zellinhaltes (Fettkugeln, Zellkerne, Krystalle), von dem zweiten, dem Träger des Chlorophylls, von mir Chlorophor genannt, eingehüllt werde, und dass in diesem mantelartigen Überzuge besagter Körperchen das in Alkohol und Äther mit unveränderter Farbe lösliche Blattgrün eingebettet sei. Ich habe mich entschieden gegen die Eintheilung des Chlorophylls in geformtes und formloses ausgesprochen und habe aufmerksam gemacht, dass das Chlorophyll als solches nie Gegenstand anatomischer Untersuchung sein kann.

Seit dieser Zeit habe ich bei meinen anderweitigen anatomischen Untersuchungen immer nebenher mein Augenmerk auf diesen Gegenstand gerichtet, und ich habe selbst mit Rücksicht auf die seither über denselben Gegenstand von Arthur Gris ²⁾ erschienene Abhandlung zu diesen Resultaten weder etwas von Belang hinzuzufügen, noch davon zurückzunehmen.

¹⁾ Jos. Ant. Böhm, Beiträge zur näheren Kenntniss des Chlorophylls. Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Classe, Bd. 22, 1856, p. 479.

²⁾ Arthur Gris, Recherches microscopiques sur la Chlorophylle. Annales des sciences naturelles; Botanique, Tome VII. 1857, p. 179.

Schon damals beschäftigte ich mich mit der Lösung der Frage über die Ursache der Entstehung des Chlorophylls; denn obwohl wir im Allgemeinen wissen, dass das Auftreten des grünen Farbstoffes in der Regel von der Einwirkung des Lichtes auf den Pflanzentheil, der sich überhaupt grün zu färben im Stande ist, abhängt, so sind doch seit Langem her mehrere Fälle bekannt, wo wir ihn in Pflanzen und Pflanzenorganen antreffen, die dem directen Einflusse des Lichtes völlig entzogen sind. Es gehören hieher, wie dies schon Decandolle ¹⁾ anführt, viele Embryonen und das Innere zahlreicher Pflanzenstämme.

Decandolle's Erklärung dieser Erscheinung, dass sich die Wirkung des Lichtes weiter bis in's Innere der Pflanzentheile fortsetze (l. c. pag. 897), hat wenig Anklang gefunden, und auch die neuesten Forscher, z. B. Schacht ²⁾ finden sich durch diese Erscheinung zur Annahme gedrängt, dass das Licht nicht die einzige Ursache der Chlorophyllbildung sei.

Dass sich die Chlorophyll erzeugende Kraft des Lichtes nicht bloß auf die Oberfläche der Pflanzentheile beschränke, sondern tiefer in dieselben einwirke, liegt, wie ich glaube, klar auf der Hand, da sich sonst das Chlorophyll nur in den äussersten Zellschichten grüner und grün werdender Pflanzentheile finden könnte.

Setzt man z. B. Kartoffel der Einwirkung des Lichtes aus, so bildet sich nach und nach in allen, selbst in den innersten Zellen des Parenchyms Chlorophyll, obwohl die Knollen mit einem fast undurchsichtigen Periderma überzogen sind und schon eine dünne Schichte des Zellgewebes jeden directen Durchgang der Lichtstrahlen verhindert. Lässt man Kresssamen in einem Gefässe, welches mit einer beträchtlichen Anzahl grüner Blätter von lebenden Pflanzen auf eine geeignete Weise vorsichtig verschlossen ist, keimen, so sind die sich entwickelnden Pflänzchen durchaus nicht bleichsüchtig, sondern im Gegentheile lebhaft grün gefärbt.

Es wird, wie mich dünkt, hieraus zu Genüge klar, dass sich das Auftreten des Chlorophylls in den Embryonen, dem Marke und den Markstrahlen eben so gut durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen

¹⁾ sein Erscheinen in den Zellen der mittleren Blatt-

¹⁾ DeCandolle, Physiologie végétale, Paris, 1832, pag. 896.

²⁾ Schacht, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie d. Gewächse I. 1856, pag. 65.

schieht. Dass dem aber wirklich so sei, habe ich an den Embryonen von *Acer*, *Rhaphanus*, *Astragalus* und *Celtis* direct nachgewiesen. Ich brachte nämlich die Blütenstände oder die Blüten tragenden Zweigchen dieser Pflanzen einige Zeit nach der Befruchtung in steinerne Krüge oder nähte dieselben in schwarze Wachsleinwand ein. Die Samen erreichten ihre vollständige Grösse, die Embryonen aber waren in allen Fällen vollständig weiss. Die von *Acer* und *Rhaphanus* wurden eingesetzt und keimten eben so gut wie ihre in der Freiheit gereiften grünen Brüder.

Humboldt ¹⁾ machte zu wiederholten Malen die interessante Beobachtung, dass sich Pflanzenblätter auch bei Abschluss des Lichtes in einer Atmosphäre von Wasserstoff grün färbten. Wenn auch meine Versuche in Übereinstimmung mit denen von Decandolle ²⁾ ein negatives Resultat lieferten, so ist doch an der Richtigkeit der Angabe eines Humboldt sicher nicht zu zweifeln, und es beweisen die entgegengesetzten Resultate der wiederholten Versuche nur, dass in jenen Fällen nicht der Wasserstoff die Entstehung des Chlorophylls bedingte, sondern dass hierbei eine andere Ursache thätig war.

Um mich von der Ansicht Mohl's ³⁾ zu überzeugen, dass sich bei den Amylum hältigen Chlorophyllkörnern bald das Amylum bald die dasselbe einhüllende grüne Materie zuerst bilde, je nachdem sich der Pflanzentheil im Dunkel oder unter dem Lichteinfluss entwickle, steckte ich vegetirende Zweige zahlreicher Pflanzen in steinerne Krüge. Ich bemerkte nun zu meiner Überraschung, dass sich die unter dem Lichtabschlusse entwickelnden Blätter sehr häufig endlich deutlich grün färbten, z. B. *Aconitum*, *Delphinium*, *Eupatorium*, *Beta* etc. Bei *Pinus sylvestris*, *Abies* und *Larix* waren die Blättchen der äussersten Spitzen völlig bleich, während die unteren sich von der Spitze an allmählich grün färbten und die untersten eben so ausgebildet waren, als ob sie sich unter der Einwirkung des Lichtes entwickelt hätten.

¹⁾ Fried. Alex. ab Humboldt, Florae Fridbergensis specimen. Berolini, 1793, pag. 179 u. s. f.

²⁾ L. c. pag. 899.

³⁾ Hugo von Mohl, vermischte Schriften. Tübingen, 1843, pag. 339. (Über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls, 1837.)

In anderen Fällen jedoch, häufig bei derselben Pflanzenart, blieben die Blätter unter diesen Verhältnissen entwickelt, vollkommen bleich. Anfangs wusste ich mir diese widersprechende Erscheinung nicht zu erklären. Bei genauer Berücksichtigung sämtlicher Umstände konnte es mir jedoch nicht entgehen, dass diese Verschiedenheit hinsichtlich der Färbung der im Dunkel entwickelten Zweige in der Regel von dem Standorte der Versuchspflanze abhängig war. War diese der Einwirkung des directen Sonnenlichtes ausgesetzt, so wurden die Blätter meist grün, während sie, wenn die Pflanze im Schatten stand, bei *Pinus* ausgenommen, immer bleich blieben. Nachdem ich dieses durch zahlreiche, absichtlich hierüber angestellte Versuche ermittelt hatte, konnte mir auch der Grund dieser Erscheinung nicht entgehen.

Wir empfinden unter den gewöhnlichen Verhältnissen nur einen gewissen Theil der Sonnenstrahlen als Licht, und zwar nur denjenigen von mittlerer Wellenlänge, während die jenseits des Roth und diesseits des Violet liegenden Ätherwellen sich insbesondere durch ihre erwärmende und chemische Wirkung auszeichnen.

Die verschiedenen Körper verhalten sich hinsichtlich der Durchgängigkeit für die verschiedenen Strahlen in hohem Grade verschieden und es lassen sich diese Eigenschaften nur durch den directen Versuch ausmitteln. In dieser Beziehung zeichnet sich unter Anderem insbesondere eine berusste Glasplatte aus, welche endlich nur mehr Strahlen der grössten Wellenlänge, d. i. Wärmestrahlen durchlässt. Eben so wird jeder Körper von Sonnenstrahlen getroffen, erwärmt, und dadurch selbst wieder zur Quelle für strahlende Wärme.

