

Über die physiologischen Bedingungen der Chlorophyllbildung.

Von Joseph Boehm.

Berechtigter als irgend ein Inductionsschluss schien bis vor Kurzem der: dass das Ergrünen der Pflanzen eine Lichtwirkung sei; zumal, da die früheren Angaben über das Ergrünen von Pflanzen oder Pflanzentheilen im Dunkel entweder geradezu falsch sind oder, wie über das Ergrünen mancher Keimlinge etc. 1), sich auf ungenügenden Beobachtungen basirend erwiesen.

Wenn man jedoch bedenkt, dass wir über die Umsetzung des Lichtes und der Wärme in die verschiedenen Lebenskräfte der Pflanze keine leise Ahnung haben, dass wir die Abhängigkeit der Chlorophyllbildung vom Lichte nur auf inductivem Wege erschliessen, wenn man ferner erwägt, dass die verschiedenen Pflanzenarten, bei sonst gleichen Verhältnissen so verschiedener Kraftmengen zu ihrer Entwicklung bedürfen, dass die einen am besten im directen Sonnenlichte, die anderen nur im Schatten, die einen bei hoher, die anderen hingegen nur bei einer viel niederen Temperatur gedeihen und dass alle Lichtstrahlen trotz ihrer verschiedenen Wellenlängen zur Chlorophyllbildung anregen: so erscheint es bei vorurtheilsfreier Überlegung andererseits a priori nicht nur möglich, sondern sogar sehr wahrscheinlich, dass gewisse nicht schmarotzende Pflanzen bei völligem Lichtmangel nicht bloss grün werden, sondern sich sogar normal entwickeln.

Von diesen Betrachtungen ward ich geleitet, als ich, überzeugt, dass jedes weitere erfolgreiche Studium über die Assimilationsprocesse der Pflanze von der genauen Kenntniss des Chlorophylls, seiner chemischen Constitution, seiner Entwicklung und seiner Functionen bedingt sei, mich mit dem selbstständigen Studium der Pflanzenphysiologie zu beschäftigen angefangen hatte. — Da ich aus

1) Boehm. Sitzungsab. d. kais. Akad. d. Wissensch. Bd. 32, pag. 453.

eigens zu diesem Zwecke (neuerlichst auch von Sachs) angestellten Versuchen mit Sicherheit wusste, was ich schon in Folge mannigfacher anderer Beobachtungen nicht bezweifelte: dass die bei den höchst möglichen Temperaturen im Dunkel aufgewachsenen Pflanzen vergeilt waren, so musste ich vorerst daran denken, die Chlorophyll bildende Kraft der directen Wärmestrahlen zu studieren. Da mir kein physikalisches Cabinet zur Verfügung stand, war ich auf die Wärmestrahlen eines geheizten schwarzen eisernen Ofens angewiesen. Nachdem sich diese als unwirksam erwiesen, suchte ich durch berusste Glasplatten zum Ziele zu gelangen.

Mittlerweile kam Guillemin ¹⁾ mit geeigneteren Mitteln zu demselben Resultate wie ich: dass die Wärmestrahlen nämlich wirklich eine Chlorophyll erzeugende Kraft besitzen.

Kaum hatte Guillemin seine Abhandlung publicirt, so bereicherte Sachs ²⁾ die Wissenschaft mit einer sehr bedeutsamen Entdeckung: dem Ergrünen der im Dunkel gezogenen Keimlinge von *Pinus Pinea*. Sachs glaubte jedoch, dass dieses anomale Verhalten der Pinienkeimlinge von deren Gehalte an Terpentinöl abhängig sei. Der dadurch ozonisirte Sauerstoff bewirke, so wie das Ozon überhaupt, die Oxydation des farblosen Chlorophyllchromogens (des sogenannten Leukophylls).

Mit vielleicht übergrossem Eifer, doch ferne von jeder Persönlichkeit und „versteckten Gereiztheit“ ³⁾ suchte ich die Unzulässigkeit dieser Meinung durch zahlreiche Versuche zu widerlegen. Gestützt auf das Gesetz der Erhaltung der Kraft, demzufolge alle organischen Wesen directe (sämmtliche chlorophyllführende Pflanzen) oder indirecte Producte der Sonnenstrahlen sind, habe ich behauptet: dass bei den im Dunkel gezogenen Pinienkeimlingen das Ergrünen durch (geleitete) Wärme bedingt wird. Wenn diese Folgerung angezweifelt wird, so ändert dies an ihrer Richtigkeit ebensowenig als an der ihrer Prämissen und beweist nur, wie schwer man sich von tiefgewurzelten Vorurtheilen lossagen kann.

