XIV.

Über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Blüthenbildung.

Von

Julius Sachs.

Mit 2 Holzschnittfiguren.

Bekanntlich wird der ganze, sehr ausgedehnte ultraviolette Theil des Sonnenspektrums in einer schwefelsauren Chininlösung durch Fluorescenz in Strahlen von geringerer (aber unter sich sehr verschiedener) Brechbarkeit verwandelt. Das so gebildete Fluoreseenzlicht erscheint hellblau leuchtend, wogegen die ultravioletten Strahlen, aus denen es entstanden ist, von unseren Augen gewöhnlich nicht wahrgenommen werden.

Dem durch eine Schicht von Chininlösung hindurchgegangenen Licht fehlen also die ultravioletten Strahlen, während eine gleich dicke Schicht klaren Wassers dieselben durchläßt; das unbewaffnete Auge aber nimmt keinen Unterschied des durch die beiden Flüssigkeitsschichten scheinenden Lichtes wahr, beide erscheinen gleich hell und gleich farblos.

Man hat also bei richtiger Versuchsanstellung ein Mittel, Pflanzen gleicher Art in gleich hellem, farblosem Licht wachsen zu lassen, so daß die einen gleichzeitig die ultravioletten Strahlen erhalten, die andern aber nicht, und der Versuch muß zeigen, ob dabei in der Vegetation ein Unterschied hervortritt. Ist dies der Fall, so kann die Ursache nur in der Gegenwart oder in dem Fehlen der ultravioletten Strahlen in dem die Pflanzen treffenden Lichte gesucht werden.

Erwägungen, welche ich am Schluß dieser Mittheilung andeuten werde, veranlaßten mich im Sommer 1883 einen derartigen Versuch anzustellen.

Derselbe ergab ein überraschend auffallendes Resultat: die hinter einer Wasserschicht gewachsenen Pflanzen (Kapuzinerkresse, Tropaeolum majus) erzeugten normale Blüthen; die hinter einer gleichdicken Schicht von schwefelsaurer Chininlösung wuchsen zwar anscheinend ebenso normal und kräftig; allein die Blüthenknospen blieben winzig klein und verdarben nach wenigen Tagen.

Ich durfte also schließen, daß zur Blüthenbildung dieser Pflanze die unsichtbaren, ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes unentbehrlich sind.

Bei der außerordentlichen Wichtigkeit dieses Resultates schien es mir gerathen, den Versuch erst noch einige Male zu wiederholen, bevor ich es veröffentlichte. Da nun die im Jahre 1884, noch mehr aber die 1886 gemachten Erfahrungen das erste Ergebniß bestätigen, so glaube ich nicht länger zögern zu sollen.[1]) Ich bin mir dabei vollkommen bewußt, daß hiermit nur ein erster Schritt zur Erforschung der eben ausgesprochenen Beziehung zwischen ultravioletten Strahlen und Blüthenbildung gethan ist; es werden noch langjährige Versuche unter veränderten Bedingungen und mit anderen Pflanzenarten nöthig sein, um so mehr, als jeder Versuch Monate in Anspruch nimmt und nur im Frühling und Sommer bei geeignetem Licht angestellt werden kann. Ich behalte mir vor, in dieser Richtung weiter zu arbeiten.

Zunächst lasse ich nun eine ausführliche Beschreibung der von mir bisher angestellten Versuche folgen, um am Schluß auf die Gesichtspunkte hinzuweisen, welche bei der physiologischen Verwerthung und Deutung der Ergebnisse in Betracht kommen.

Versuch von 1883.

Ich verwendete dazu zwei gleiche Kulturkästen von starkem weißem Eisenblech mit geschwärzter Innenseite; sie sind 55 cm hoch, 35 cm breit und tief. Diese Kästen haben keinen Boden, stehen aber in einem Untersatz mit aufgeschlagenem Rand, der mit feuchtem Sand bedeckt ist; in letzteren sinken die unteren Ränder der vier Seitenwände des Kastens ein, so daß Licht von unten her nicht eindringen kann. — Die dem Zimmer zugekehrte Seite des am Fenster aufgestellten Kastens hat eine Thür, durch welche die Blumentöpfe eingestellt und andere Handgriffe im Inneren bequem vorgenommen werden können. Die nach außen gekehrte Wand des Kastens wird fast ganz durch eine gläserne Cuvette ersetzt; diese ist 45 cm hoch, 33 cm breit und kann zwischen den sehr dicken Glaswänden eine Wasserschicht von ca. 34 mm Dicke fassen. Die Cuvette ist oben frei, wo sie durch einen aufgeschliffenen Deckel verschlossen werden kann; an den drei anderen Seiten von einem übergreifenden Rahmen umgeben, der diejenigen Lichtstrahlen abhält, welche nicht durch die Flüssigkeit gegangen sind. — Durch diese Umrahmung wird aber die das Licht durchlassende Fläche auf 39 cm Höhe und 28 cm Breite vermindert. — Es ist sehr wichtig, daß die Umrahmung gut schließt und daß die in der Cuvette enthaltene Flüssigkeit nicht verdunstet; sonst würde sich das Niveau senken und es könnte dann durch den oberen Theil des von der Cuvette gebildeten

1) Eine sehr kurze vorläufige Notiz gab ich bereits in den Berichten der physik.-medicin. Gesellschaft in Würzburg, Juli 1886.

Fensters unverändertes Licht eindringen. Ich bedecke übrigens den oberen Rand der Cuvette sammt den umgrenzenden Partieen des Kastens mit Staniol oder schwarzem Wachstuch.

Die Basis der Cuvette liegt ca. 10 cm höher als der untere Rand des Kastens; da die eingestellten Pflanzentöpfe ungefähr 10 cm hoch sind, würde das bis zu dieser Höhe einfallende Licht den Blättern doch verloren gehen, sogar die Lage derselben heliotropisch stören und die Cuvetten selbst würden unnöthig groß und ihre Füllung erschwert werden.

Die unten folgende Figur, allerdings die später konstruirten Holzkästen darstellend, wird zum Verständniß des Wesentlichen der gegebenen Beschreibung beitragen.