Es lag nun durch die Resultate der obigen Versuche sehr nahe anzunehmen, dass es die Wärmestrahlen waren, welche die obige Erscheinung hinsichtlich der Färbung der im Krüge entwickelten Blätter bedingten. Der directe Versuch bestätigte dieses vollkommen. Ich liess Pflänzchen in einem kleinen Topfe keimen, welchen ich in ein grösseres irdenes Gefäss stellte, das oben mit einer im Kamine berusteten Glasplatte, die selbst für das directe Sonnenlicht völlig undurchgängig war, mittelst in Weingeist gelöstem Asphalt sorgfältig verschlossen wurde. Um den nöthigen Luftwechsel zu ermöglichen, wurden in die Seitenwand des äusseren Topfes mehrere Öffnungen gemacht, und um die zum Gedeihen der Pflänzchen nöthige Temperatur zu erhalten und das Innere des Topfes trotz der angebrachten

Öffnungen möglichst dunkel zu erhalten, wurde das äussere Gefäss mit einem schwarzen Tuche umwickelt, das immer feucht gehalten wurde. Letzteres bewerkstelligte ich dadurch, dass ich den Apparat noch mit einer Lage Fliesspapier umgab, und in einen Teller mit Wasser stellte. Das ganze wurde durch mehrere Tage der directen Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, und dabei Sorge getragen, dass der Apparat immer eine solche Lage erhielt, dass die berusste Glasplatte von den Sonnenstrahlen stets in ziemlich senkrechter Richtung getroffen wurde. Ein anderer ganz ähnlicher, statt der berusteten Glastafel aber mit einer weissen Porcellanplatte auf gleiche Weise verschlossener Apparat wurde in derselben Lage daneben gestellt.

Nach vier Tagen waren die unter der berusteten Glasplatte herangewachsenen Pflänzchen schön grün gefärbt, während die unter der Porcellanplatte völlig blassgelb blieben.

Es beweiset dieser mit demselben Resultate mehrere Male wiederholte Versuch, wie mich dünkt auf unzweifelhafte Weise, dass auch den Wärmestralen eine Chlorophyll erzeugende Eigenschaft zukommt, und dass es diese waren, welche die oben beschriebene Farbenverschiedenheit der in den steinernen Krügen entwickelten (bald bleichen bald grünen) Blätter bedingten. — Mittlerweile lernte ich die Arbeiten von Guillemin¹⁾ kennen und ersah daraus zu meiner Befriedigung, dass dieser Physiker mit viel exacteren Hilfsmitteln zu demselben Resultate gekommen ist. Er bewies aber auch zugleich, dass die chemischen Strahlen eine ähnliche, wenn auch weniger intensive Chlorophyll erzeugende Wirkung besitzen wie die Lichtstrahlen, und dass jene im Gelb des Spectrums am grössten ist, also mit der grössten Lichtintensität zusammenfällt. Ich hielt desshalb die Veröffentlichung meiner Versuche für überflüssig, indem ich glaubte, dass hiermit die Erscheinung des Auftretens von Chlorophyll an nicht direct vom Lichte getroffenen Pflanzen und Pflanzentheilen seine vollkommene Erklärung gefunden hätte. Schacht²⁾, dem diese Arbeit von Guillemin wohl bekannt war, modificirte jedoch seine frühere Ansicht nicht. Eben so sagt Dr. Jul.

1) Guillemin, Production de la Chlorophylle etc. Ann. d. sc. nat. Botanique, T. VII, 1857.

2) Schacht, Lehrbuch d. Anat. und Physiol. d. Gewächse II. 1859, p. 560.

Sachs 1): „Die Nothwendigkeit des Lichtes ist zur Chlorophyll-erzeugung kein durchgreifendes Gesetz. Das grüne Pigment entsteht nach Guillemin in allen Zellen eines Blattes, wenn auch nur ein kleiner Theil desselben lange Zeit vom Lichte getroffen wird, und nach Sanio ist das Vorhandensein von Chlorophyll im Holz der Bäume, also da, bis wohin sicher kein Sonnenstrahl eindringt, eine sehr häufige Erscheinung. Das Vorkommen von Chlorophyll in Keimen reifer Samen gehört ebenfalls hieher. Eines der interessantesten Beispiele bietet *Pinus Pinea*. Der Keim des reifen Samens enthält kein Chlorophyll; aber sobald die Keimwurzel etwa einen Zoll lang geworden ist, sind die zahlreichen Cotyledonen auch schon grün, obwohl sie von dem völlig undurchsichtigen Endosperm wie von einem fest anschliessenden Sacke umhüllt sind und eine Schichte Erde den Keim bedeckt. Hier ist sicher Chlorophyll ohne irgend welchen Lichteinfluss entstanden.“ L. c. p. 7. — Ich habe Samen von *Pinus Pinea* und *Pinus sylvestris* in möglichst dunklem Raume keimen lassen. Die von *Pinus Pinea* gingen alle grün auf; bei *Pinus sylvestris* waren von zehn Keimpflänzchen bei sechs die Cotyledonen grün, die übrigen vier aber, mit den anderen in demselben Topfe, blieben durchaus bleich. — Obwohl die Resultate der obigen Versuche hinreichend genügen, um hier das Auftreten des Chlorophylls zu erklären, so hielt ich es doch nicht für überflüssig, die von Herrn Sachs zur Erklärung dieser Erscheinung aufgestellten Hypothesen näher zu untersuchen, indem ja dieselbe Wirkung von verschiedenen Ursachen bedingt sein kann, wie dies Humboldt hinsichtlich des in Rede stehenden Farbstoffes von dem Lichte und dem Wasserstoffe vermuthete. — Was nun vorerst die Angabe Sachs. anbelangt, Guillemin habe gefunden, dass in allen Zellen eines Blattes, wenn auch nur ein kleiner Theil desselben vom Lichte getroffen werde, das grüne Pigment entstehe, so hätte Herr Sachs gut gethan anzuführen, wo er eine solche Behauptung Guillemin's wohl gelesen habe; in der oben citirten Abhandlung kann ich sie nicht auffinden. Übrigens ist es ersichtlich, dass nach dem Vorhergehenden die Erklärung einer solchen Erscheinung nicht den geringsten Schwierig-

1) Dr. Jul. Sachs, Über das Vorhandensein eines farblosen Chlorophyll-Chromogens in Pflanzentheilen, welche fähig sind, grün zu werden. *Botan. Jahrb.* 9. Jahrg. 1859. 6 — 14.

keiten unterliegen könnte, und dass sich bei vielen Pflanzen ein solches Verhalten der Blätter sicher finden wird. Meine an *Phaseolus multiflorus* und *Phytolacca decandra* angestellten Versuche gaben jedoch ein vollkommen übereinstimmendes Resultat mit dem Versuche Senebier's ¹⁾, welcher fand, dass wenn man ein bleichsüchtiges Narzissenblatt an's Licht stellt, nachdem man einen Theil davon mit Staniolblättchen belegt hat, der bedeckte Theil bleichsüchtig blieb. — Bestrich ich jedoch einzelne Stellen mit einer Kienrussfarbe, so wurden auch diese im directen Sonnenlichte grün. — Mit der Angabe Sanio's ²⁾ hat es allerdings seine vollkommene Richtigkeit, wenn auch Sanio vielleicht in seiner Vermuthung etwas zu weit geht. Übrigens ist das Factum von dem Vorkommen des Chlorophylls im Inneren holziger Pflanzen, wie schon bemerkt, seit lange bekannt und für die in Rede stehende Frage ist es völlig gleichgiltig, ob sich das Chlorophyll im Marke, in den Markstrahlen oder in Holzzellen findet.