¹⁾ Ann. d. sc. nat. Botanique. Tom. VII. 1857.

²⁾ Lotos, IX. Jahrgang 1859. pag. 6—14.

³⁾ Bot. Ztg. 1860. Nr. 4.

Das Ergrünen der im Dunkel gezogenen Pinienkeimlinge ist für die Physiologie der Ernährung der Pflanzen von der grössten Bedeutung. Es ist eine für den jetzigen Stand der Wissenschaft viel zu weit hinausgreifende Frage, warum manche Pflanzen am besten gedeihen, wenn ihnen dieses, andere, wenn ihnen jenes Kraftquantum in dieser oder jener Form zugeführt wird. An den Keimlingen von *Pinus Pinca* haben wir ein Object, durch dessen genaues Studium wir dem idealen Ziele unserer Aufgabe um einen Schritt näher kommen.

Da das Chlorophyll der im Dunkel gezogenen Pinienkeimlinge (sowie jeder Organismus überhaupt) ein Product der Sonnenkräfte und zwar blos der Wärme ist — da also hier die Wärme allein bewirkt, was bei den übrigen grünen Pflanzen nur durch Wärme und Licht effectuirt wird, so lag die Vermuthung nahe, dass die im Dunkel gezogenen Pinienkeimlinge gleich den übrigen vergeilten Pflanzen chlorophylllos sich entwickeln würden, wenn man ihnen einen Theil der Kräfte, unter deren Einflusse sie sich gebildet, entziehen, — wenn man sie also bei möglichst niederer Temperatur aufziehen würde.

Das Resultat des Versuches rechtfertigte die dem Versuche zu Grunde gelegte Hypothese 1), obgleich der Richtigkeit derselben mancherlei Bedenken entgegenstanden. Man sollte nämlich glauben, dass, wenn die bei verminderter Wärme gezogenen Pinienkeimlinge chlorophylllos, andererseits die im Dunkel gezogenen Angiospermen durch erhöhte Wärme grün werden würden. Dass dies nicht der Fall ist, beweiset nur, wie oft wir aus Unkenntniss der Verschiedenheit der Natur der verschiedenen Pflanzen mit unseren Inductionsschlüssen fehl gehen.

Eine völlig irrige Auffassung über die ganze Physiologie des Chlorophylls wurde dadurch hervorgerufen, dass man die Entstehung desselben aus seinem Chromogene (dem Leucophyll) für eine einfache Wirkung des Lichtes erklärte, unabhängig von den anderweitigen Functionen der lebenden Zelle, etwa so, wie z. B. die Silbersalze durch das Licht zerlegt werden, oder wie sich das Chlor- und Wasserstoffgas unter der Einwirkung des Lichtes verbinden. So glaubt

1) Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wissenschaften. 1863. Bd. 47. pag. 349.

Sachs ¹⁾ aus mehren Gründen schliessen zu müssen: „Dass das Entstehen des Chlorophylls mit den Wachstums-, mit den Gestaltungsprocessen innerhalb der Zelle in keiner unmittelbaren Beziehung stehe.“ Diese „Annahme“ ist jedoch, wie ich schon seinerzeit nachgewiesen, um mich der Worte Sachs' zu bedienen, „durchaus unrichtig“.

Durch die eben citirte Auffassung ist auch der Widerspruch veranlasst, den Sachs ²⁾ in seiner letzten Abhandlung über diesen Gegenstand gegen die von mir gemachte Behauptung: dass das Chlorophyll der im Dunkel aufgezogenen Pinienkeimlinge ein Product der Wärme sei, erhebt.

Sachs führt an, dass man bei auf freiem Felde gebauten Pflanzen, z. B. dem Sommergetreide, besonders häufig aber bei Gewächsen, welche für ihre Keimung und Vegetation höherer Temperaturen bedürfen, z. B. bei *Zea Mais*, *Cucurbita Pepo*, *Ipomaea purpurea*, *Phaseolus multiflorus* alljährig leicht die Beobachtung machen könne, „dass bei rauher Witterung die zum Ergrünen am Licht bestimmten Blattgebilde, nach dem Hervortreten der Keimpflanzen aus der Erde, so lange gelb und klein bleiben, bis die steigende Temperatur ihnen gestattet, unter Anregung des Lichtes ihre normale grüne Färbung anzunehmen.“ — Noch auffällender als bei Keimpflanzen, mache sich bei solchen Gewächsen, welche schon über die Keimung hinaus in vollster Vegetation begriffen sind, bei eintretender und längere Zeit andauernder Temperaturverminderung die merkwürdige Thatsache geltend, „dass die niedrigste Temperatur, welche für die Ausbildung des grünen Farbstoffes der Blätter nöthig ist, höher liegt, als die niedrigste, noch Streckung und Wachstum der Zellen bewirkende Temperatur“.

