

Landwirtschaftliche Jahrbücher Zeitschrift für den wissenschaftlichen
Landbau

Bd.: 6. 1877

Berlin 1877

4 Oecon. 194 m-6

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11353104-4

Ueber den Ursprung des Kohlenstoffs der Pflanzen.

Von

Dr. J. W. Moll — Utrecht.

I. Einleitung und Literatur.

Wie bekannt, besteht ein großer Theil der festen Pflanzen-Substanz aus Kohlenstoff und verdankt die Pflanze diesen ausschließlich der sich in ihrer Umgebung befindenden Kohlensäure. Unter dem Einfluß des Lichtes wird diese Kohlensäure von den grünen Pflanzentheilen, vorzugsweise den Blättern, zersetzt, und dabei Sauerstoff ausgehaucht; der Kohlenstoff dagegen wird zum Aufbau des Pflanzenleibes verwendet.

Nun fragt es sich aber, woher die Pflanze die zu ihrer Entwicklung nothwendige Kohlensäure bekommt.

Offenbar giebt es für Landpflanzen nur zwei verschiedene Quellen, aus denen der Kohlenstoff den grünen Blättern in der Form von Kohlensäure möglicherweise zugeführt werden kann: erstens die Atmosphäre und zweitens der Boden. Aus der umgebenden Luft könnten die Blätter unmittelbar Kohlensäure aufnehmen und dann zersetzen. Im Boden aber könnte dieses Gas von den Wurzeln aufgesaugt, und dann durch Stengel und Blattstiele zu den Blättern geführt werden, um in diesen seinen Kohlenstoff abzugeben.

Eine dritte Quelle besteht nicht; a priori ist es aber keineswegs unmöglich, daß sowohl die Atmosphäre, wie der Boden, beide einen Theil des Kohlenstoffbedarfs der Pflanze liefern.

Daß nun ein sehr großer Theil des Kohlenstoffes ohne Weiteres von den Blättern der Atmosphäre entnommen wird, kann gegenwärtig von Niemand mehr bezweifelt werden.

Den direkten Beweis, daß die Blätter die spärlich in der atmosphärischen Luft vertheilte Kohlensäure aufnehmen können, verdanken wir Boussingault. War auch schon früher von verschiedenen Forschern die Sache mehr als wahrscheinlich gemacht, doch hatte noch keiner seine Versuche dergemäß angeordnet, daß die Möglichkeit der Kohlensäureaufnahme durch Wurzeln oder Schnittflächen ganz ausgeschlossen war.

Wegen der Wichtigkeit des Boussingault'schen Versuchs, erlaube ich mir hier

in aller Kürze darüber zu referiren, auch darum weil wir sehen werden, daß Unger sich bei seinen Untersuchungen über die Kohlensäurefrage vorwiegend auf Boussingault's Versuchsergebnisse gestützt hat.

Ein kräftig vegetirender Zweig der Weinrebe, mit ungefähr zwanzig Blättern versehen, wurde durch die Oeffnung eines Glasballons von 15 Liter Inhalt hineingeschoben, und der Zweig in der Oeffnung luftdicht befestigt. Im Ballon waren noch weitere zwei Oeffnungen: die eine führte zur äußeren Luft, die andere zu einem Apparate, in dem der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre genau bestimmt werden konnte. Mittelft eines mit Wasser gefüllten Aspirators wurde nun die atmosphärische Luft erst durch den Ballon, dann durch den Kohlensäurebestimmungs-Apparat geführt, und zwar zwölf Liter in einer Stunde. Es ergab sich, daß in einem Falle die Luft, nachdem sie am Zweige vorübergegangen war, 0.0002 Volumentheile Kohlensäure enthielt, während der Gehalt der freien Luft an demselben Ort 0.00045 Volumentheile betrug. In einem anderen Falle waren die Verhältnisse für die Kohlensäureaufnahme der Pflanze günstiger, da die Luft, welche ursprünglich 0.0004 Theile Kohlensäure enthielt, als sie an die Pflanze vorübergegangen war, nur noch 0.0001 besaß. In dem letzteren Falle hatte also die durchgesaugte Luft dreiviertel ihrer Kohlensäure an die Pflanze abgeben müssen.¹⁾