Ehe ich jedoch die von Sachs aufgestellten Erklärungsgründe für das Auftreten des Chlorophylls in den dem Lichteinflusse entzogenen Pflanzen und Pflanzentheilen einer genauen Prüfung unterziehe, muss ich auf einige andere Erscheinungen im Pflanzenleben aufmerksam machen. — Die Pflanze ist ein desoxydirender Organismus; er hat die Aufgabe, lebendige Kräfte in Spannkkräfte umzusetzen. Bei dem bekannten Gesetze der Constanz der Kräfte kann ihm aber die Fähigkeit hierzu nur von der Aussenwelt, d. i. mittel- oder unmittelbar von der einzigen Kraftquelle unseres Planeten, von der Sonne zukommen. Sowohl die dem Lichteinflusse ausgesetzten Pflanzen, als auch die, welche im Dunkel vegetiren, alle unterliegen auf gleiche Weise demselben Gesetze. Keine Pflanze kann aus sich selbst Kraft aufbringen, keine kann Verbindungen lösen und die Elemente aus der Gleichgewichtslage bringen, wenn ihr die Gewalt nicht vom Himmel gegeben wird. — Die im dunklen Raume wachsenden Pflanzen zerfallen: 1. in solche, die durch ihren natürlichen Standort

¹⁾ Jean Senebier, Physikalisch-chemische Abhandlungen über den Einfluss des Sonnenlichtes auf alle drei Reiche der Natur. Aus dem französischen, Leipzig, 1785. 3. Abhandlung, pag. 47.

²⁾ Sanio, Untersuchungen über die im Winter Stärke führenden Zellen des Holzkörpers dykotyledoner Gewächse. Halle, 1838, pag. 16.

der Einwirkung des Lichtes entzogen sind; und 2. in solche, bei denen dieses auf gewaltsame Weise geschah.

So wie sich bei Letzteren aus verschiedenen Erscheinungen zeigt, dass sie sich in abnormen Verhältnissen befinden, eben so verhält es sich bei den Pflanzen der ersten Abtheilung, wenn sie dem Lichteinflusse ausgesetzt werden. — Lehrreich scheint mir in dieser Beziehung folgender Versuch: Ich grub mehrere Kartoffelstücke, bei denen die Knollen beiläufig die Grösse einer Bohne erreicht hatten, aus, und setzte sie derart in einen Topf, dass vier Knöllchen frei zu Tage lagen. Zwei davon legte ich, um sie vor dem Vertrocknen zu schützen, in ein fortwährend mit etwas Wasser gefülltes Uhrgläschen. Die zwei andern sperre ich derart in eine blecherne Büchse, dass ich in den Rand der unteren Hälfte zwei Einschnitte machte, in welchen je ein, das den Knollen mit der Mutterpflanze verbindende und mit Baumwolle umwundene Internodium gelegt wurde. Nach 14 Tagen war der Stengel beiläufig um 2 Zoll länger, die Kartoffel aber nicht beträchtlich grösser geworden. Da ich nun somit sicher war, dass die Pflanze die ganze Operation des Umsetzens glücklich überstanden hatte, so schnitt ich das Kraut sammt allen Blättern ab. Der Topf stand im Schatten, und wurde sorgfältig feucht gehalten. — Nach sechs Wochen zeigte sich nun Folgendes: Die auf den Teller frei gelegten Knöllchen waren unbedeutend grösser geworden, aber ganz grün, während die in der Büchse eingeschlossenen einen Zoll im Durchmesser hatten und kaum kleiner waren als die unter der Erde vergrabenen Brüder.

Schon Rai ¹⁾ wusste, dass Pflanzen, die im Dunkel wachsen, gelblich-weiss und die Internodien grösser werden, die Blätter aber viel kleiner bleiben. Bonnet ²⁾ bestätigte dieses durch zahlreiche Versuche und nannte solche Pflanzen nach dem Vorgange von Gärtnern bleichsüchtig (*plantes étiolées*). — So wahr auch diese jetzt allgemein verbreitete Ansicht für viele Pflanzen ist, so hat sie doch keine allgemeine Richtigkeit. Von der Erscheinung des Bleichseins haben wir dies bereits gesehen. Eben so muss aber auch die Ansicht, dass die im Dunkel sich entwickelnden Internodien länger werden,

¹⁾ Joannes Rayus, Historia plantarum. Londini, 1693. Tom. 1. Libr. 1. p. 15.

²⁾ Charles Bonnet, Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes. Gottingue et Leide, 1754, pag. 209 et 330.

als wenn sie dem Lichteinfluss ausgesetzt sich entwickeln, beträchtlich eingeschränkt werden. Es zeigt uns dies ein Blick auf die unterirdischen Stengel. Ferner unterscheiden sich die im Dunkel gezogenen Keimpflänzchen von *Pinus Pinea* hinsichtlich der Länge ihrer Internodien gar nicht von jenen, die sich im Freien entwickeln.

Bei mehreren im Freien stehenden Pflanzen, die ich entweder gleich, wenn sie aus dem Boden hervorkamen, vom Lichte abschloss, oder bei denen dies nur mit einzelnen Zweigen geschah, beobachtete ich, dass zwar meistens die Internodien viel länger wurden, z. B. bei *Aconitum Cammarum*, *Onobrychis sativa*, *Sambucus Ebulus*; nicht selten aber unterschieden sie sich in dieser Beziehung nicht von denen der freien Nachbarn, z. B. *Eupatorium cannabinum*, *Gratiola officinalis*, *Lythrum Salicaria*, *Sinapis nigra* (die zwei letzteren entwickelten sich bis zur vollständigen Entfaltung der Blüten), *Vitis vinifera*, *Syringa vulgaris*, *Salisburia Adiantifolia*. — Bisweilen blieben die Internodien unter diesen Verhältnissen sogar kürzer, z. B. *Delphinium elegans*, *Phytolacca decandra*, welche ebenfalls bis zur Blütenbildung heranwuchsen, aber bei gleicher Zahl der Internodien um das Drittheil kleiner blieben.

Was endlich den Einfluss des Lichtes auf die vollständige Ausbildung der Blätter anbelangt, so ist mir keine Pflanze bekannt geworden, bei welcher, wenn sie im Dunkel bleichsüchtig geblieben war, sich ihre Blätter normal ausgebildet hätten. Bei den im Dunkel aufgezogenen Keimpflänzchen von *Pinus Pinea*, ferner bei den in steinernen Krügen herangewachsenen Zweigen von *Pinus sylvestris*, *Abies et Larix* unterschieden sich wohl die Blätter hinsichtlich ihrer Grösse nicht von denen im freien herangewachsenen Keimpflänzchen und Zweige, aber sie zeigten auch keine andere Erscheinung der Bleichsucht. — So wie wir gesehen haben, dass weder das Bleichsein, noch das Missverhältniss im Wachsthum von Stengeln und Blättern der im Dunkel vegetirenden Pflanzen eine allgemeine Erscheinung ist, ebenso verhält es sich mit der Verholzung solcher Pflanzen ¹⁾.

¹⁾ Senebier stützte auf die Ansicht, dass sich die Pflanzen nur unter dem Lichteinflusse verholzen, seine Theorie über die Chlorophyllbildung. Indem er nämlich meint, dass die Kohle unter besonderen Umständen nicht mit einer schwarzen, sondern mit einer tiefblauen Farbe erscheine, schliesst er so: Da unter Einwirkung des Lichtes

Es muss aber erwähnt werden, dass in dieser Beziehung nur die Erscheinungen an jenen bleichsüchtigen Pflanzen zur Grundlage weiterer Schlüsse benützt werden können, die isolirt und ganz vom Lichte abgeschlossen vegetiren, da die Ansicht allgemein verbreitet ist, dass die Nahrungssäfte, bevor sie als Bildungssäfte an irgend einer Stelle der Pflanze verwendbar sind, zuerst in den Blättern unter dem Einflusse des Lichtes assimilirt werden müssen. Um daher einen sicheren Schluss ziehen zu können, genügt es nicht, einen Zweig von einer sonst in normalen Verhältnissen vegetirenden Pflanze, oder selbst eine ganze Pflanze, in deren Nachbarschaft sich andere, insbesondere derselben Species befinden, vom Lichte abzuschliessen, da im letzten Falle die Wurzeln der Versuchspflanze mit denen einer Nachbarpflanze verwachsen und jene von dieser ernährt werden könnte. Aus gleicher Ursache darf man auch nicht die verholzten Rhizome als Grundlage weiterer Schlüsse benützen, da das Materiale ihres Körpers vielleicht in den Blättern der von ihnen gebildeten Schösse assimilirt wurde. Um frei von jeder Einwendung zu sein, ist es ferner nicht rathsam, die Pflanzen erst dann, wenn sie schon ziemlich herangewachsen sind, an einen dunklen Ort zu bringen, weil hier durch Resorption an gewissen Stellen das Materiale für die Neubildung an irgend einer andern Stelle aufgebracht werden könnte¹⁾. Am besten thut man, wenn man sich die Versuchspflanzen im Dunkel aus Samen zieht, wozu sich insbesondere die von *Phaseolus multiflorus* eignen. Die Zellen der unteren Internodien der bleichsüchtigen Pflanzen zeigten sich eben so verholzt wie bei grünen Exemplaren.

auf die Pflanzen, wie sich aus vergleichenden Analysen bleichsüchtiger und grüner Blätter ergibt, durch Zersetzung der Kohlensäure die Zufuhr einer grösseren Quantität von Kohle erfolgt, so ergibt sich das Grün als eine Mischfarbe von dem Blau dieser Kohle und von dem den bleichsüchtigen Pflanzen eigenen Gelb. L. c. 4. Abhandlung, pag. 123 und Physiol. végét. IV. Genève, 1800.