Ferner sagt Sachs: „Boehm scheint, wenn ich ihn recht verstehe, aus seiner Beobachtung (dass die Cotyledonen der im Dunkel bei 5—7° R. gezogenen Pinienkeimlinge chlorophylllos sind) zu schliessen, dass hier die Wärme gewissermassen statt des Lichtes wirksam sei, eine Annahme, welche sich nach meinen Versuchen als durchaus unrichtig herausstellt. Diese führen vielmehr zu fol-

¹⁾ Lotos I. c.

²⁾ Flora, 1864. pag. 497—506.

gendem Ergebniss: Sämmtliche von mir (Sachs) beobachtete, den verschiedensten Familien angehörenden Mono- und Dicotylen bedürfen zu ihrem Ergrünen des Lichtes, aber auch gleichzeitig einer hinreichend hohen Temperatur, deren Maximum von dem specifischen Charakter der Pflanze abhängt; bei diesen Pflanzen ist sowohl Licht ohne hinreichende Temperatur, als auch diese ohne Licht nicht im Stande, den grünen Farbstoff auszubilden. Dagegen können alle von mir darauf beobachteten Gymnospermen (*Pinus Pinea*, *canadensis*, *sylvestris*, *Strobis* und *Thuja orientalis*) auch in tiefster Finsterniss in ihren Cotyledonen grünen Farbstoff bilden, dazu bedürfen sie aber gleich den Ersteren einer hinreichend hohen Temperatur.“

Sachs hat sich bei den Gymnospermen darauf beschränkt, das von mir angegebene Verhalten der im Keller gezogenen Keimlinge zu prüfen. Bei seinen Versuchen mit vergeilten jungen Pflanzen von *Phaseolus multiflorus*, *Zea Mays*, *Brassica Napus*, *Sinapis alba*, *Allium Cepa*, *Carthamnus tinctorius* und *Cucurbita Pepo* fand Sachs, dass die Pflanzen, welche zum Keimen und Wachsen höhere Wärmegrade benöthigen, bei einer Temperatur, welche unter dem bezüglichen Keimungsminimum liegen, im Lichte nicht ergrünen, während andere Exemplare innerhalb derselben Zeit bei geeigneter Temperatur aber sonst gleichen Verhältnissen, sich mehr weniger grün färbten. — Sachs bemerkt ausdrücklich, dass die im Lichte gelb gebliebenen Keimlinge keine Zunahme ihrer Dimensionen erkennen liessen. Die Cotyledonen von *Brassica Napus*, deren Samen schon unter 4° R. keimen, ergrünten und wuchsen neben den im Lichte blass gebliebenen Bohnen- und Maispflänzchen bei einer Temperatur von 3—6° R. Das Keimungsminimum von *Zea Mays* und *Phaseolus multiflorus* bestimmte Sachs schon früher zu 7.5° R. 1).

Ich finde nicht, dass diese Versuche, deren Resultate mit den von mir angestellten Versuchen völlig harmoniren, den von Sachs aus Beobachtungen von Pflanzen auf freiem Felde gezogenen Schluss bestätigen, indem die bei niederer Temperatur im Lichte gelb gebliebenen Cotyledonen ja „auch keine Zunahme ihrer Dimensionen erkennen liessen.“ Sachs Schlussfolgerung und seine

1) Pringsheim's Jahrb. II. pag. 339—377.

Versuche selbst ¹⁾ werden überhaupt nur dadurch erklärlich, dass Sachs noch wie ehemals das Ergrünen der Pflanzen für einen von der Lebensthätigkeit der Zellen ganz unabhängigen Process hält, zu dessen Einleitung jedoch bei den verschiedenen Pflanzenarten verschiedene Temperaturgrade erforderlich seien, vielleicht etwa so, wie die verschiedenen Modificationen des Kohlenstoffes auch bei sehr verschiedenen Temperaturen verbrennen.