Später wurde dieser Versuch bei verschiedenen Pflanzen von Vogel und Wittwer²⁾ wiederholt, kurz darauf auch von Rauwenhoff³⁾, und stets waren die Resultate im Allgemeinen die nämlichen. Fast zur selben Zeit wurde die Kohlensäureaufnahme aus der Atmosphäre von Harting noch in anderer Weise festgestellt. Aus seinen Versuchen ergab sich, daß ein abgeschnittener Stengel von *Fritillaria imperialis* in luftfreies destillirtes Wasser gestellt, sich kräftig entwickelte und in 25 Tagen der Atmosphäre ein Gramm Kohlenstoff entnahm. Das Wasser war vermitteltst einer Oelschicht vor Einwirkung der Luft geschützt.⁴⁾

Wenn auf diese Weise experimentell bewiesen wurde, daß die Atmosphäre als eine Quelle des Kohlenstoffs für die Pflanzen betrachtet werden darf, so kommen dazu noch einige allgemein bekannte Thatsachen, die den Nachweis liefern, daß die Kohlensäure der Atmosphäre vollkommen genügt, um die Pflanzen ihren normalen Entwicklungskreis vollenden zu lassen.

Man bedenke nur, daß die Anwesenheit von lebenden Pflanzen, anstatt den

1) Boussingault, *Économie rurale, considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie*. 1844. Tome I. p. 66.

2) A. Vogel und W. G. Wittwer, Ueber den Einfluß der Vegetation auf die Atmosphäre. *Abhandl. der math.-phys. Klasse der königl. bayer. Akademie der Wissensch.* Bd. VI. 1852. S. 265.

3) N. W. P. Rauwenhoff. *Onderzoek naar de betrekking der groene plantendeelen tot de zuurstoffen het koolzuur desdampkrings, onder den invloed van het zonlicht*. Deel II. 1853.

4) P. Harting in „Aanteekeningen van het verhandelde in de Sectie voor natuur- en geneeskunde van het Provinciaal Utrechtsch Genootschap van kunsten en wetenschappen“ 1853—1854. S. 156.

Boden an Kohlenstoff ärmer zu machen, denselben daran bedeutend bereichert. Um sich von dieser Thatsache zu überzeugen, braucht man nur die schwarze, humusreiche Erdkruste zu betrachten, die jeden Sandboden bedeckt, welcher, sich selbst überlassen, nach einiger Zeit mit Moos- oder Haidepflanzen bewachsen war. Daß in diesem Falle aller Kohlenstoff am Ende aus der Atmosphäre stammen muß, ist deutlich.

Auf dieselbe Weise können uns die sogenannten Wasserkulturen belehren. Eine Pflanze, deren Wurzeln in reinem Wasser verweilen, das nur einige (nicht kohlen-saure) Salze in Lösung hat, kann dennoch eine große Menge von Kohlenstoff in ihren Geweben anhäufen. Ja selbst kann eine solche Pflanze innerhalb eines gewissen Zeitraumes ebensoviel feste Substanz erzeugen, als eine andere, unter denselben Bedingungen lebende, die sich aber mit ihren Wurzeln in humusreicher Erde befindet. Es leuchtet ein, daß auch bei diesen Wasserkulturen aller Kohlenstoff aus der Atmosphäre zugeführt wird.

Nach dem schon Besprochenen mag es also als sicher gelten, daß der Kohlen-säuregehalt der atmosphärischen Luft vollkommen genügt, den normalen Kohlenstoffbedarf der Pflanzen zu erfüllen, ohne daß dieselben sich auch vermittelt der Wurzeln dieses Gas aus dem Boden zu holen brauchen.

Dazu aber ist es keineswegs von vornherein gewiß, daß die Wurzeln die Fähigkeit besitzen, Kohlen-säure aus dem Boden aufzunehmen, ja sogar giebt es einige Thatsachen, die dies, wenigstens unter gewissen Umständen, als nicht wahr-scheinlich erscheinen lassen.

Da doch jede Wurzel während ihres Lebens fortwährend Sauerstoff aus ihrer Umgebung aufnimmt, um dafür Kohlen-säure abzugeben, so wird sie auch fortwährend etwas Kohlen-säure in ihren Säften gelöst haben, ja möglicherweise soviel, daß die Diffusion dieses Gases aus dem Boden in die Wurzeln nicht stattfinden kann.