¹⁾ Von vier fast einen Fuss^l langen Topfpflanzen von *Phaseolus multiflorus* wurden zwei entblättert und zwei unversehrt in's Dunkle gestellt. Die entblätterten wuchsen rasch zu nicht ganz 3 Fuss Länge, während die zwei unversehrten Pflänzchen sich nur verhältnissmässig unbeträchtlich verlängerten. Von diesen entfärbten sich die Blätter bei dem einen Exemplar nach 10, bei dem andern erst nach 14 Tagen, worauf bald der Tod derselben folgte. Werden blos einzelne Blätter oder blosse Abschnitte derselben dem Lichteinflusse entzogen, so bleiben sie grün.

Überblicken wir nun das bisher Gesagte, so verdient vor allem Anderen das zweifellose Factum von der Assimilationsfähigkeit der im Dunkel wachsenden Pflanzen die vollste Berücksichtigung.

Das Materiale, woraus die Pflanzen den grössten Bestandtheil ihres Leibes aufbauen, wird bekanntlich von der Kohlensäure geliefert. Diese muss aber, um zur Bildung von Kohlenhydraten verwendet zu werden, in Kohlenoxyd und in Sauerstoff zerlegt werden. Zahlreiche Versuche älterer Pflanzenphysiologen haben gezeigt, dass die Zerlegung von Kohlensäure nur von grünen Pflanzentheilen, wenn sie dem Lichteinfluss ausgesetzt sind, bewerkstelliget werde. — Der Assimilationsprocess ist also nach den Resultaten dieser Versuche von der Gegenwart von Chlorophyll und vom Sonnenlichte abhängig.

Aber auch die im Dunkel vegetirenden Pflanzen wachsen, ja sie wachsen nicht selten innerhalb derselben Zeit in einem viel grösseren Masse, als wenn sie der Einwirkung des Lichtes preisgegeben wären. Auch ihre Zellwände bestehen aus Cellulose, die sich auch nur aus Kohlensäure bilden können. — Eben so wuchsen bei dem oben angeführten Versuche mit *Solanum tuberosum* die Knollen, obwohl ein grosser Theil der Stengel und alle Blätter entfernt worden waren. — Es lässt sich hieraus mit der grössten Sicherheit folgern, dass auch die im Dunkel wachsenden Pflanzen die Kohlensäure zu zerlegen im Stande sein müssen ¹⁾.

Mit dieser Wahrheit ist aber auch die Unrichtigkeit der Ansicht, dass das Chlorophyll zur Zerlegung der Kohlensäure mit in einem ursächlichen Zusammenhange stehe, evident dargethan. Zur Assimilation und zum Wachstum der Pflanzen ist weder Licht noch Blattgrün erforderlich.

Dass die in ihren natürlichen Verhältnissen Chlorophyll bildenden Pflanzen, wenn sie sich unter Umständen entwickeln, in denen sie bleichsüchtig werden, krank sind, das ist gewiss. Es fragt sich

¹⁾ Die directen Versuche, die ich in dieser Beziehung mit Keimpflänzchen von *Phaseolus multiflorus* im Dunkel anstellte, sind leider nicht zum Abschlusse gekommen; sie erfordern die grösste Accuratesse und können nur mit Unterstützung eines höchst gewandten Chemikers mit der erforderlichen Umsicht angestellt werden. Mein hochverehrtester Freund, Dr. Karl von Thann, wird bei seiner Rückkehr aus Heidelberg sich bei der Wiederholung dieser Versuche betheiligen, deren Resultate wir sodann der verehrten Classe vorlegen werden.

aber, ob der Mangel an Chlorophyll, der die Erscheinung des Bleichseins bedingt, auch die Ursache der Krankheit ist, und ob diese nicht vielmehr einen anderen Grund hat. — Die Erscheinungen an den im Dunkel gezogenen Pineenpflänzchen, welche sich in gar nichts von den unter dem Lichteinflusse herangewachsenen unterscheiden, liessen vermuthen, dass der Mangel von Chlorophyll auch da ganze Wesen der Bleichsucht bedinge. — Nach dieser Ansicht müsste die Krankheit gehoben werden, wenn die Pflanzen zur Chlorophyllbildung durch irgend eine Kraft angeregt würden, welche auf die weitere Thätigkeit der Zellen, wie sie sich bei bleichsüchtigen Pflanzen äussert, nicht sehr umstimmend einwirkt. Dies können wir aber bewerkstelligen, wenn wir z. B. Samen von *Phaseolus multiflorus* an einem schwach erleuchteten Orte oder unter dem Einflusse von Lampenlicht keimen lassen. Die Pflanzen werden grün, unterscheiden sich aber durch ihren ganzen Habitus kaum von den im völligen Dunkel gezogenen. — Dasselbe war der Fall mit den Keimpflänzchen von *Pinus sylvestris*, bei denen die sechs grünen von den vier bleichen eben nur durch die Farbe verschieden waren. Ferner bildeten Zweige von *Sedum spurium*, welche ich in einem Trinkgefässe einen vollkommen dunklen Ort in's warme Haus stellte, bleiche geile Triebe, deren ziemlich kleine Blättchen aber lebhaft grün gefärbt waren. — Es geht hieraus klar hervor, dass bei diesen und ähnlich sich verhaltenden Pflanzen mit der Erscheinung des Bleichseins das Wesen der Krankheit keineswegs gehoben wird.

Keimpflanzen von *Phaseolus multiflorus* wuchsen im Dunkel, wenn auch die sich bildenden Blätter (deren Lamina verhältnissmässig klein bleibt, deren Stiele aber um mehr als die Hälfte grösser werden als bei gesunden Pflanzen), bald nach ihrem Auftreten entfernt wurden, in sechs Internodien zu einer Länge von fünf Fuss heran. Das zwischen den Kotyledonen und dem ersten Blattpaare gelegene Internodium erreichte, besonders wenn ich die Terminalknospe frühzeitig genug entfernte, nicht selten eine Länge von zwei Fuss. — Um zu erfahren, wie sich die Ausbildung der Pflanze unter dem grösstmöglichen Lichteinflusse verhielte, löste ich von mehreren Bohnen, nachdem ich sie durch einen halben Tag in Wasser aufgeweicht hatte, die Samenhaut ab, steckte, um das Knöspchen gleich dem Lichteinflusse Preis zu geben, zwischen die Kotyledonen eine Lage Löschpapier und hing sie in mit Wasser

gefüllten Trinkgefässen so auf, dass sie sich sammt der Radicula zur Hälfte immer unter Wasser befanden. So wurden sie in den heissen Junitagen täglich durch 14 Stunden der Einwirkung der directen Sonnenstrahlen, in der Dämmerungszeit dem zerstreuten Tageslichte, von 8 Uhr Abends aber bis 4 Uhr Morgens dem Lampenlichte ausgesetzt. Nach 12 Tagen streckte sich bei den sechs Versuchspflänzchen das erste Internodium nicht mehr, obwohl es nur $\frac{1}{2}$ —1 Zoll Länge erreicht hatte. Die Länge der Zellen war bei den ausgewachsenen Internodien dieser und der bleichsüchtigen Pflanzen ganz dieselbe.