Als ich vor zwei Jahren meine Keimversuche mit Samen von *Pinus Pinea* im Keller machte, war ich nicht in der Lage, diese Versuche bei entsprechender Temperatur (5—7° R.) auch im Lichte anzustellen. Da mir im Gebäude der Wiener Handelsakademie vorläufig hinreichende Räumlichkeiten für meine Arbeiten zugewiesen sind, so nahm ich obige Versuche wieder auf. Die constant grosse Kälte des verflossenen Winters gestattete mir, in einem gegen Norden neben meinem Arbeitscabinet gelegenen Zimmer durch zwei Monate (December und Jänner) die Temperatur von 5—7° R. zu erhalten.

Die Versuche wurden angestellt mit Keimlingen von *Pinus Pinea*, *P. silvestris*, *P. austriaca*, *P. Picea*, *Thuja occidentalis*; — *Zea Mays*, *Cucurbita Pepo*, *Cucumis sativus*, *C. Melo*; — *Hordeum vulgare*, *Secale cereale*, *Valerianella olitoria*, *Brassica oleracea capitata* und *Sinapis arvensis*.

Die Coniferensamen (die von *Pinus Pinea* wurden, um die Keimung zu beschleunigen, an ihrem Radicularende angeschnitten) liess ich in meinem Arbeitszimmer nur bis zum Hervorbrechen der Radicula, die übrigen aber bis zur Entfaltung der Cotyledonen entwickeln. Die Keimlinge wurden nun, nachdem deren Grösse mittelst Druckerschwärze und des Griesbach'schen Auxanometers genau markirt war, in das Versuchszimmer gebracht und von den Gymnospermen die halbe Anzahl der Töpfe auf die Fenster ins Licht, die andere Hälfte hingegen in auf der Unterseite mit einigen Bohrlöchern versehene, im übrigen aber gut schliessende Holzkästen gestellt. — Schon am ersten Tage färbten sich ganz oder theilweise die Keimlinge von *Hordeum*, *Secale*, *Brassica*, *Sinapis* und *Valerianella*.

¹⁾ Sachs setzt seine Versuchspflanzen in der Kälte nur so lange der Wirkung des Lichtes aus, bis andere, unter sonst gleichen Verhältnissen aber in der Wärme befindliche Exemplare ergrünen.

Dabei war ein deutliches Wachstum aller ergrüntten Pflänzchen bemerkbar. Die Keimlinge von *Zea*, *Phaseolus* und den *Cucurbitaceen* erhielten sich wohl mehrere Wochen frisch, ohne jedoch zu ergrünen, aber auch ohne zu wachsen. Nur der vergeilte Stengel eines Exemplares von *Phaseolus multiflorus* verlängerte sich binnen drei Wochen um $1\frac{1}{2}$ L.; dann starb das Pflänzchen sowie die übrigen Keimlinge dieser Gruppe von der Spitze an, ab.

Von den Gymnospermen waren die unter dem Einflusse des Lichtes herangewachsenen Keimlinge alle grün, von den im Dunkel entwickelten aber waren die von *Pinus Pinea*, *P. silvestris* und *P. austriaca* vollkommen gelb. Die Cotyledonen der im Dunkel entwickelten Pflänzchen von *Pinus Picea* und besonders die von *Thuja* hatten einen Stich ins Grün und lieferten ein mit rothem Lichte fluorescirendes Extract.

Diese Resultate berechtigen gewiss zu dem Schlusse: dass alle Pflanzentheile (welche überhaupt Chlorophyll zu erzeugen im Stande sind) unter sonst normalen Verhältnissen im Lichte bei der Temperatur ergrünen, bei welcher sie wachsen. Wenn wir ein solches Wachstum bei den in geeigneter Temperatur nur durch einige Stunden dem Lichte ausgesetzten vergeilten Pflanzen ungeachtet ihres Ergrünnens nicht wahrnehmen können, so wird hoffentlich Niemand behaupten wollen, dass in den Zellen ausser der Chlorophyllbildung nicht noch mannigfache andere Prozesse gleichzeitig erfolgten.

Obwohl das von Sachs angeführte Verhalten von in der Vegetation begriffenen Pflanzen auf freiem Felde bei eintretender und längere Zeit andauernder Temperaturerniedrigung auch noch durch andere Ursachen (z. B. warme Nächte und kühle Tage) bedingt sein kann als dadurch, dass das Wachstum und die Vermehrung der Zellen bei einer tieferen Temperatur erfolge, als das Ergrünen, so fällt es mir doch in Folge obiger Versuchsergebnisse nicht nur nicht ein, die Möglichkeit eines solchen Verhaltens in Abrede zu stellen, sondern es scheint mir vielmehr dasselbe bei meiner Auffassung des Chlorophylls als eines Productes der normal fungirenden Zelle a priori sogar sehr wahrscheinlich. Ich kann mir nämlich sehr gut vorstellen, dass, sowie durch mannigfache andere Ursachen, auch bei gewissen Temperaturen krankhafte Zellen gebildet werden, in welchen selbst bei Einwirkung des Lichtes keine Chlorophyllbildung erfolgt.