Übrigens sind diese einfachen Apparate seit 17 Jahren in meinem Laboratorium im Gebrauch; bis dahin wurden die Cuvetten mit doppeltchromsaurem Kali und resp. Kupferoxydammoniak gefüllt, um zur Demonstration der Sauerstoffausscheidung, der heliotropischen Krümmungen u. s. w. in farbigem Licht zu dienen.

Vor der Füllung der Cuvetten müssen die Kästen am Fenster neben einander aufgestellt und erst dann die Einfüllung der Flüssigkeiten vorgenommen werden, da die bereits montirten Apparate sich nicht wohl transportiren lassen. Zweckmäßig ist es, die Fensterflügel ganz auszuheben und die Kästen so aufzustellen, daß die Cuvetten vor die Fensterfläche hinausragen, damit möglichst viel reflektirtes Himmelslicht einstrahlen kann.[1])

Die Apparate wurden diesmal an ein Ostfenster im 2. Stockwerk des Hauses gestellt, wo das Licht von allen Seiten her freien Zutritt hat. Von früh morgens 5 oder 6 Uhr bis gegen 10 Uhr konnten auch direkte Sonnenstrahlen einfallen, und es war zu fürchten, daß sich die Luft in den Kästen allzusehr erhitzen werde. Zur Vermeidung dieses Übelstandes wurden dicke Bretter auf die Deckplatten der Kästen so gelegt, daß sie ein nach außen vorspringendes Dach bildeten. Übrigens konnte die erwärmte Luft durch ein Loch in der Decke des Kastens entweichen. Trotzdem erhob sich, wie das eingesetzte Maximumthermometer zeigte, die Temperatur der Luft mehrfach bis auf 40° C., was den Pflanzen jedoch nicht schadete.

Die Füllung der Cuvetten soll nun mit Wasser und mit schwefelsaurer Chininlösung geschehen. Die eine wird sogleich ganz mit Wasser (nämlich klarem Brunnenwasser[2]) gefüllt, die andere nur so weit, daß oben noch 5—6 cm Raum bleibt, um die Chininlösung herzustellen, was zweckmäßig folgendermaßen geschieht. In einem Kochkolben werden etwa 20—30 gr schwefelsaures Chinin unter Zusatz von so viel Schwefelsäure, als zur Lösung nöthig ist, aufgelöst. Von der klaren und sehr konzentrirten Lösung gießt man eine Portion in die fragliche Cuvette und rührt um.

1) Vergl. DETLEFSEN, Arb. d. bot. Instit. Würzburg. Bd. III. Heft 4. p. 89.

2) Das benutzte enthält circa 0,6 pro Mille Salze, vorwiegend Kalk.

Ein halb mit starker Chininlösung gefülltes Reagenzrohr hält man nun in den Kasten hinein und beobachtet, ob noch blaue Fluorescenz darin eintritt; ist dies der Fall, so giebt man noch mehr Lösung in die Cuvette und probirt wieder, und so fort, bis hinter der chininhaltigen Cuvette im Kasten keine Spur von Fluorescenz mehr an der Chininprobe zu bemerken ist, worauf man die Cuvette mit Wasser ganz füllt und sorgfältig verschließt. Dies entspricht offenbar der Absicht des anzustellenden Versuchs; denn sobald die Chininlösung in dem Probegläschen hinter der Cuvette nicht mehr fluorescirt, sind alle ultravioletten Strahlen zerstört, d. h. schon in der Cuvette fluorescirt. Es bedarf keiner Erwähnung, daß hinter der Cuvette mit reinem Brunnenwasser die Chininprobe lebhafte Fluorescenz zeigt, daß hier also die ultravioletten Strahlen in den Kasten eindringen. — Blickt man von der Kastenthür aus einfach nach der mit Wasser und der mit Chininlösung gefüllten Cuvette, so erkennt man keinen Unterschied der Helligkeit oder Färbung.

Um die Eigenschaften des durch die Chinincuvette gegangenen Lichtes noch näher kennen zu lernen, machte ich noch Beobachtungen über sein sichtbares Spektrum, über seine Wirkung auf photographisches Papier und auf heliotropisch empfindliche Pflanzentheile.

Bringt man den Spalt eines einfachen Spektroskops das eine Mal hinter die mit Wasser, das andere Mal hinter die mit Chininlösung gefüllte Cuvette, so erblickt man das ganze gewöhnlich sichtbare Spektrum bis zur Linie *H*, ohne daß mein Auge einen Unterschied wahrnimmt; blau und violett erscheinen hinter Chinin nicht geschwächt oder verkürzt.

Zur Prüfung der photographischen Wirkung des durch die gefüllten Cuvetten gegangenen Lichtes benutzte ich zwei kleine Apparate, welche durch das Loch in der Deckplatte der (später konstruirten) Kästen geschoben wurden. Dieselben sind nach dem in Fig. 4 meiner »Experimentalphysiologie« (1865) benutzten Prinzip, jedoch bequemer konstruirt: ein kleines Stück des sehr empfindlichen photographischen Papiers wird zwischen zwei Platten gebracht, die sich erst innerhalb des Kastens öffnen und nach der Einwirkung des Lichtes wieder schließen. Das Papier wird dann sofort in die Fixirflüssigkeit gebracht und später ausgelaugt. Man kann so zahlreiche Proben sammeln und vergleichen. — Das Resultat war, daß nach 10—15 Minuten das photographische Papier hinter der Wassercuvette tiefbraun wurde, das Maximum der Wirkung zeigte, während gleichzeitig das hinter Chininlösung belichtete Papier nur einen bräunlichen Schatten zeigte oder doch nur, je nach der Dauer, hellbraun wurde. — Das durch Chininlösung gegangene Licht, obgleich es die blauen und violetten Strahlen dem Auge ungeschwächt zeigt, wirkt also nur schwach auf photographisches Papier.