So könnten unter gewissen Umständen die Wurzeln selbst Kohlen-säure aus-scheiden. Diese Ausscheidung ist vielleicht von Sachs schon wahrgenommen worden, als er polirte Platten von Marmor, Gyps u. s. w. von den Keimwurzeln ver-schiedener Pflanzen korrodiren ließ.¹⁾ Immerhin muß man aber gestehen, daß es in diesen Versuchen nicht gelang, festzustellen, daß die von den Wurzeln ausge-schiedene Säure wirklich Kohlen-säure war. Eine andere ziemlich allgemein bekannte Thatsache macht dies aber sehr wahrscheinlich. Wenn man nämlich in Wasser getauchte Wurzeln in eine sehr verdünnte wässerige Lösung von neutralem, blauen Lackmus bringt, so wird die blaue Farbe sehr rasch in eine rothe umgewandelt. Es genügt dann aber, die rothe Flüssigkeit zu erwärmen, um alsbald die blaue Farbe wieder erscheinen zu lassen.

Das hier Behandelte mag zum Nachweise genügen, daß die Aufnahme von Kohlen-säure durch die Wurzeln keineswegs als eine nothwendige Folge des Kohlen-säuregehaltes des Bodens betrachtet werden darf.

Dennoch muß aber zugegeben werden, daß unter anderen Umständen, nament-

1) Sachs, Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen. 1865. S. 188 ff.

lich in einem sehr kohlen säurereichen Boden, die Möglichkeit der Kohlen säureaufnahme durch die Wurzeln keineswegs ausgeschlossen werden darf.

Zumal unsere Kulturpflanzen leben in einem Boden der, wie bekannt,¹⁾ sehr viel Kohlen säure enthält, welche zum größten Theile den organischen Düngungs-substanzen ihren Ursprung verdankt. Es konnte also die Vermuthung nicht fern liegen, daß die Düngung mit organischen Substanzen auch dadurch den Pflanzen vortheilhaft sei, weil sie den Wurzeln eine ausgiebige Quelle der Kohlen säure anbietet. Diese Kohlen säure könnte, in die grünen Blätter geführt, daselbst zu einer ausgiebigeren Kohlen säurezersehung Veranlassung geben, als wenn die Blätter ihre Kohlen säure ausschließlich aus der umgebenden Luft schöpfen müssen.

Wenn man auch zugeben muß, daß die Pflanze in der Luft eine genügende Menge Kohlen säure vorfindet, um ihren normalen Entwicklungskreis zu vollenden, so könnte doch die aus dem Boden aufgenommene Kohlen säure von einem üppigeren Wachsthum und von einer reicheren Ernte die Ursache sein.

Dergleiche Vorstellungen sind in der Literatur nicht unvertrofen geblieben, wenn die Frage auch bis jetzt keiner experimentellen Prüfung im strengeren Sinne des Wortes unterworfen wurde.

So war Liebig im Allgemeinen der Ansicht zugethan, daß die Pflanzen einen Theil ihres Kohlenstoffes dem Boden verdanken.

Wie man weiß, war er ein Gegner der Lehre, daß die Pflanzen eben so gut wie die Thiere, den freien Sauerstoff der Atmosphäre zur Unterhaltung ihres Lebens bedürfen, und dafür dieselben Volumina Kohlen säure aushauchen. Dem entsprechend basirt sich seine Erklärung der Thatsache, daß die grünen Pflanzentheile Nachts Kohlen säure abgeben, auf die Behauptung, daß die von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommene Kohlen säure „mit dem verdunsteten Wasser von der Pflanze an die Atmosphäre unverändert wieder zurückgegeben wird, wenn die Ursache der Fixirung des Kohlenstoffes, wenn das Licht fehlt.“²⁾

Uebrigens stellte er sich vor, daß die ganz junge Pflanze sich ausschließlich mit aus dem Boden aufgenommener Kohlen säure nährt, indem sie in einer späteren Entwicklungsperiode der Kohlen säure des Bodens nicht mehr bedarf. Endlich sagt er: „In den heißen Sommermonaten, wo der Mangel an Feuchtigkeit die Zufuhr von Nahrungstoff aus dem Boden hemmt, schöpft sie (die Pflanze) den Kohlenstoff ausschließlich aus der Luft.“³⁾

Einer anderen Meinung ist Boussingault zugethan, wenn er sagt: „D'après ce que nous avons vu jusqu' à présent, nous sommes autorisés à croire que la plus grande partie, sinon la totalité du carbone qui entre dans la constitution des organes des plantes, dérive de l'acide carbonique atmosphérique.“⁴⁾

1) Boussingault, *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*. Tome second, p. 82—126.