Dies und noch gewisse, weiter unten zu besprechende Grössenverhältnisse der bei den früheren Versuchen gezogenen Coniferenkeimlinge veranlassten mich, die Versuche bei einer niedrigeren Temperatur als 5—7° R. zu wiederholen. Es gelang mir jedoch nur durch vier Wochen (im Februar) die Temperatur des Zimmers bei 2—4° R. zu erhalten. — Die bei dieser Temperatur gezogenen Keimlinge unterscheiden sich mit Ausnahme derer von *Pinus Pinea* und *Thuja* nicht wesentlich von denen bei den früheren Versuchen. Die Keimlinge von *Thuja* und *Pinus Pinea*, besonders die letzteren hatten, als die Temperatur auf 6—8° R. stieg, die Endospermhüllen noch nicht abgestreift. Die Cotyledonen waren, so weit sie schon frei waren, nur sehr schwach grün gefärbt und die Pflänzchen hatten überhaupt ein sehr verkümmertes und vergeiltes Aussehen.

Wenn ich demnach sehr gerne zugebe, dass im Lichte das Wachstum bei einer niedrigeren Temperatur erfolge als das Ergrünen, so kann ich doch meine wiederholt ausgesprochene Behauptung: dass das Ergrünen der im Dunkel gezogenen Coniferen eine Wirkung der Wärme sei, nicht zurücknehmen. Ich glaube vielmehr, dass das eben besprochene Verhalten nicht nur nicht gegen, sondern für die Richtigkeit meiner Ansicht spricht: dass das Chlorophyll ein Product der gesunden, normal fungirenden Zelle sei.

Sachs fand, dass Kürbiskeimlinge *A* bei 30° C. in 6½ Stunden intensiver grün gefärbt wurden, als andere derartige Pflänzchen *B* bei 15° C. in 26 Stunden und knüpft daran folgende Bemerkung: „Wäre die Zeit des Ergrünen der Temperatur umgekehrt proportional, so hätte *B* binnen 13—14 Stunden ebenso grün werden müssen, wie *A* in 6½ Stunden; statt dessen bedurfte es mehr als der vierfachen Zeit; es wäre demnach nicht unmöglich, dass bei gleicher Beleuchtung das Ergrünen dem Quadrate der Temperatur proportional wäre; diess muss indessen der Entscheidung durch weitere Versuche überlassen werden.“

Nach meiner Überzeugung sind zu dieser Entscheidung keine weiteren Versuche nothwendig. Wir wissen durch zahlreiche Beobachtungen, dass das zur Entwicklung der Pflanzen nothwendige Licht- und Wärmequantum nicht durch Summirung von an sich unzureichenden Kräften dieser Art, sondern durch eine in einer gegebenen Zeit bestimmte Grösse derselben bedingt wird. Die allgemeine und gegen-

seitige Wirkung einer bestimmten Temperatur und Lichtintensität hängt stets von der specifischen Natur der Pflanze ab. Die eine Pflanze bedarf zu ihrer gedeihlichsten Entwicklung viel Licht und wenig Wärme, die andere hingegen viel Wärme und wenig Licht.

Wir wissen, dass die im Dunkel gezogenen Pflanzen nicht blos bleichsüchtig, d. h. chlorophylllos sind, sondern dass ihr ganzer Habitus den krankhaften Zustand verräth. Die Internodien und die Blattstiele sind meist viel länger und wässerig, die Blattflächen hingegen sehr klein.

Man ist häufig gewohnt, die ganze abnorme Entwicklung solcher vergeilter Pflanzen von dem Mangel an Chlorophyll abzuleiten, so dass mit den Bedingungen zur Entwicklung dieses gleichzeitig auch die zur Hebung der übrigen Krankheitssymptome gegeben wäre. Für diese Auffassung scheint allerdings manche Erscheinung, z. B. die Entwicklung von Bohnen im Halbdunkel zu sprechen, bei denen wir mit dem Auftreten von Chlorophyll auch die übrigen Erscheinungen der Vergeilung schwinden sehen.