Die heliotropische Wirkung kann leicht konstatirt werden, wenn man sehr junge Keimpflanzen der Kresse (Lepidium sativum), Kapuzinerkresse

(Tropaeolum) u. a. in Töpfen in die Kästen stellt. Es zeigt sich, daß sie sowohl hinter Wasser, wie hinter Chinin starke heliotropische Krümmungen machen, und zwar, soweit man ohne messende Untersuchung feststellen kann, in gleichem Grade: auch zeigen dies die heliotropischen Krümmungen der für unseren Zweck bestimmten Versuchspflanzen.

Diese Bemerkungen gelten natürlich auch für die folgenden Versuchsreihen, wogegen ich jetzt zu dem Versuch von 1883 zurückkehre.

Zwei gleich große (10 cm hohe und weite) mit Gartenerde gefüllte Blumentöpfe enthielten je zwei Samen von Tropaeolum majus, die (im finsteren Raum) soeben zu keimen, d. h. die Erddecke zu heben anfingen. Einer wurde nun in jeden Kasten gestellt. Der Versuch begann am 15. Juni und endete am 17. August, dauerte also 62 Tage, während der besten Vegetationszeit des Jahres.

Ich will hier noch die Bemerkung einschieben, warum ich gerade das Tropaeolum majus zu diesem ersten Versuch, sowie auch zu den späteren wählte. Zunächst ist das eine von den Pflanzen, die ich seit 30 Jahren jährlich immer wieder zu den verschiedensten Vegetationsstudien benutzt habe, die ich daher in ihrem Verhalten nach den verschiedensten Richtungen hin genau kenne. Besonders aber kam in Betracht, da es sich um Blüthenbildung handelte, daß Tropaeolum schon frühzeitig nach der Keimung Blüthenknospen erzeugt und dann während der ganzen Vegetationsdauer immer neue Einzelblüthen in den Blattachseln hervorbringt. Ferner hat die Pflanze einen biegsamen Stengel, der besser als ein straff aufrechter in dem engen Raum eines Kastens sich zurecht findet. Das Wichtigste aber ist, daß Tropaeolum majus eine entschiedene Schattenpflanze ist und nur dann gut gedeiht, wenn sie nicht das volle Tageslicht erhält. In den Versuchskästen kann nur ein Theil des letzteren den Pflanzen nützlich werden, und nicht jede beliebige Pflanze verträgt, zumal wenn sie blühen soll, eine derartige Einschränkung ihres Lichtbedürfnisses; auch rechtfertigte das Ergebniß meine Wahl.

Der Verlauf der Vegetation wurde täglich beobachtet; ich gebe aber nur das Resultat am 17. August, wie ich es damals aufgeschrieben habe.

A. Die beiden Pflanzen (1 u. 2) hinter Wasser.

1. Pflanze: Sproßaxe: 120 cm lang;
   Blätter: die untersten 7 gelb,
   22 jüngere frisch grün,
   bis 70 mm Durchmesser;
   Blüthen: 3 ganz normale, aufgeblüht,
   2 große und mehrere kleine Knospen.

2. Pflanze: Sproßaxe: 125 cm lang;
   Blätter: die 8 untersten gelb, trocken,

die 23 jüngeren grün, einige davon haben 82 mm Durchmesser;

Blüthen: 5 große, prachtvolle, offen,
4 zum Aufblühen bereite und mehrere kleine Knospen.

B. Die beiden Pflanzen (1 u. 2) hinter Chininlösung.

1. Pflanze: Sproßaxe: 120 cm lang;

Blätter: die 10 unteren gelb, trocken,
13 jüngere grün, bis 70 mm Durchmesser;

Blüthen: keine Spur davon, außer einigen kaum $1/2$ mm großen verdorbenen Knospen.

2. Pflanze: Sproßaxe: 205 cm lang;

Blätter: die 10 unteren gelb, trocken,
12 frische, grüne, bis 74 mm Durchmesser;

Blüthen: keine, auch keine kenntlichen Knospen.

Also hinter Wasser 14 Blüthen und Blüthenknospen; hinter Chinin keine Blüthe und keine lebensfähige Knospe.

Die Chininlösung war in den letzten Tagen ein wenig fahl-bräunlich geworden, weshalb ich den Versuch beendigte.

Versuche von 1884.

Der ganz überraschende Erfolg veranlaßte mich, die Versuche weiter auszudehnen. Ich ließ dazu noch vier neue aber größere Kästen von Holz bauen. Die umseitige Figur giebt den Vertikalschnitt eines solchen und wird nach der obigen Beschreibung der älteren eisernen Kästen leicht verständlich sein; es ist nur zu bemerken, daß der Querschnitt (Grundriß) ungefähr quadratisch ist, daß die Kästen einen Boden haben, auf welchem ein mit feuchtem Sand bedeckter Zinkuntersatz mit Rand steht. Das Deckstück fällt nach hinten schief ab, um den schief auffallenden Sonnenstrahlen auszuweichen. — Die Cuvetten (von sehr dickem Glase) sind circa 56 cm hoch, 44 cm breit, die lichte Weite, also die Dicke der Flüssigkeitsschicht, ist in der Mitte ca. 38 bis 44 mm, verjüngt sich aber nach beiden Seiten hin. Der Hohlraum faßt 8 bis 9 Liter.

Die Thür an der Rückwand wird täglich einmal geöffnet und während der Nacht halb offen gelassen. Übrigens findet langsame Kohlensäurebildung aus der Erde der Töpfe statt, da diese stark humos ist. — Bei *l* ist ein 3 cm weites rundes Loch, welches entweder mit Baumwolle oder mit Kork geschlossen werden kann. Es dient zur Lüftung und gelegentlich zur Einführung der oben beschriebenen kleinen Apparate mit photographischem Papier.

Die leuchtende Fläche, die gewissermaßen das Fenster des Kastens darstellt, ist wegen der Einrahmung der Cuvette an den Rändern 50 cm hoch und 42 cm breit.

Aus diesen 4 Kästen wurden 2 Paare zusammengestellt, die in den Öffnungen zweier Fenster des dritten Stockwerks des Hauses aufgestellt wurden, das eine Paar in einem Ostfenster, das andere in einem Südfenster. Die beiden Eisenkästen gaben ein drittes Paar, welches im Ostfenster des zweiten Stockwerkes wie im Vorjahr aufgestellt wurde.