2) Liebig, *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrifultur und Physiologie*. Achte Aufl. 1865. Theil I. S. 33.

3) a. a. O. S. 40.

4) Boussingault, *Économie rurale*. Tome I. p. 68.

Diese Meinung stützt sich vorwiegend auf dem schon oben beschriebenen Versuche mit der Weinrebe. Dieser Versuch wurde, wie ich dort schon hervorhob, eigentlich von Boussingault eingestellt, um als Thatsache festzustellen, daß die in der Atmosphäre, im gasförmigen Zustande spärlich vertheilte Kohlensäure unmittelbar von den Blättern zerseht werden kann. Es ist gewiß nicht richtig aus einem solchen Versuchsergebnisse zu schließen, daß die Pflanze ihren Kohlenstoff ausschließlich aus der Luft erhält. Noch weniger aber ist es, wie wir sehen werden, gestattet, mit Unger von diesem Versuche ausgehend, zum Schluß zu gerathen, daß der Kohlenstoff ebenso durch die Wurzeln, als durch die Blätter in die Pflanze gelange.

Wird von Liebig und Boussingault die Frage, ob die Pflanze einen Theil ihres Kohlenstoffes aus dem Boden empfängt, nur beiläufig berührt, und sprechen sie nur ihre Meinung aus, ohne dieselbe durch Experimente, als die wahre festzustellen zu suchen; anders verhält es sich mit Unger. Von diesem Forscher wurden die bezüglichen Verhältnisse ausführlich besprochen und experimentell untersucht. Zu welchem Resultate er gelangte, ist schon oben gesagt.

Seine ganze Darstellung fordert die Kritik entschieden heraus, und weil sie nach meiner Ansicht von manchen Fehlern nicht loszusprechen ist, will ich hier etwas näher darauf eingehen.

Unger richtet sich insbesondere gegen Liebig und Boussingault, weil diese die Meinung vertheidigt haben sollen, daß die Pflanze sich allen Kohlenstoff aus der Atmosphäre schöpft.¹⁾ Wenn man dies vielleicht für Boussingault zugeben könnte, so war nach dem oben gesagten bei Liebig gerade das umgekehrte der Fall.

Von den Zahlen des Boussingault'schen Versuchs mit der Weinrebe ausgehend, berechnet nun Unger, wie viel Kohlenstoff der zu diesem Versuch verwendete Zweig in 6 Monaten aufgenommen haben würde, wenn derselbe sich immer unter denselben Umständen befunden hätte. Zugleich giebt er auch an, wie viel nach seiner Schätzung die Gesammtoberfläche der Blätter dieses Zweiges betragen haben wird. Es ergiebt sich auf diese Weise, daß der Zweig innerhalb sechs Monate aus der Atmosphäre einen Gewinn an Kohlenstoff von 3.3838 Grm. haben könnte.

Weiter berechnet er von denselben Daten ausgehend, daß ein Morgen Landes aus der Atmosphäre jährlich nur sechzig Pfund Kohlenstoff empfangen kann, während nach Liebig's Angabe mehr als tausend Pfund auf diese Fläche, in der That an Kohlenstoff geerntet werden²⁾.

Gegen den Gebrauch einer derartigen Berechnungsmethode läßt sich aber von vorneherein das Folgende einwenden. Boussingault hat den beschriebenen Versuch, wie wir schon sahen, nicht zu quantitativen Zwecken gemacht, und es war die Einrichtung auch derart, daß er nie zu solchen dienlich sein kann. Hauptsache ist es hierbei, daß der Kohlensäuregehalt der Luft im Ballon offenbar ein ganz anderer gewesen ist, als der der umgebenden Atmosphäre. Dies ergiebt sich ohne Weiteres aus den Zahlen für die aus dem Ballon strömende Luft. Daß nun eine Verringerung des

1) Unger. Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 1855. S. 337.

2) a. a. O. S. 338.

Kohlensäuregehaltes der umgebenden Luft sehr ungünstig auf die Kohlensäurezersehung der Pflanzen einwirkt, ist bekannt¹⁾.