Diese Auffassung ist aber schon an sich gewiss nicht berechtigter als die: dass bei Herstellung von Bedingungen; welche die Symptome der Vergeilung heben, auch die Bleichsucht schwindet. Für letzte Ansicht sprechen ausser mannigfachen anderen Momenten die unter Wasser oder selbst im absolut feuchten Raume im Lichte entwickelten Triebe von Weiden, welche wohl grün gefärbt sind sonst aber ganz den Habitus vergeilter Triebe besitzen. Mit der Entwicklung des Chlorophylls ist also unter sonst abnormen Verhältnissen der normale Zustand der Pflanzen durchaus nicht nothwendig bedingt. — Bei unserer Unkenntniss in der Pflanzenpathologie können wir allerdings die Möglichkeit der Existenz einer Erkrankung nicht läugnen, deren wichtigstes Symptom die Bleichsucht ist.

Es wurde von mehren Seiten die Behauptung aufgestellt, dass Mangel an eisenhaltiger Nahrung die Bleichsucht bewirke. In Folge meiner vorläufigen Versuche mit *Phaseolus multiflorus* und *Zea Mays*, deren Resultate mit denen von Pfaundler's 1) Versuchen übereinstimmen, kann ich der Ansicht nicht beipflichten, dass in Folge der

1) Pfaundler. Annal. der Chemie und Pharmacie. 115. Bd. pag. 37.

eisenfreien Nahrung in erster Instanz nur die Bildung des Chlorophylls unterbleibe und secundär bloß jene Functionen gestört seien, die von der Gegenwart des Chlorophylls abhängig sind. Wir kennen die Rolle des Eisens im Lebensprocesse der Pflanze nicht; dass das reine Chlorophyll eisenhaltig sei ¹⁾, ist völlig unerwiesen. Wir wissen mit Bestimmtheit nur so viel, dass die normale Entwicklung der Pflanzen durch eisenhaltige Nahrung bedingt ist.

Die jetzt herrschende Ansicht über die Beziehung zwischen eisenhaltiger Nahrung und Chlorophyllbildung wurde ausser durch die bisher unbegründete Angabe Verdeille's insbesondere durch einen von Gris angestellten Versuch veranlasst. Gris ²⁾ gibt nämlich an, dass (in Folge des Mangels an eisenhaltiger Nahrung) bleichsüchtige Blätter durch blosses Bestreichen mit einer Eisensalzlösung grün gefärbt werden.

Versuche mit mehreren im Dunkel gezogenen Keimpflanzen, und zwar mit denen von *Pinus Pinea*, *Quercus Robur* und *Juglans regia* zeigten, besonders wenn man die abgeschnittenen Cotyledonen in eine Lösung von Eisenchlorid tauchte, und zwar zuerst an den Schnittflächen, eine ähnliche Erscheinung, wie sie Gris beobachtet. Es liegt jedoch, wie ich glaube, auf der Hand, dass die dadurch bewirkte dunkelgrüne bis schwarze Färbung durch nichts weniger als durch entstandenes Chlorophyll, sondern vielmehr durch Gerbsäure bedingt wurde.

Wenn man es aber auch als erwiesen annehmen würde, dass in Folge des Mangels an eisenhaltiger Nahrung bleichsüchtige Pflanzen, wenn ihnen Gelegenheit geboten wird, durch die Blätter oder durch die Wurzeln, eine Eisensalzlösung aufzunehmen, in kurzer Zeit grün werden, so beweist diess für unsere Frage gar nichts. Denn einerseits halte ich es für entschieden falsch, dass die angeblich grüne Färbung durch plötzlich entstandenes Chlorophyll bedingt werde, und wenn dies auch der Fall wäre, so wäre noch durchaus nicht erwiesen, dass das Chlorophyllchromogen durch einfache Eisenaufnahme zu Chlorophyll geworden sei, ähnlich wie etwa die Lösungen der Blutlaugensalze durch die geeigneten Eisensalze blau gefärbt werden. Dies wäre erst dann der Fall, wenn

1) Verdeille. Compt. rend. Tom. 33. pag. 689.

2) Gris. Ann. d. sc. nat. Botanique. Tom. VII. pag. 179.

diese Überführung des Chlorophyllchromogens in Chlorophyll durch Eisensalze auch in den todten Zellen bleichsüchtiger Pflanzen erfolgen würde. Nach meinen bisherigen Versuchen ist weder das Eine noch das Andere der Fall. — Wenn wir alle diesbezüglichen Erscheinungen vorurtheilsfrei ins Auge fassen, so können wir nicht umhin, es für wahrscheinlich zu erklären, dass, wenn wir im Stand wären, die Zellen vergeilter Pflanzen durch irgend ein anderes Mittel als durch Licht zur normalen Function anzuregen, mit dem Schwinden der übrigen Symptome der Vergeilung auch Chlorophyll erzeugt würde.