Da wir gesehen haben, dass dieses Missverhältniss im Wachthume des Stengels und Blattes bei bleichsüchtigen und bei gesunden Pflanzen nicht durch den Mangel oder die Gegenwart von Chlorophyll bedingt ist, so fragt es sich, was ist denn die Ursache dieser auffallenden Erscheinung? — Wir haben gesehen, dass die Pflanzen auch im Dunkel assimiliren. Wir haben ferner gesehen, dass, während manche Pflanzen in diesen abnormen Verhältnissen in ihren Functionen gar nicht gestört werden, z. B. die Pinienkeimlinge, bei anderen eine solche Störung häufig durch ein Zartbleiben der Zellwandungen oder durch ein Missverhältniss in der Ausbildung des Stengels und Blattes in die Erscheinung tritt. Wir wissen, dass keine Pflanze aus sich selbst Kraft erzeugen kann, sondern dass ihr diese von Aussen her, von der Sonne zukommen muss. Die Sonne spendet aber ihre lebendigen Kräfte in Form von Äthersehwingungen, die sich uns als Licht und Wärme oder durch ihre chemischen Wirkungen manifestiren. Ferner ist bekannt, dass manche Pflanzen nur im Dunkel unter der Erde, andere nur im Schatten und wieder andere nur unter der Einwirkung der directen Sonnenstrahlen am besten gedeihen, und dass sie unter anderen Verhältnissen kränkeln. — Es finden diese Verschiedenheiten, wie ich glaube, darin ihre Erklärung, dass, obwohl alle Pflanzen nur durch die ihnen von Aussen her zufließenden Kräfte leben und wachsen können, sie sich insbesondere dadurch unterscheiden, dass zum bestmöglichen Gedeihen die einen dieses, die andern jenes Quantum Kräfte bedürfen. Jede Zelle ist ein Organismus, dessen Thätigkeitsäusserungen der Zufuhr lebendiger Kräfte entsprechen, und diese ändern sich zugleich mit jenen. Es darf uns daher durchaus nicht wundern, wenn sich die Producte der Pflanzen nach ihren

äusseren Verhältnissen richten, — und hierin haben wir auch die Ursache der Bleichsucht zu suchen, von der das Bleichsein nur eine und zwar eine eben so wenig constante Erscheinung ist als das Missverhältniss im Wachstume des Stengels und Blattes, oder das Zartbleiben der Zellwandungen. — So wie die Thätigkeitsäusserungen derselben Pflanze verschieden sind nach den verschiedenen äusseren Verhältnissen, und eben so verschieden sind bei den verschiedenen Pflanzen unter denselben äusseren Bedingungen, so verhalten sich auch die verschiedenen Organe einer und derselben Pflanze verschieden unter gleichen äusseren Verhältnissen. So ist bei den jungen Zellen des Stengels von *Phaseolus multiflorus* die Lebensenergie besonders auf Zellvermehrung gerichtet¹⁾, wenn sich die Pflanze im Dunkel befindet, d. h. wenn eine geringe Quantität lebendiger Kraft auf sie einwirkt, und ihre Thätigkeit wird fast plötzlich eine andere, wenn die Pflanze in's Sonnenlicht kommt. — Der Schaft von *Allium Porrum* wächst nur in den untersten und durch Zellneubildung nur in dem von den Zwiebelschuppen und dem Boden bedeckten Antheil, und sein Längenwachsthum wird alsobald sistirt, wenn man denselben von den Schuppen befreit, der Einwirkung des Lichtes blosslegt. Stellte ich nämlich die mit möglichster Schonung der Wurzel ausgegrabene Pflanze, bei der ich den Schaft bis auf den untersten Theil blossgelegt hatte, in einem mit Wasser gefüllten Trinkgefässe dem Sonnenlichte aus, so wuchs sie nur unbedeutend und wahrscheinlich blos nur mehr durch Streckung der schon gebildeten Zellen, während sich zum Beweise, dass die Pflanze in diesem untersten Schafttheile, dem nun erloschenen Zellbildungsherde noch lebte, in dessen Zellen Chlorophyll bildete²⁾.

¹⁾ Die Internodien von *Phaseolus multiflorus* wachsen, wie wiederholte Messversuche mittelst eines Auxanometers (Griesbach, Archiv für Naturgeschichte von Wiegmann, 1833, I. Bd., pag. 267) und mikroskopische Untersuchungen gezeigt haben, nur in ihrem obersten Theile durch Zellvermehrung, unterhalb durch Streckung der Zellen, während bei diesen in den noch weiter nach abwärts gelegenen Theilen des Internodiums die Veränderung nur auf die Wandverdickung gerichtet ist.

²⁾ Hieraus erkläre ich mir auch, warum sich der Schaft, wenn man ihn an seinem Standorte belassend, nur an einer Seite blosslegt, vom Grunde aus gegen diese entblösste Seite hinneigt, — weil nämlich nur auf der entgegengesetzten Seite Zellvermehrung erfolgt. (Vide Decandolle, Memoire de la société d'Agriculture, 1809, II. p. 104. — Von Mohl, Vegetabilische Zelle, 1831, pag. 140.)

Ganz anders als im Stengel verhalten sich die Zellen der Blätter. Diese bleiben im Dunkel klein und unentwickelt und sind häufig nur als Schuppen vorhanden, fangen aber gleich an sich zu entwickeln, wenn auf sie ein Kraftquantum wirkt, das nicht nur zur Chlorophyllbildung, sondern das auch hinreicht, um die Zellvermehrung des Stengels zu hemmen, und damit schwindet auch nicht nur die in ihrer Bedeutung untergeordnete Erscheinung der Krankheit, das Bleichsein, sondern die Bleichsucht selbst.

So wie aber die Pflanzen kränkeln, wenn auf sie ein zu geringes Quantum Ätherwellen wirkt, ebenso verhält es sich im entgegengesetzten Falle. Es ist eine bekannte Erscheinung, dass sich bei Pflanzen, die durch ihre Natur an schattige Standorte gewiesen sind, wenn sie der Sonnenhitze ausgesetzt werden, nicht nur der Stengel, sondern auch die Blätter kümmerlich entwickeln. Die Gärtner suchen den Grund hierfür in der zu grossen Trockenheit des Bodens. Es mag dies allerdings mit ein wichtiger Factor zur Hinderung der der Pflanze naturgemässen Entwicklung sein, aber er ist sicher nicht der Einzige. Keimpflanzen von *Phaseolus multiflorus*, die auf oben beschriebene Weise in einem Trinkgefässe aufgezogen wurden, und von denen die einen an einen freien dem Sonnenlichte den ganzen Tag hindurch zugänglichen Ort gestellt wurden, während die andern in der Nähe dem zerstreuten Tageslichte ausgesetzt waren, entwickelten sich selbst bis zur Blütenbildung. Hier war nun die (Luft und) Bodenfeuchtigkeit sicher dieselbe; die im reflectirten Lichte entwickelten Pflanzen waren sehr üppig, die Blätter gross, die Blütenknospen zahlreich, während die im directen Sonnenlichte herangewachsenen in allen Theilen besonders auch in den Blättern viel kümmerlicher entwickelt waren. — Ein Gleiches sahen wir oben bei den dem Lichteinflusse preisgegebenen Kartoffelknollen, die sich zu den im Dunkel entwickelten gerade so verhielten, wie bei *Phaseolus multiflorus* der im Lichte zu dem im Dunkel herangewachsene Stengel.

Aus allen diesem ergibt sich nun klar, dass jede Pflanze zur normalen Entwicklung aller ihrer Theile ein ganz bestimmtes Quantum lebendiger Kräfte bedarf, und dass sie (meist) auf irgend eine Weise sich krankhaft entwickelt, wenn sowohl nach der einen als nach der andern Richtung hin diese Grenze überschritten wird. Hierin mag auch wohl die Erscheinung der häufig so verschiedenen

Länge gleichwerthiger Internodien derselben Pflanzenart ihre Erklärung finden. Bei Stengeln, wo sich die äusseren Verhältnisse ganz oder doch ziemlich constant bleiben, wie z. B. bei Rhizomen, bei bleichsüchtigen Pflanzen, bei im Schatten stehenden Gewächsen, oder wo die Pflanze durch ihre Natur mehr indifferent ist gegen die Einwirkung eines verschiedenen Kraftquantums, wie bei Coniferen, finden wir die Länge der verschiedenen Internodien überhaupt oder doch wenigstens die gleichwerthigen an verschiedenen Ästen und Pflanzen ganz oder fast ganz constant.