Die beschattende Überdeckung der Kästen mit Brettern unterließ ich diesmal, in der Meinung, durch freien Lichtzutritt die Vegetation zu kräftigen; direktes Sonnenlicht konnte die Cuvetten an den Ostfenstern in den Morgenstunden bis nach 10 Uhr treffen, am Südfenster von 9 bis 2 Uhr. Die ab und zu, jedoch nur kurze Zeit, 40° C. selbst übersteigende Erwärmung der Luft in den Kästen blieb, so weit ich urtheilen konnte, ohne üble Folgen für die Pflanzen.

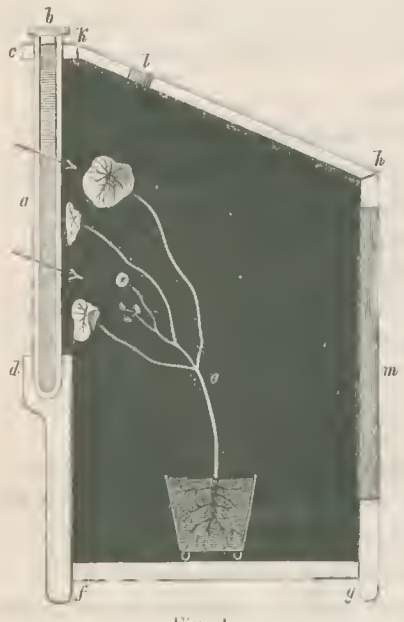

Fig. 1.

Vertikalschnitt eines Kulturkastens aus Holz. — *a* Cuvette; *b* Glasdeckel; *c-k* Rahmen für die Cuvette; *d* Basis der Cuvette; *f-g* Füße des Kastens; *h-k* schiefe Decke; *l* Loch; *o* Pflanze; Pfeile bedeuten Lichtstrahlen; *m* Thür an der Hinterwand.

Dagegen beging ich einen anderen Fehler, der dem Verlauf des Versuchs späterhin eine unerwünschte Wendung gab.

Die Chininlösung wurde in der beschriebenen Art hergestellt; dann aber setzte ich noch 3 pro Mille (Volumen) konzentrirte Schwefelsäure zu; dasselbe geschah auch bei den Wassercuvetten. Ich hoffte dadurch die Bildung von Algen in den Flüssigkeiten zu verhindern, was auch geschah; dagegen erschienen später Pilze, offenbar submerse Penicillium- und Mucormycelien, welche, zumal in den Chininlösungen, üppig wucherten und wohl dazu beitrugen, das Chinin später zu zersetzen; doch dürfte auch die allzustarke Beleuchtung, und diese vielleicht noch mehr, zur Veränderung der Lösung beigetragen haben. Diese wurde nämlich in der zweiten Hälfte der Versuchszeit rauchbraun. Sah man durch die Cuvetten gegen den leuchtenden Himmel, so erschien dieser feurigbraun. Wir werden sogleich sehen, wie dies auf die Vegetation hinter den Chininlösungen wirkte; dagegen verlief der Versuch bis zu der Zeit, wo die Bräunung lebhaft wurde, gerade so, wie 1883.

Der Versuch begann schon am 18. April; in jeden Kasten wurden zwei Töpfe mit je zwei soeben im Finstern auskeimenden Tropaeolumsamen gestellt. — Bei abwechselnd trühkaltem und sonnigem Wetter wuchsen die Pflanzen bis zu 14. Mai soweit, daß jede 6—8 kräftige Blätter besaß; ein Unterschied zwischen denen hinter Wasser und denen hinter Chinin war nicht zu erkennen.

Bis zum 15. Juni gab es nur wenig heitere und warme Tage, meist war das Wetter kalt und trüh. — Die Chininlösungen blieben bis zu dieser Zeit klar und farblos, nur einige Mycelien begannen aufzutreten. Der Versuch verlief bis hierher normal, wie folgende am 15. Juni gemachte Notizen beweisen.

I. Ostfenster im 2. Stockwerk (Eisenkästen).

A. Pflanzen hinter Wasser; haben zusammen:
34 frische, grüne Blätter, keines verdorben;
nur eine Pflanze hat eine Blüthe, diese aber groß, schön gefärht.

B. Pflanzen hinter Chinin; zusammen:
25 frische, grüne Blätter, 5 gelhe, trockene;
keine Blüthe, einige sehr kleine, gänzlich verdorbene Knospen.

II. Ostfenster im 3. Stockwerk (Holzkästen).

A. Pflanzen hinter Wasser; zusammen:
59 frische, grüne, 4 gelbe, trockene Blätter;
2 sehr schöne, offene Blüthen, viele gesunde kleine und größere Knospen.

B. Pflanzen hinter Chinin; zusammen:
48 frische, grüne, 14 verdorbene Blätter;
keine Blüthe; die winzig kleinen Blüthenknospen gänzlich verdorben.

III. Südfenster im 3. Stockwerk (Holzkästen).

A. Pflanzen hinter Wasser; zusammen:
59 Blätter frisch, 10 gelb, trocken;
4 schöne Blüthen, je 2 an einer Pflanze.

B. Pflanzen hinter Chinin; zusammen:
36 grüne, 23 gelbe, trockne Blätter;
eine kleine, sehwächliche Blüthe, alle Knospen verdorben.

Es hatten sich also bis zum 15. Juni hinter Wasser 7 normale, große, schöne Blüthen gehildet, hinter Chininlösung nur eine ahnorm schwächliche.

Bis hierher entspricht somit das erzielte Resultat fast genau dem im Vorjahr erzielten; nur fällt auf, daß hinter Chinin die eine, wenn auch abnorme Blüthe entstand; dies geschah jedoch am Südfenster, wo die Zersetzung und Bräunung der Lösung bereits weiter fortgeschritten war, als bei den anderen.

In den nächsten 14 Tagen bis zum 30. Juni trat die erwähnte Wendung im Verlauf der Vegetation hinter den Chininlösungen ein, die ich bis auf Weiteres, da ich eine andere Ursache nicht finde, dem Verderben der Chininlösungen zuschreibe.