Wenn wir durch ein bestimmtes Mittel bei einer Pflanze diesen Erfolg nicht erzielen, so folgt in Anbetracht der verschiedenen Natur der Pflanzen daraus noch gar nicht, dass dies überhaupt unmöglich sei. Die Coniferen liefern uns hiefür den Beweis.

Während wir nämlich gesehen haben, dass die im Dunkel gezogenen Pflanzen nebst sehr langen Internodien nur sehr unvollständig entwickelte Blätter besitzen, finden wir hingegen, dass die im Dunkel ergrünenden Coniferen fast ebenso normal entwickelte Cotyledonen besitzen als die im Lichte. Dies ist nach meiner Überzeugung der nächste Grund, warum die Pinienkeimlinge etc. im Dunkel in der Wärme ergrünen. — So wie die oben erwähnten Gymnospermen werden sich alle Pflanzen verhalten, welche durch die Wirkung der Wärme allein (mit Ausschluss des Lichtes) ihre Organe zur normalen Entwicklung bringen.

Für die Richtigkeit dieser Auffassung spricht auch das Verhalten der in der Wärme im Dunkel aufgezogenen Keimlinge von *Larix*. Dies ist nämlich die einzige der von mir untersuchten Gymnospermen, deren im Dunkel in der Wärme gezogener Keimlinge chlorophylllos sind. Die Cotyledonen dieser in der Wärme bei Lichtabschluss gezogener Keimlinge sind aber auch sichtlich kleiner als die der im Lichte bei 10° R. entwickelten Pflänzchen. — Die Samen von *Larix* enthalten ebenfalls Terpentinöl.

Wir haben oben gesehen, dass die im Halbdunkel gezogenen Bohnen mit der Entwicklung von Chlorophyll in den Blättern ihre vergeilte Natur nicht völlig verlieren. Diese äussert sich besonders durch die anomale Entwicklung der Stengel, welche auch fast chlorophylllos bleiben.

Ähnlich diesen Pflanzen verhalten sich die im Dunkel in der Wärme gezogenen Coniferenkeimlinge. Diese haben bei normal entwickelten Cotyledonen völlig chlorophylllose Stengel, welche nebstbei auch die übrigen Charaktere vergeilter Organe besitzen. Bei *Pinus Pinea* ist dies häufig weniger auffallend, wenn man die im Dunkel in der Wärme gezogenen Pflanzen mit solchen vergleicht, die am gleichen Orte bei 15—20° R. im Lichte gezogen wurden. Diese Keimlinge sind aber ebenfalls krank, und entwickeln sich nicht weiter, sondern sterben bald ab. Vergleicht man aber die im Dunkel in der Wärme gezogenen Keimlinge mit solchen, die sich bei 5—6° R. im Lichte entwickelt haben, so ist auch hier (bei *Pinus Pinea*) der Unterschied der Stengelentwicklung auffallend. Diese Thatsache spricht gewiss mehr für die Abhängigkeit der Chlorophyllbildung von der sonst normalen Entwicklung der Pflanze als umgekehrt und zeigt oder bestätigt vielmehr, dass nicht nur die verschiedenen Pflanzen, sondern dass selbst die verschiedenen Organe derselben Pflanzen zu ihrer normalen Entwicklung nicht dasselbe Kraftquantum bedürfen.

Als ich vor zwei Jahren von dem oben angeführten Ideengange geleitet, mich anschickte, die Keimversuche mit Pinien in der Kälte zu machen, erwartete ich, dass, falls sich meine Voraussetzung bestätigen würde, die bleichsüchtigen Cotyledonen vergeilt sein würden. Diese Voraussetzung schien sich aber nicht zu bestätigen. Bei der Wichtigkeit, die nach meinem Dafürhalten diesem Umstande beizulegen ist, habe ich hierauf bei den zahlreichen im verflossenen Winter angestellten diesbezüglichen Versuchen mein besonderes Augenmerk gerichtet.

Da zur Entscheidung der in Rede stehenden Frage nicht die absolute, sondern die relative Grösse der Organe entscheidet, so musste ich zum Vergleiche am Lichte Pflänzchen ziehen, welche der weiteren Entwicklung fähig waren. Hierzu schien mir das Fenster eines gegen Norden gelegenen Zimmers, dessen Temperatur während der Versuchszeit von 8—12° R. schwankte, am geeignetsten.