Wenn wir nun die verschiedenen im Dunkel sich entwickelnden Pflanzen specieller in's Auge fassen, so ergibt sich, dass viele durch ihre Natur dem Lichteinflusse entzogen sind, und dass die gewaltsam vom Lichte abgesperrten Pflanzen in diesen abnormen Verhältnissen bald mehr bald weniger alterirt werden. Wir haben gesehen, dass sich diese Alteration in der Regel durch Bleichsein und Zartwandigkeit der Zellen des Stengels kund gibt, dass aber anderseits auch im Dunkel entwickelte Pflanzen in den Blättchen Chlorophyll bilden und sich die Zellwände des Stengels verdicken können. Ebenso haben wir gesehen, dass das Missverhältniss im Wachstume des Stengels und der Blätter keine constante Erscheinung ist. Versuche haben uns gelehrt, dass die Erscheinung des Bleichseins durch die Einwirkung einer gewissen Menge von Ätherwellen gehoben werden kann, ohne dass deshalb die Pflanze sich normal entwickelt, und endlich haben wir an *Pinus Pinea* eine Pflanze kennen gelernt, welche sich im Dunkel so gut wie unter der Einwirkung des Lichtes entwickelt. Aus diesen Erscheinungen folgt ausser dem oben angeführten Satze, dass die Pflanzen meist ein ganz bestimmtes Quantum lebendiger Kräfte zu ihrer normalen Entwicklung bedürfen: dass die Erzeugung bestimmter Producte von Seite der Pflanzenzellen nicht so sehr von der Qualität, sondern vielmehr von der Quantität der zur Wirkung kommenden Ätherwellen abhängt. Hiermit aber soll nicht behauptet sein, dass nicht bei gewissen Pflanzen zur Erzeugung gewisser Producte nur Ätherwellen von bestimmter Länge vorzüglich oder ausschliesslich geeignet sind, während dasselbe andere Pflanzen mit Ätherwellen von anderer Länge bewerkstelligen. Im Allgemeinen aber zweifle ich nicht, dass die intensive Wirkung des gelben Antheils des Spectrums auf die Energie des Zellebens nicht von der specifischen Eigenthümlichkeit dieser Strahlen, sondern nur

von ihrer verhältnissmässig grossen Quantität an dieser Stelle abhängt, und dass diese sich vermindernde Wirkung nach beiden Seiten hin durch die abnehmende Menge der auf einen bestimmten Punkt fallenden Lichtstrahlen bedingt wird. Ich zweifle also nicht, dass, wenn wir auf eine bestimmte Pflanze blaues Licht von derselben Intensität einwirken lassen wie gelbes, sich auch z. B. die gleiche Chlorophyll erzeugende Kraft derselben herausstellen wird. Ausgenommen hiervon scheinen im Allgemeinen die Strahlen der grössten und kleinsten Wellenlänge ihrer anderweitigen Wirkungen wegen zu sein. Von zwei Partien bleicher Kresspflänzchen färbte sich diejenige, auf die directes Sonnenlicht einwirkte, später, als wenn dasselbe früher durch ein mit diluiter Chininlösung gefülltes Gefäss mit horizontalem Boden, das wieder mit mehreren dicken Glasplatten bedeckt war, durchgehen musste, wobei aber bekanntlich ein grosser Theil der Wärme und die chemischen Strahlen absorbirt werden. Vielleicht sind für den vegetativen Process mancher Zellen die Wärmestrahlen insbesondere deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil sie leicht ihre lebendige Kraft auf die Molecüle des Körpers überzutragen im Stande sind, wodurch sie einerseits bei gewissen Pflanzen störend, andererseits erregend auf die Zellenthätigkeit wirken. Daher erklärt sich die von Guillemin als bekannt angeführte Thatsache¹⁾, dass sich bleichsüchtige Blätter im zerstreuten Lichte schneller färben, als wenn sie dem directen Sonnenlichte ausgesetzt sind, — was aber kaum für alle Pflanzen Geltigkeit hat. —

Bei allen diesen Beobachtungen über die gleichen und verschiedenen Wirkungen der Sonnenstrahlen ist aber immer im Auge zu behalten, dass diese lebendigen Kräfte bei den specifisch verschiedenen Pflanzen in ebenso verschiedenen Organismen thätig sind, wo mit derselben Grundkraft in ihrer variablen Intensität eine Menge von Wirkungen erzielt werden müssen, die nicht erreicht werden, wenn in einem gewissen Falle innerhalb einer bestimmten Zeit einerseits ein zu grosses, andererseits ein zu kleines Mass der Kräfte wirksam ist, welche Wirkungen aber wiederum andere bedingen.

1) Guillemin, l. c. pag. 161: „Les feuilles des végétaux étiolés verdissent, comme on le sait, plus promptement quand elles sont exposées à la lumière diffuse de l'atmosphère, que lorsqu'elles sont frappées par les rayons solaires directs.“

Die Resultate der vorstehenden Versuche, Betrachtungen und Schlüsse finden im Grossen ihre vollkommene Bestätigung in der geographischen Verbreitung der Pflanzen, so wie anderseits die verschiedenartigen Erscheinungen in dieser Beziehung in jenen ihre Erklärung finden. Wir sehen hieraus, dass gewisse Pflanzen, wie die Coniferen vermöge ihrer Natur geeignet sind, sich in die verschiedenartigsten äusseren Verhältnisse zu fügen, daher ihre grosse Verbreitung nach Zeit und Ort, während andere im Gegensatze auf bestimmte Localitäten angewiesen sind, und deren Functionen, wenn sie unter veränderte Verhältnisse kommen, bald in dieser, bald in jener Richtung besonders gestört werden.

Wir haben gesehen, dass die im Dunkel heranwachsenden Pflanzen durch die lebendige Kraft der unsichtbaren Sonnenstrahlen zur Assimilation der rohen Nahrungssäfte und zum Wachstume befähiget werden, und zwar nach der Verschiedenheit der Pflanzen in mehr weniger vollkommenem Grade. Es wäre somit wahrlich sonderbar, wenn dieselben Kräfte bei den verschiedenen Pflanzen nicht auch zu mehr weniger vollständigen Ausbildung des Chlorophylls hinreichen sollten. Die Vermuthung Schleiden's¹⁾, dass sich in allen bleichsüchtigen Pflanzen die Grundlage des künftigen Chlorophylls vorfinde, wird, von dieser Seite betrachtet, zur nothwendigen Wahrheit, und das Grünwerden mancher im Dunkel herangewachsener Blätter erscheint nicht mehr als Ausnahme von einem allgemein giltigen Gesetz.

Behandelt man bleichsüchtige Blätter mit concentrirter Schwefelsäure, so werden dieselben ähnlich spanngrün gefärbt, wie wenn chlorophyllhaltige Pflanzentheile auf gleiche Weise behandelt werden. Sachs schliesst aus dieser von ihm angegebenen Thatsache l. c. pag. 9, dass die Schwefelsäure auf das farblose Chlorophyll als einfaches Oxydationsmittel wirkend, die grüne Färbung desselben bedingt habe. — Der Umstand, dass bei dieser Behandlung die spanngrüne Farbe sich nur in den Zellen zeigt, die unter dem Einflusse des Lichtes Chlorophyll gebildet hätten, macht es allerdings fast zweifellos, dass die Schwefelsäure hier in demselben Stoffe die Färbung hervorgerufen habe, der sonst unter günstigen Umständen zu Chlorophyll geworden wäre. Aber abgesehen davon,

¹⁾ Schleiden, Grundzüge d. w. Botanik. 3. Auflage, 1849, pag. 196.

dass sich das Chlorophyll in der Schwefelsäure nicht unverändert auflöst, — es wird spanngrün gefärbt und zeigt nicht, wie die weingeistige Lösung die Erscheinung der inneren Dispersion, — und angenommen, dass durch die Schwefelsäure aus bleichen Blättern dasselbe Product geliefert wird wie durch gleiche Behandlung von grünen, so ist hiermit höchstens nur factisch erwiesen, was sich als nothwendige Schlussfolgerung schon aus den obigen Betrachtungen ergab, dass nämlich schon in den bleichsüchtigen Blättern die Anlage des künftigen Blattgrüns als sogenanntes weisses Chlorophyll (!) vorhanden sei, welches mit Schwefelsäure behandelt ein gleichgefärbtes (auch gleiches?) Product liefert, wie fertiges Chlorophyll unter Einwirkung derselben Säure. Aber Herr Sachs geht sicher zu weit, und erklärt sich den Vorgang etwas gar zu einfach, wenn er der Schwefelsäure blos eine oxydirende Wirkung zuschreibt, dieselbe Wirkung, welche in der Pflanze durch activen Sauerstoff bewerkstelliget werden soll.