In wiefern eine Luft, die nur $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ von dem Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft besitzt, ungünstiger für die Zersehungsverhältnisse ist, wie die gewöhnliche Luft, mag einstweilen dahingestellt bleiben. Sicher ist es aber, daß man, von einem solchen Falle ausgehend nie berechnen kann, wie ausgiebig in der freien Luft, das heißt unter ganz anderen Umständen, die Kohlensäurezersehung sein kann.

Man kann es auch so ausdrücken, daß in Boussingault's Versuch die Luft nicht mit genügender Schnelligkeit durchgesaugt worden ist, so daß die Blätter mit zu wenig Kohlensäure in Berührung kamen, um eine eben so ausgiebige Zersehung wie in der freien Luft stattfinden zu lassen.

Zweitens war sehr wahrscheinlich im Ballon das Temperaturoptimum für die Kohlensäurezersehung überschritten. Wie bekannt kann unter der direkten Einwirkung der Sonnenstrahlen die Luft in einem geschlossenen und relativ kleinen Glasbehälter sehr leicht einen sehr hohen Wärmegrad erreichen.

Drittens aber war das Licht, das die beobachteten Blätter erreichte, vorher durch die gekrümmte Glaswand des Ballons gegangen und hatte vielleicht daselbst eine nicht unerhebliche Abschwächung erlitten.

Können wir also Unger's oben beschriebenen Berechnungen keinen allzugroßen Werth beilegen, verhält es sich ganz ebenso mit den Experimenten, die er selbst zur Lösung der Frage anstellte, weil diese sich auf der nämlichen Grundlage erheben.

Sie wurden folgendermaßen ausgeführt. Fünf junge Bäume wurden Anfangs April ausgegraben und gewogen. Dann wurden sie in gute Gartenerde versetzt, und entwickelten daselbst starke Triebe. Die Blätter dieser Bäumchen wurden alle gezählt, und ihre Gesamtoberfläche annäherungsweise bestimmt. Im April des nächstfolgenden Jahres wurden die Bäumchen wieder ausgegraben und gewogen. Aus diesen Daten wurde die wirkliche Zunahme an Kohlenstoff berechnet; zugleich aber wurde, von den Daten des Boussingault'schen Versuchs ausgehend, der mögliche Gewinn an Kohlenstoff durch die Blätter bestimmt. Es ergab sich, daß der letztere nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{8}$ von der wirklichen Zunahme an Kohlenstoff betrug; das Uebrige mußte also aus dem Boden aufgenommen sein.²⁾

Die Haupteinwände gegen die von Unger gebrauchte Methode besprach ich oben schon ausführlich.

Man bedenke dazu, daß von ihm: 1. zur Bestimmung des Kohlenstoffes gar nicht das Trockengewicht benutzt wurde, sondern die Bäumchen nur frisch gewogen wurden, und daß 2. die von Boussingault für die Weinrebe gefundenen Werthe ohne Weiteres auf andere Pflanzen übertragen wurden, indem, eben was die Fähigkeit der Kohlensäurezersehung betrifft, ohne Zweifel die größten Verschiedenheiten zwischen Blättern verschiedener Pflanzen herrschen.

Dies Alles erwägend, wird wohl Niemand geneigt sein, Unger's Berechnungen und Versuche und den daraus gezogenen Schluß als entscheidend zu betrachten.

1) G. Godlewski. Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlensäuregehalt der Luft. Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg I. S. 343.

2) a. a. O. S. 339.

Dennoch ziemt es zu bedenken, daß mancher Fehler seiner Arbeit in der Zeit wo er lebte und bei dem damaligen Stande der Wissenschaft als unvermeidlich betrachtet werden muß.

In neuester Zeit fand die Meinung, daß die Pflanze keine Kohlensäure aus dem Boden aufnehmen kann, einen Vertreter. Dr. Jos. Boehm sagt: „Es nehmen die Keimpflanzen der Feuerbohne aus dem Boden demnach weder organische Kohlenstoffverbindungen noch Kohlensäure (in nachweisbarer Menge) auf.“¹⁾

Boehm zog Keimpflanzen theils in mit Nährstofflösung feucht gehaltenem Quarzsande, theils in humusreicher Gartenerde, unter mit Kalilauge abgesperrten Glasglocken. Er sah, daß in den Blättern der in Erde gewurzelten Pflänzchen eben so wenig Stärke auftrat, wie in den Blättern der in Sand wachsenden. Auch waren Entwicklung und Lebensdauer der in Nährstofflösung und in Humus gezogenen Pflanzen vollkommen dieselben.