Wie auffallend die Veränderung an den Pflanzen war, nachdem die Chininlösungen sich gebräunt hatten, zeigt folgender Befund am 30. Juni.

I. Ostfenster im 2. Stock:
hinter Wasser: 5 Blüthen offen,
» Chinin: 3 Blüthen offen, einige frische Knospen.

II. Ostfenster im 3. Stock:
hinter Wasser: 11 Blüthen offen, 3 beginnen sich zu öffnen,
» Chinin: beginnen 5 Blüthen aufzublühen, gesunde junge Knospen.

III. Südfenster im 3. Stock:
hinter Wasser: 9 Blüthen offen,
» Chinin: 2 Blüthen offen.

Seit 15. bis 30. Juni haben sich also im Ganzen gebildet:
hinter Wasser: 18 Blüthen,
» Chinin: 9 Blüthen.

Allerdings ist auch dieser Unterschied noch recht beträchtlich.

Es mag nun weiteren Untersuchungen überlassen bleiben, warum hinter den gebräunten Chininlösungen eine, wenn auch sehr verminderte Blüthenbildung erfolgt; dagegen kann aber auch behauptet werden:

So lange bei dem Versuch von 1884 die Chininlösungen unverändert waren, hat hinter ihnen keine Blüthenbildung stattgefunden.

Versuche von 1886.

Diese Versuche wurden mit denselben Kulturkästen wie 1884 angestellt. Dagegen wurde den Chininlösungen nur soviel Schwefelsäure zugesetzt, als zur Auflösung des schwefelsauren Chinins nöthig war.

Mehr als dies fällt in's Gewicht, daß die Apparate diesmal sämmtlich an die Nordfenster (im 1. Stockwerk) des Hauses gestellt wurden, wo direktes Sonnenlicht (auch gegen Abend) sie nicht treffen konnte.

Je ein Paar gleichartiger Kästen stand in einer Fensteröffnung dicht neben einander.

Die Chininlösungen blieben in den ersten 10 Wochen vollkommen wasserklar; als sie später anfingen sich zu bräunen, wurden diejenigen in den Holzkästen entleert und durch neue Lösung ersetzt, während die in dem Eisenkasten nicht erneuert wurde und an Bräunung ein wenig, doch kaum merklich zunahm.

Am 26. April wurden in jeden Kasten 3 Töpfe (10 cm hoch und weit) mit je drei keimenden Samen (in humoser Gartenerde) gestellt; die Keime begannen soeben die Erddecke zu heben.

Das Wachsthum war Anfangs sehr langsam, später kräftig. Ende Mai war kaum ein deutlicher Unterschied zwischen den Pflanzen hinter Wasser und denen hinter Chinin wahrzunehmen, wenn man je ein zusammengehöriges Paar von Kästen verglich. — Dann kam im Juni wochenlang kühles Wetter (bis 8° C. zu Mittag sinkende Temperatur) mit meist trübem Licht, wobei die Pflanzen wenig assimilirten und ein wenig etiolirten; die schön grünen Blätter erreichten aber doch 17—18 □cm Fläche. Ich muß dabei jedoch bemerken, daß gleich alte, in gleich großen Töpfen, an einem gleichen Nordfenster ohne Bedeckung erwachsene Pflanzen nur ebenso große Blätter hatten.

Am 28. Juni (also 8 Wochen nach der beginnenden Keimung) wurde Folgendes aufgezeichnet:

Erstes Paar Kästen (I.):
hinter Wasser: kleine, gesunde Blüthenknospen,
» Chinin: auch nicht die kleinste Blüthenknospe bemerkbar.

Zweites Paar Kästen (II.):
hinter Wasser: eine schöne Blüthe offen, eine zum Öffnen bereit.
» Chinin: keine Blüthenknospe erkennbar.

Drittes Paar (eiserne) Kästen (III.):
hinter Wasser: 4 Blüthen offen,
» Chinin: keine Blüthe; aber einige winzig kleine, kaum 0,5 mm lange Knospen, obgleich hier die Blätter etwas kräftiger als hinter Wasser.

Am 5. Juli (I., II., III. wie vorhin):
I. hinter Wasser: eine Blüthe offen,
» Chinin: keine Blüthe, winzig kleine Knospen verdorben.
II. hinter Wasser: 3 Blüthen offen,
» Chinin: keine Knospe sichtbar.
III. hinter Wasser: 3 welke und 2 frische Blüthen, diese sehr schön,
» Chinin: eine Blüthe! doch auffallend klein: eine weitere Blüthe hat sich nicht gebildet.

Am 11. Juli:

I. hinter Wasser: 2 Blüthen offen, große Knospen,
» Chinin: keine Blüthe, keine Knospe.

II. hinter Wasser: 5 welke und 10 frische Blüthen,
» Chinin: keine Blüthe, keine Knospe.

III. hinter Wasser: 3 welke und 2 frische Blüthen,
» Chinin: die Blüthe vom 5. Juli welk.

Am 13. Juli: die ein wenig fahl gewordenen Chininlösungen in I. und II. durch neue ersetzt.

Am 15. Juli:

I. hinter Wasser: 5 Blüthen offen, viele große 3—6 mm lange Knospen,
» Chinin: keine Blüthe, keine Knospe.

II. hinter Wasser: 9 gewelkte, 8 frische Blüthen, große Knospen,
» Chinin: keine Blüthe, keine Knospe.

III. hinter Wasser: 4 gewelkte, 1 offene Blüthe, 3 Blüthen soeben sich öffnend; große Knospen,
» Chinin: einige 2—3 mm lange Knospen, die oben verdorben, gelb.

Am 16. Juli wurden in I. und II. einige frische Blüthen mit den Antheren von im Garten erwachsenen Pflanzen bestäubt, um zu sehen, ob Fruchtansatz eintreten werde; dies geschah auch an den Blüthen, die Früchte wurden ganz normal in Größe und Form, doch nicht reif, da der Versuch vorher unterbrochen wurde.