Die Versuche ergaben Folgendes:

Die fast chlorophylllosen Cotyledonen jener Keimlinge, welche im Dunkel bei einer Temperatur von 7—8° R. (im kalten Gewächshause) herangewachsen waren, liessen im Allgemeinen keine Längenunterschiede von jenen der im Lichte bei 8—12° R. gezogenen

Keimlinge bemerken, waren jedoch durchgehends viel schwächtiger. Jene Keimlinge hingegen, welche bei 5—7° R. im Dunkel gezogen waren, hatten nicht nur viel schlankere Stengelchen, sondern auch viel kleinere Cotyledonen als die bei 8—12° R. im Lichte entwickelten Pflänzchen. Die Mitte zwischen beiden hielten in dieser Beziehung die Cotyledonen der am Lichte bei 5—7° R. entwickelten Keimlinge.

Durch dies Ergebniss wird die Abhängigkeit der Chlorophyll-Entwicklung von der sonst normalen Ausbildung der Pflanzen und Pflanzenorgane, natürlich nur in soferne beide durch Wärme und Licht bedingt sind, wie mich dünkt, so ziemlich zweifellos. Zudem muss man wohl erwägen, dass bei Pflanzen, die in Folge einer geringen Wärmedifferenz sich hinsichtlich der Chlorophyllbildung so verschieden verhalten, auch die damit verbundenen Grössenverhältnisse der Organe nicht so auffallend sein werden, wie bei anderen Pflanzen und dass die Grössenverhältnisse überhaupt nicht der einzige Massstab der sonst normalen Entwicklung sind.

Durch den Umstand einerseits, dass die Assimilation der Kohlensäure eine Function des Chlorophylls ist, und durch die Thatsache der Entwicklung von Chlorophyll durch Wärme andererseits, glaubte ich mich früher zu dem Schlusse berechtigt: dass im Dunkel ergrürende Pflanzen auch die Kohlensäure assimiliren könnten. Ich habe mir sodann viele Mühe gegeben, die in der Wärme bei Lichtabschluss gezogenen Pinienkeimlinge im Dunkel zur weiteren Entwicklung zu bringen, aber vergebens. Wenn man jedoch in's Auge fasst, dass die Stengel der im Dunkel ergrürenden Coniferenkeimlinge sich ähnlich den von anderen vergeilten Pflanzen verhalten, so wird uns dies Ergebniss vollkommen klar, ohne dass deshalb meine Ansicht: dass auch die Wärmestrahlen die Pflanze zur Assimilation der Kohlensäure befähigen, unrichtig sein müsse.

Zum Schlusse theile ich vorläufig noch zwei Beobachtungen mit, welche die oben gemachte Folgerung bestätigen: dass das Chlorophyll ein Product der lebenden und wenigstens in einer gewissen Richtung hin gesunden Pflanzenzelle sei.

Wenn man die vergeilten Triebe verschiedener Pflanzen in luftverdünnten Raum oder in eine Atmosphäre von Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlensäure dem Lichte aussetzt, so bleiben sie gelb. Sehr geeignet zu diesen Versuchen sind die im Dunkel entwickelten Triebe

von *Allium Cepa*, welche man allerwärts leicht haben kann. Bringt man diese mit feuchter atmosphärischer Luft unter einen mit Quecksilber abgesperrten Glassturz, so dauert die Chlorophyllbildung nur so lange, als Sauerstoff vorhanden ist. Wählt man zur Sperrflüssigkeit Wasser, so steigt dieses in dem Sturze auf, da sich der Sauerstoff auf Kosten der Pflanzensubstanz in Kohlensäure verwandelt und diese vom Wasser absorbiert wird. Es bleibt vorläufig noch unentschieden, welche Rolle beim Ergrünen der Sauerstoff spielt. Die Frage, ob er gebunden wird oder nicht, zu entscheiden, hat seine bedeutende Schwierigkeit und muss späteren Versuchen vorbehalten bleiben.

Zur Entscheidung einer anderen Frage wurden Weidenzweige im diffusen Lichte unter einen mit feuchtem Sauerstoffe gefüllten und mit Quecksilber abgesperrten Glassturz gebracht. Die kleinen Blätter der unter diesen Verhältnissen entwickelten Triebe waren entweder ganz blass, oder hatten doch nur einen schwachen Stich in's Grüne! Ich enthalte mich, an das Resultat dieses Vorversuches schon jetzt weitere Bemerkungen zu knüpfen.