Ich konnte mich, abgesehen davon, dass das in bleichen Blättern durch Behandlung mit Schwefelsäure entstandene Product zweifelsohne sehr verschieden ist von dem unveränderten Chlorophyll, aus physiologischen Gründen — die Chemie lässt uns hier total im Stiche — mit dem Vergleiche von weissem (!) und fertigem Chlorophyll einerseits, und anderseits von Indigoweiss und Indigoblau ¹⁾, aus jenem leicht durch Schwefelsäure gebildet, von jeher nicht befreunden. Die Pflanze ist im Allgemeinen ein desoxydirender Organismus, und daraus erklärt sich, dass das Indigo in der lebenden Pflanze sich in einem Zustande geringer Oxydation als Indigoweiss findet, welches sich erst dann weiter oxydirt und blau wird, wenn es der Sphäre der Zellenthätigkeit entrückt ist ²⁾.

Ebenso verhält es sich, wie ich gezeigt habe, mit dem blauen Farbstoffe der *Passiflora*-Beeren ³⁾. Anders ist es mit der farblosen

¹⁾ Schleiden, Grundzüge d. w. Bot. 3. Auflage 1849, 1, pag. 197. — Schacht, Anat. u. Physiol. 1, pag. 65. — Dr. Jul. Sachs, l. c. p. 13.

²⁾ Die Behauptung von Clamor Marquart (die Farben der Blüten, Bonn 1855), dass das Chlorophyll von Schwefelsäure blau gefärbt werde, ist allerdings falsch (Schleiden, Grundzüge, 3. Auflage, pag. 196), doch scheint die dieser Angabe zu Grunde liegende Beobachtung richtig zu sein, wo aber die Erscheinung nicht von einer Farbenveränderung des Chlorophylls, sondern vom oxydirten Indigo bedingt wurde.

³⁾ Jos. Boehm, Physiol. Untersuchungen über blaue *Passiflora*-Beeren. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissenschaften in Wien, Bd. 22, 1857, pag. 19.

Grundlage des Blattgrüns das gerade durch lebhaft thätige Zellen zu Chlorophyll wird. Schon dieses allein beweiset, dass der Process des Grünwerdens der ungefärbten Grundlage des künftigen Chlorophylls bei Einwirkung von Schwefelsäure nicht so einfach ist, wie sich ihn Sachs vorstellt. Aus diesem Verhalten der noch ungefärbten Grundlage des künftigen Blattgrüns gegen Schwefelsäure und aus dem Umstande, dass die Curve für die Chlorophyll erzeugende Kraft der Lichtstrahlen mit ihrer Intensität und zugleich mit der Curve für die Sauerstoff ausscheidende Kraft derselben parallel läuft, hält es nämlich Herr Sachs für sehr wahrscheinlich, dass die Entstehung des Chlorophylls mit der Ausscheidung von Sauerstoff causal zusammenhänge, und meint, dass falls dieses richtig sei, das Chromogen des Chlorophylls grün werde, wenn Sauerstoff ausgeschieden wird. Wir haben aber gesehen, dass auch die bleichsüchtige Pflanze Kohlensäure zerlegen muss, und es könnte somit, wenn die Sache so einfach wäre, gar keine bleichsüchtige (oder besser bleiche bleichsüchtige) Pflanze geben. Herr Sachs sagt aber ferner: „Das Einzige was dieser unter dem Lichteinflusse ausgeschiedene Sauerstoff von dem in den Pflanzen ohnehin enthaltenen atmosphärischen Sauerstoff voraus hat, ist sein erregter Zustand, er ist activer Sauerstoff, Ozon.“ — Herr Sachs glaubt nun die Theorie der Chlorophyllbildung so ausdrücken zu können: „Wenn das im Plasma vertheilte noch farblose Chromogen mit activen Sauerstoff, Ozon in Berührung kommt, so geht es in grünen Farbstoff über“ (l. c. p. 8). Woher vorerst Sachs weiss, dass die Pflanzen unter dem Lichteinflusse Ozon aushauchen, ist mir unbekannt. Versuche, welche hierüber von mir, und von meinem hochverehrten Freunde Dr. Karl von Thann im Laboratorium des Herrn Hofrathes Prof. v. Bunsen in Heidelberg angestellt wurden, lieferten, wie es wohl nicht anders zu erwarten war, ein vollkommen negatives Resultat, da Ozon im statu nascendi alsogleich zur Oxydation des Pflanzengewebes verwendet werden würde. — Herr Sachs meint, dass seine Theorie der Chlorophyllbildung hinreiche, um die schnelle Färbung vergeilter Pflanzen, wenn sie dem Lichte ausgesetzt werden, einerseits, und das Auftreten des Blattgrüns ohne Lichteinwirkung anderseits begreiflich zu machen. — „Wenn in der Baumkrone Ozon in grosser Menge entsteht, warum sollte sich solches nicht durch die Inter-cellulargänge und Luftgänge bis hinab in die dunklen Räume des

Holzkörpers ziehen, um das im Plasma der Holzzellen enthaltene Chromogen zu oxydiren und zum Grünwerden zu bringen? Ausserdem haben ja fette und ätherische Öle die Fähigkeit, den sie berührenden Sauerstoff zu ozonisiren. Beide sind im Keime der Pinie in grosser Menge vorhanden.“

Haben wir uns gleich durch die oben angeführten Versuche und Schlüsse die wahre Ursache der Chlorophyllbildung überhaupt und sein Auftreten in bleichsüchtigen noch rechtzeitig¹⁾ dem Lichte ausgesetzten Pflanzen klar gemacht, so halte ich es doch nicht für überflüssig, einige directe Versuche, die ich in Betreff der obigen Hypothese von Sachs anstellte, anzuführen, weil, wie schon erwähnt, es ja möglich wäre, dass derselbe Effect (hier die Chlorophyllbildung) von verschiedenen Ursachen erzielt werden könnte. Gegen die Theorie von Sachs sprechen von vorne herein schon zwei sehr wichtige Umstände. Es werden nämlich einerseits Blätter im Dunkel grün, bei denen man durchaus kein ozonisirendes Fett auffinden kann, während andere, wo sich dieses häufig findet, z. B. Zweige von *Ligustrum*, Keimpflänzchen der Kresse, *Rhicinus*, *Amogdalu* im Dunkel bleich blieben. Andererseits wäre nicht abzusehen, warum sich nicht in jeden Zweig, der sich abgeschlossen vom Lichte entwickelt, das anderweitig ausgeschiedene Ozon verbreiten und sein farbloses Chlorophyllchromogen oxydiren sollte. Setzt man Blätter oder Blattabschnitte bleichsüchtiger Pflanzen der Einwirkung des Lichtes aus, so werden sie bald grün; dies geschieht nicht, wenn man sie früher mechanisch durch Druck, oder durch Abbrühen tödtet. Bringt man dergleichen frische oder auf obige Weise getödtete Blättchen einer bleichsüchtigen Pflanze im Dunkel oder unter Lichteinfluss in ozonhältige Atmosphäre, z. B. in die Zerlegungsproducte des Wassers durch den galvanischen Strom etc., so verändern sie anfangs ihre gelbliche Farbe wenig, werden aber bald völlig gebleicht. Lässt man Pflänzchen in einer ozonhältigen Luft im Dunkel keimen²⁾, so bleiben sie bleichsüchtig. Geschieht

¹⁾ Wenn die Pflanzen zu lange im Dunkel gestanden sind, so sterben sie, dem Lichteinflusse ausgesetzt, entweder ganz oder theilweise (die unteren Blätter) sehr bald, oder sie erholen sich nur allmählich und färben sich erst nach längerer Zeit.