Am 20. Juli (seit 16. Juli warmes, sonniges Wetter):

I. hinter Wasser: 2 welke und 7 frische Blüthen,
» Chinin: sehr kleine Blüthenknospen an den Gipfeln.

II. hinter Wasser: 14 alte, verwelkte, 5 frische Blüthen,
» Chinin: keine Blüthe, an einem der Gipfel 5 sehr kleine Knospen.

III. hinter Wasser: 7 welke, 5 frische Blüthen, große Knospen,
» Chinin: an den Gipfeln einige sehr kleine grüne Knospen.

Am 28. Juli:

I. hinter Wasser: 10 verwelkte, 5 frische Blüthen; eine Frucht von normaler Größe und Form,
» Chinin: einige 2—3 mm lange Knospen.

II. hinter Wasser: 21 verwelkte, 2 frische Blüthen,
» Chinin: keine Blüthe und keine Knospe.

III. hinter Wasser: 9 verwelkte und 7 frische Blüthen, eine unreife normale Frucht.

» Chinin: an den Gipfeln einige kleine, frische Knospen: ältere sehr kleine Knospen vergilbt.

Am 29. Juli wurde der Versuch beendigt; die Pflanzen über der Erde abgeschnitten und Folgendes notirt:

Auch die zuletzt hinter Wasser entstandenen Blüthen sind ganz normal geformt und gefärbt, gerade so groß und schön, wie bei Pflanzen, welche in gleich großen Töpfen frei am Nordfenster standen.

Die Pflanzen hatten vor einigen Wochen in den Kästen Gestelle erhalten, um nicht unter der eigenen Last umzusinken; sie füllten den Raum der Kästen sozusagen aus, waren vielfach durcheinander geschlungen und nach dem Herausnehmen schwierig zu entwirren.

Pflanzen hinter Wasser.

In I. hatte eine nicht gekeimt, 2 Pflanzen sind kümmerlich entwickelt und haben nicht geblüht; demnach haben von den 9 Samenkörnern nur 6 blühende Pflanzen erzeugt und diese zusammen 16 Blüthen gebracht.

In II. haben alle 9 Pflanzen geblüht und zusammen 23 Blüthen gebracht.

In III. haben von den 9 Pflanzen 4 gar keine Blüthen, wohl aber Knospen; die 5 anderen Pflanzen haben zusammen 17 Blüthen erzeugt.

Im Ganzen sind also an 20 Pflanzen 56 Blüthen entstanden, wogegen an **26 Pflanzen hinter Chininlösung** (eine von den 27 war verkümmert) nur eine verkümmerte Blüthe entstanden war.

Die längsten Sproßaxen waren:

hinter Wasser: 2,2—2,5—2,8 m lang,

hinter Chinin: 2,2 m.

Die Zahl sämmtlicher Blätter, nach der Ernte gezählt:

hinter Wasser: 511 (bei den blühenden Pflanzen),

hinter Chinin: 459.

Das Frischgewicht:

hinter Wasser: der 20 geblühten Pflanzen = 263 gr (pro Pflanze = 13 gr),

hinter Chinin: der 26 Pflanzen = 234 gr (pro Pflanze = 9 gr).

Die Trockengewichte wurden nicht bestimmt.

Von sämmtlichen Blättern in allen 6 Kästen waren bei der Ernte nur noch ungefähr die halbe Zahl und zwar die jüngeren frisch grün; die älteren waren der Altersreihe nach ausgesogen, gelb, wie es bei Versuchspflanzen mit mangelhafter Beleuchtung und in kleinen Töpfen immer zu geschehen pflegt.

Die mittlere Größe der frischen Blattflächen betrug:

hinter Wasser: 12,56 □cm,

hinter Chinin: 12,65 □cm.

Betrachtung der Ergebnisse der bisher gemachten Versuche.

Sowohl hinter Wasser wie hinter Chininlösung brachten die Pflanzen keine vegetativen Achselsprosse (Laubsprosse) hervor; nur die schwach gewachsenen hatten aus den Achseln der Cotyledonen schwache Laubtriebe gebildet. Offenbar spricht sich darin nur die Schwäche der Vegetation überhaupt aus, wie sie durch den beengten Raum in den Kästen, durch die geringe Lichtmenge hinter den Cuvetten und durch die Beengung der Wurzeln in den kleinen Blumentöpfen veranlaßt wurde.

Das zu geringe durch die Cuvetten fallende Lichtquantum darf auch als die alleinige Ursache davon gelten, daß alle Versuchspflanzen ein wenig isolirt waren, d. h. ihre Sproßaxen und Blattstiele waren länger als bei freiem Wuchs unter sonst gleichen Umständen. Die Blattflächen dagegen waren eben so groß wie im letzteren Fall, auch ebenso kräftig grün; nur waren sie, wie immer unter ähnlichen Umständen, zarter, als an freier Luft.

Diese Folgen des partiellen Lichtmangels in den Kästen machen sich, wie die mitgetheilten Zahlen lehren, etwas stärker hinter klarer, nicht gebräunter Chininlösung, als hinter Wasser geltend; die Stengel sind mehr verlängert, auch wohl etwas dünner, das Gewicht der Pflanzen etwas kleiner; allein die Größe der Blattfläche ist kaum geringer, als hinter Wasser. Überhaupt sind die Verschiedenheiten so gering, daß sie erst bei der Messung und Wägung auffallen; das Aussehen der Pflanzen in den Kästen läßt kaum erhebliche Differenzen erkennen. — Auch wäre es unrichtig, diese kleine Differenz zu Ungunsten der Pflanzen hinter Chinin für die Ursache des Unterbleibens der Blüthenbildung zu halten; denn Pflanzen derselben Art, welche viel ungünstiger situirt sind, deren Ernährung viel mangelhafter ist, blühen doch reichlich.

Die Zurückdrängung der Blüthenbildung hinter Chinin kann daher nur einer ganz spezifischen Wirkung des seiner ultravioletten Strahlen beraubten Lichtes zugeschrieben werden, oder richtiger gesagt, die Blüthenbildung ohne Vermittlung des Chinins ist eine Folge der Einwirkung der ultravioletten Strahlen.

Nun mußte ich freilich zwei Fälle verzeichnen, wo auch hinter klarer Chininlösung eine einzelne Blüthe entstand; allein die wahre Ursache dafür ist noch nicht aufgefunden; ebenso unerklärlich ist einstweilen, warum 1884, nachdem die Chininlösungen sich gebräunt hatten, eine ziemlich lebhafte Blüthenbildung hinter ihnen eintrat.

Wenn man jedoch im Verlaufe dreier Sommer die Versuche verfolgt hat, so machen dieselben den Eindruck, daß bei normalem Verlauf derselben durch die Intervention des Chinins, durch die Wegnahme der ultravioletten Strahlen, die Blüthenbildung verhindert wird.

Selbstredend wird es nun darauf ankommen, dieses Resultat weiter

zu prüfen, auch andere zu dem Versuch geeignete Pflanzen zu beobachten. Ich muß dabei aber auf Grund meiner alten und vielfältigen Erfahrungen sogleich auf eine Quelle von Irrthümern hinweisen, denen diejenigen ausgesetzt wären, die nun sofort irgend eine beliebige Pflanze hinter Chinin setzen und den Erfolg betreffs der Blüthenbildung beobachten wollten. Wollte man Knollen, Zwiebeln und Rhizome dazu benutzen, so würde man in vielen Fällen voraussichtlich hinter Chinin eben so schöne Blüthen bekommen, wie hinter Wasser und im gewöhnlichen Tageslicht; denn in diesen Fällen, wie bei Tulpen, Hyacinthen, Crocus, Iris u. s. w., sind die Blüthen schon längst angelegt und kommen, wie ich bereits 1863 bewiesen habe[1]), auch in tiefer Finsterniß zur vollen Kraft und Entfaltung. Aber sie brauchen nicht einmal als Knospen angelegt zu sein; es genügt, daß blüthenbildende Stoffe in den Reservestoffbehältern enthalten sind, um die Blüthenbildung auch im Finstern, also auch ohne ultraviolette Strahlen, zu ermöglichen. Es muß also, wenn derartige Versuche irgendwie mitreden sollen, vorher konstatirt werden, ob die Versuchspflanzen in dem Zustand, wie man sie verwenden will, nicht auch in tiefer Finsterniß noch Blüthen bilden, was ja, wie ich (l. c.) gezeigt habe, häufig genug geschieht.

Es handelt sich bei den Chininversuchen nicht blos darum, ob schon vorhandene Blüthenknospen, wenn auch noch so klein, ohne ultraviolette Strahlen sich entfalten können, sondern darum, ob erste Anlage und Entfaltung derselben stattfindet. Meine Beobachtungen zeigen nun, daß häufig schon die erste, mit unbewaffnetem Auge sichtbare Anlage von Blüthenknospen unterbleibt, daß diese jedoch häufig stattfindet, daß dann aber die noch sehr jungen Knospen absterben.

Nach den in meinen Aufsätzen über »Stoff und Form« dargelegten Grundsätzen[2]) komme ich nun zu dem Schluß, daß die ultravioletten Strahlen in den grünen Blättern (neben der durch die gelben und benachbarten bewirkten Assimilation) noch eine andere Wirkung ausüben, die in der Erzeugung blüthenbildender Stoffe besteht; diese wandern aus den Blättern in die Vegetationspunkte, wo sie die Umbildung derselben in Blüthen bewirken.

Bei den Missverständnissen, denen meine erwähnten Aufsätze in Folge der festsitzenden veralteten Vorurtheile ausgesetzt gewesen sind, wird es gut sein, hier ausdrücklich zu bemerken, daß ich unter dem Ausdruck »blüthenbildende Stoffe« nicht etwa die ganze Stoffmasse (Eiweißstoffe, Kohlehydrate, Fette, Farbstoffe u. s. w.) verstehe, aus denen eine fertige Blüthe oder selbst eine junge Knospe besteht. Vielmehr nehme ich an, daß äußerst geringe Quantitäten einer oder verschiedener

1) Beilage zur botan. Zeitung 1863.
2) Arbeiten des bot. Instit. Bd. II. p. 452 und 689.

Substanzen (ehemischer Verbindungen) in den Blättern entstehen, die es bewirken, daß die den Vegetationspunkten ohnehin zuströmenden allbekannten Baustoffe die Form von Blüthen annehmen. Diese blüthenbildenden Stoffe können, ähnlich wie Fermente, auf größere Massen plastischer Substanzen einwirken, während ihre eigene Quantität verschwindend klein ist.

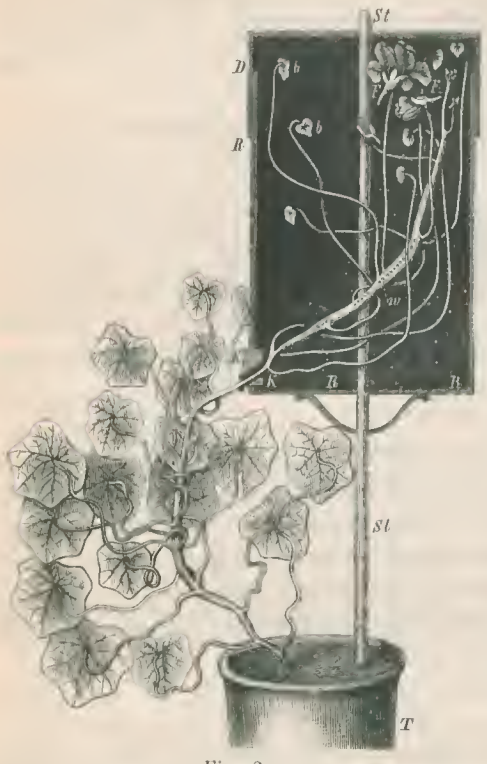

Fig. 2.

Tropaeolum majus; die Pflanze war vorher an einem gut beleuchteten Fenster so weit herangewachsen, daß 18 Laubblätter ausgebildet waren; nachdem alle Achselsprossen, auch die Blüthenknospen entfernt waren, wurde der 2—3 cm lange Sproßgipfel durch den halbirten Kork *K* in den Raum des aus dickem Pappdeckel bestehenden Recipienten *R* eingeführt, der durch die Stange *St* getragen wird; *D* ist ein ebenfalls aus Pappdeckel bestehendes Deckstück, welches abgehoben werden kann, um den Zustand des etiolirten Sprosses im Recipienten zu besichtigen. Ungefähr $^1/_3$ der natürl. Größe.