²⁾ Um mir Ozon für die Versuche mit im Topfe im Dunkel keimender Pflanzen zu erzeugen, stellte ich eine unten abgeschnittene Medizinflasche auf einer Tasse, auf welche ich ein Stück Phosphor zur Hälfte mit Wasser bedeckt legte, dem

dieses im Lichte, so zeigen sie, wenn der Ozongehalt gross genug war, nur einen leisen Stich in's Grün. Setzt man endlich grüne Blätter der Einwirkung von Ozon aus, so werden sie gebleicht. Behandelt man die längere Zeit (natürlich nicht bis zur vollkommenen Zerstörung) der Einwirkung von Ozon ausgesetzten bleichen Blätter, gleichgiltig, ob sie früher bleichsüchtig oder grün waren, mit Schwefelsäure, so werden sie wieder spanngrün gefärbt. — Es genügt von den zahlreichen Versuchen, die ich in dieser Beziehung angestellt habe, das Vorstehende, um zu überzeugen, dass Ozon unter keiner Bedingung im Stande ist, das Chromogen des Chlorophylls in dieses selbst überzuführen.

Es ist bekannt, dass sich in den Kartoffeln, Bohnen, Rüben etc. wenn sie dem Lichte ausgesetzt werden, Chlorophyll bildet; es ist aber auch bekannt, dass diese Pflanzentheile viel länger brauchen, um sich grün zu färben, als bleichsüchtige Blätter. — Wenn man Präparate von bleichen Kartoffelknollen mit Schwefelsäure behandelt, so lösen sich die Amylunkörner auf, es entsteht keine spanngrüne Farbe und man findet auch keine Spur eines Chlorophors, welcher sich bei anderen bleichsüchtigen Blättern entweder als wolkenartige Masse oder schon als Überzug von festen Körperchen des Zellinhaltes findet, ähnlich wie wir ihn an grünen mit Alkohol behandelten Blättern durch verschiedene Reagentien darstellen können. Dieser Chlorophor, welchen Sachs, der meine Arbeit nicht gekannt zu haben scheint, Leukophyll genannt hat, hat mit dem in Alkohol und Äther löslichen Chlorophyll gar nichts gemein, obwohl nicht zu leugnen ist, dass er ihm genetisch vorausgeht und wobei es natürlich ganz gleichgiltig ist, ob er sich vor der die eigentliche Chlorophyllbildung einleitenden Einwirkung in Körner geballt hat oder nicht. — Es ist ersichtlich, wie wenig dieses Factum mit der Ansicht stimmt, dass bei der Chlorophyllbildung der Vegetationsprocess der Zellen keinen Antheil nimmt, und dass das Licht nur durch seine Sauerstoff ausscheidende Wirkung chlorophyllbildend wirke. Es ist wohl überflüssig zu erwähnen, dass Kartoffelknollen in ozonhaltiger

Sonnenlichte aus, und leitete durch ein Kautschukrohr, in welches ich den Hals der Flasche einband, das gebildete Ozon zur Versuchspflanze. — Für den Versuch mit Ozon unter Einwirkung des directen oder zerstreuten Sonnenlichtes stellte ich den Topf gleich unter die Flasche neben den Phosphor, oder benützte statt des Phosphors Terpentinöl. — Die Reaction auf Ozon wurde mit Jodkalium und Stärke vorgenommen.

Atmosphäre, selbst wenn sie dem Lichte ausgesetzt werden, sich nicht grün färben. —

Aus allem bisher Gesagten ergibt sich, dass jedes Wachstum der Pflanzen und die Erzeugung aller ihrer Lebensproducte durch eine von den Sonnenstrahlen bedingte Thätigkeit der Zelle vermittelt wird, und dass die verschiedenen Pflanzenarten sich in dieser Beziehung insbesondere dadurch unterscheiden, dass die einen hierzu dieses, die anderen jenes Quantum lebendiger Kräfte bedürfen, — was mit deren geographischen Verbreitung innig zusammenhängt.

Was die von mir beschriebene Lageveränderung der Chlorophyllkörner bei den Crassulaceen im directen Sonnenlichte anbelangt, so war es mir leider auch seither aus Mangel der hierzu nothwendigen Apparate nicht möglich mit physikalischer Genauigkeit zu bestimmen, durch welche Art von Sonnenstrahlen sie bewerkstelliget wird. Es ist hierzu vor allem ein geeignetes Locale, ein Heliostat mit einem Uhrwerk, ein Prisma aus Bergkrystall und eines aus Steinsalz erforderlich, — Dinge, die nur dem Beherrscher eines physikalischen Cabinetes zu Gebote stehen. Übrigens gebe ich, was ich habe.

Von gefärbten Gläsern lassen nur die rothen und blauen Kupfergläser vollkommen homogenes Licht durch. Bei Anwendung blauer Gläser erfolgte die Gruppierung der Chlorophyllkörner ziemlich schnell; es bedurfte aber einer mehrstündigen Einwirkung, bis man ein Gleiches bei den unter der rothen Glasplatte befindlichen Blättern bemerkte ¹⁾.

Um die Wirkung der Wärmestrahlen zu erfahren, liess ich auf geeignet gestellte und vor dem Vertrocknen geschützte Blätter die Strahlen eines schwarzen geheizten eisernen Ofens wirken, bekam aber hierbei ein negatives Resultat. Anders stellte sich die Sache heraus, wenn ich mittelst einer im Kamine berussten Glasplatte mit den Sonnenstrahlen operirte, wo nach zwölfstündiger Einwirkung die Gruppierung der Chlorophyllkörner ganz deutlich war. Aus diesen

¹⁾ Ich legte die zum Experiment gewählten Blätter von *Sedum spurium* auf eine Lage von Löschpapier, welches von Wasser, das ich durch einige Stückchen Eis frisch erhielt, befeuchtet, von der betreffenden Glasplatte bedeckt und immer so gerichtet wurde, dass die Sonnenstrahlen ziemlich senkrecht darauf fielen.

Versuchen ergibt sich schon, dass den chemischen Strahlen jedenfalls nicht ausschliesslich die Fähigkeit, besagte locomotorische Bewegung der Chlorophyllkörner zu bewirken zukommt. Es ist somit natürlich, dass die Erscheinung erfolgt, wenn letztere aus den Sonnenstrahlen dadurch, dass man sie durch eine Lösung von schwefelsaurem Chinin durchgehen lässt, eliminirt. Ob aber, wie es wohl wahrscheinlich ist, auch diese allein das Phänomen hervorrufen können, muss mit besseren Apparaten entschieden werden. — Es scheint also, dass die so auffallende Erscheinung der Lageveränderung der Chlorophyllkörner durch sämtliche Sonnenstrahlen ohne Unterschied ihrer Wellenlänge hervorgerufen werden kann. — Zum Schlusse will ich nur noch bemerken, dass die Lageveränderung auch im Sonnenlichte unter Wasser, welches durch schmelzendes Eis auf eine Temperatur von 3—4° R. gebracht wurde und ebenso erfolgte, wenn man die Versuchsblätter mit Nadeln auf andere Pflanzenblätter befestiget, und durch diese die Sonnenstrahlen durchgehen lässt, oder wenn man sie in Papier einwickelt etc.

Im Stengel von *Sedum Telephium* fand ich die Chlorophyllkörner stets zu Gruppen vereinzelt, und sie kehrten auch nicht an die Wand zurück, wenn man die Pflanze durch vier Wochen und länger in's Dunkle brachte. — In Blättern von abgeschnittenen Zweigen von *Sedum spurium*, die ich in's Dunkle brachte, zeigten sich, wenn selbe abzusterben und sich zu entfärben anfangen, die Chlorophyllkörner ebenfalls in Gruppen geballt. — Endlich erwähne ich noch, dass ich diese Eigenschaft der Gruppierung der Chlorophyllkörner unter Einwirkung des Sonnenlichtes auch bei einer grossen Anzahl von *Saxifraga*-Arten mit fleischigen Blättern beobachtete.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1859

Band/Volume: [37](#)

Autor(en)/Author(s): Böhm Josef Anton

Artikel/Article: [Über den Einfluss der Sonnenstrahlen auf die Chlorophyllbildung und das Wachstum der Pflanzen überhaupt. 453-476](#)