Zugegeben nun, daß diese meine Hypothese, die ich bereits 1863 (l. c.) im Sinn hatte[1]), richtig ist, so entsteht noch die Frage, warum ich annehme, daß die spezifisch blüthenbildenden Stoffe nicht an Ort und Stelle, wo sie gebraucht werden, also in den Vegetationspunkten der Blüthen selbst, sondern in den grünen Blättern und zwar unter dem Einfluß des Lichts (resp. der ultravioletten Strahlen) entstehen.

Die Antwort auf diese Frage ist bereits in dem citirten Aufsatz von 1863 enthalten und findet ihre weitere Bestätigung in einem späteren von 1865 (Botan. Zeitung No. 15 ff.), dessen wesentlich hierher gehörige Stellen ich ebenfalls in dem II. Bd. der »Arbeiten« p. 460 reproducirt habe. Doch wird es bei der Wichtigkeit der Sache nicht überflüssig sein, mich nochmals, unter Zuhilfenahme der vorstehenden Figur näher zu erklären. Dieselbe ist dem soeben citirten Aufsatz »Über die Wirkung des Lichts auf die Blüthenbildung unter Vermittelung der Laubblätter« entnommen (in verkleinertem Maßstab). Ich benutze dieselbe um so lieber, als es sich

1) Vergl. Beilage zur botan. Zeitung 1863 p. 23, sowie auch Arb. d. bot. Instit. Bd. II. p. 459.

dabei ebenfalls um unsere Versuchspflanze, Tropaeolum majus, handelt. Einen ganz ähnlichen Versuch mit Cucurbita habe ich auch in meinen »Vorlesungen über Pflanzenphysiologie« 1882 p. 428 abgebildet. Führt man den Gipfel einer belaubten Pflanze nach Wegnahme aller Achselknospen in einen finsteren Raum ein, so wächst er dort kräftig fort, indem die Internodien und Blätter etioliren. Ist die außerhalb des finsteren Raumes befindliche Blattfläche zu gering, oder ist bei reicher Belaubung die Licht-Intensität nicht ausreichend, so erfolgt zwar noch immer ein reichliches Wachsthum vegetativer Organe im Finstern, aber die Blüthenbildung unterbleibt oder sie ist abnorm kümmerlich; ja, man hat es in der Hand, durch Wechsel der Beleuchtung oder durch Wegschneiden der im Licht befindlichen Laubblätter, die Blüthenbildung innerhalb des Recipienten im angegebenen Sinne zu beeinflussen. — Je reichlicher die Belaubung am Licht, je intensiver dieses selbst ist, desto reicher ist die Neuanlage und desto normaler und schöner die Entfaltung der Blüthen am Gipfel innerhalb des finsteren Raumes, wobei zwischen den assimilirenden Blättern und dem blüthenbildenden Gipfel eine Wegstrecke (Sproßlänge) von 1 bis 3 Meter liegen kann.

Diese von mir seit 25 Jahren immer wieder von Neuem constatirte, selbst zum Zweck der Demonstration in meinen Vorlesungen benutzte Thatsache läßt, wie ich meine, keinen Zweifel darüber, daß die blüthenbildende Substanz in den grünen Blättern unter dem Einfluß des Lichts entsteht. Was aber die hier beschriebenen Chininversuche betrifft, so zeigen sie, daß es betreffs der Blüthenbildung nicht allein auf die der Assimilation dienenden gelben und benachbarten Strahlen, sondern vor Allem auf die der Assimilation gleichgiltigen ultravioletten Strahlen ankommt.

Wir kennen also jetzt drei in ihrer physiologischen Wirkung wesentlich verschiedene Regionen des Sonnenspektrums: die gelben und benachbarten Strahlen bewirken die Kohlensäurezersetzung (resp. Stärkebildung); die blauen und sichtbaren violetten wirken als Bewegungsreize, die ultravioletten erzeugen in den grünen Blättern die blüthenbildenden Stoffe.

Es liegt nun aber der Einwand sehr nahe, daß bei den nicht chlorophyllhaltigen Phanerogamen, den Parasiten und Humusbewohnern, doch auch Blüthen entstehen, während die hier geltend gemachten Erwägungen auf sie offenbar keine Anwendung finden. Ich möchte dagegen nur bemerken, daß ja dasselbe Resultat in der organischen Welt sehr oft auf verschiedenen Wegen erreicht wird; selbst die so überaus wichtige Chlorophyllbildung, welche bei den Angiospermen und Equiseten vom Lichte vermittelt wird, findet bei den Keimblättern der Coniferen und bei den Farnblättern in tiefer Finsterniß statt. Bei den chlorophyllfreien Pflanzen mögen also blüthenbildende Stoffe ohne direkte Einwirkung des Lichts entstehen; das

schließt aber nicht aus, daß ihre Entstehung bei normalen grünen Pflanzen vom Licht und speziell von den ultravioletten Strahlen abhängt.

In all diesen Erwägungen ist noch viel Problematisches und Hypothetisches; ich wollte sie aber trotzdem nicht verschweigen, weil erst durch sie die mitgetheilten Thatsachen ein allgemeines Interesse erlangen, und vor Allem deshalb, weil ich eben durch derartige Überlegungen, die mich seit vielen Jahren beschäftigen, dazu gelangt bin, die Chininversuche anzustellen; es war keineswegs ein Zufall, der mich dazu veranlaßt hätte.

Sind aber meine Versuchsresultate und Erwägungen richtig, so liegt in ihnen ein neues Argument für meine Ansichten über Organbildung im Pflanzenreiche, wie ich sie in den Aufsätzen über »Stoff und Form« im 2. Bd. der »Arbeiten« dargelegt habe, und zugleich, wie ich kurz hinzufügen möchte, gegen Nägeli's Idioplasma.

Würzburg, 1. November 1886.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: Über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Blüthenbildung 375-388