Ich möchte aber nur darauf hinweisen, daß in Gartenerde, die sich in einem durch Kali fortwährend kohlenstofffrei gehaltenen Raum befindet, die Verhältnisse für die Aufnahme der Kohlensäure durch die Wurzeln nicht gerade sehr günstig genannt werden können. Weiter kann man auch aus der Thatsache, daß in den Blättern keine Stärkebildung stattfindet, keineswegs schließen, daß die Wurzel keine Kohlensäure in nachweisbarer Menge aufnehmen kann. Das letztere ließe sich erst durch mehr direkte Versuche feststellen.

Wie man aus allem oben Gesagten sieht, kann die Frage, ob die Pflanze einen Theil ihres Kohlenstoffes der durch die Wurzeln aus dem Boden bezogenen Kohlensäure verdankt, eine offene genannt werden. In dieser Sachlage scheint es in erster Linie nothwendig, eine experimentelle Basis zur weiteren Untersuchung der diesbezüglichen Verhältnisse zu finden.

Ohne Weiteres ergibt sich dann, daß die erste hier zu lösende Frage diese ist: Können die Blätter die Kohlensäure zersetzen, welche den Wurzeln zur Verfügung gestellt wird?

Erst wenn dies durch Versuche entschieden sein wird, kann es werthvoll sein, zwei Nebenfragen zu untersuchen, die deshalb schon jetzt scharf von der Hauptfrage getrennt werden müssen. Sie lauten:

1. Kann die Wurzel Kohlensäure aus dem Boden aufnehmen?
2. Kann die Kohlensäure, wenn sie aufgenommen wird, aus der Wurzel zu den Blättern geführt werden?

So wichtig diese Fragen auch für sich sein mögen, so sind sie doch in Bezug auf die Beantwortung unserer Hauptfrage von untergeordneter Bedeutung und werden sie hier nur deshalb erwähnt, um diese Hauptfrage deutlicher hervortreten zu lassen.

Wenn man nun Versuche zur Lösung dieser letzteren anstellen soll, so muß man sich allererst die Vegetationsbedingungen klar zu legen suchen, unter denen sich eine

1) Jos. Boehm. Ueber Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. 73. I. Abth. 1876.

Pflanze in der Natur befindet. Dabei muß man bedenken, daß ein Blatt in der freien Luft eine Umgebung besitzt, deren Kohlensäuregehalt wir als konstant betrachten können. Weder die Kohlensäure, die das Blatt aufnimmt, noch die Kohlensäure, welche es unter Umständen aushaucht, werden irgend eine erhebliche Aenderung in dieser Beziehung verursachen können.

Daraus folgt aber, daß man die Blätter, welche zu diesen Versuchen dienen sollen, in jener Hinsicht auch genau unter dieselben Umstände bringen muß. Diesen Zweck kann man nun auf zwei Weisen leicht erreichen. Erstens kann man die Blätter in der freien Luft verweilen lassen. Zweitens aber kann man sie in eine von Kalilauge fortwährend kohlenstofffrei gehaltene Luftmasse bringen, deren konstanter Kohlensäuregehalt also gleich Null ist. Nie aber wird man solche Blätter in ein beschränktes Quantum Luft ohne Kalilauge bringen dürfen. Dessen Kohlensäuregehalt wird ja in Folge der Anwesenheit des Blattes selbst fortwährend erheblich wechseln, und also jedesmal veränderte Diffusionsbedingungen hervorrufen.

Die erste Frage, die sich nun uns ausdrängt ist wohl diese: Kann ein grünes Blatt, wenn es sich in einer fortwährend kohlenstofffreien Luft befindet, dennoch Kohlensäure zersetzen, wenn es nur mit der Wurzel verbunden bleibt und dieser die nöthige Menge dieses Gases zur Verfügung steht?

Die Beantwortung dieser Frage ist der erste Zweck der vorliegenden Untersuchung. Dabei lasse ich, wie oben schon angegeben, die Möglichkeit der Kohlensäureaufnahme von den Wurzeln und des Transportes dieses Gases durch die Gewebe ganz ohne Beachtung, um vorläufig nur diejenige Thatsache festzustellen, deren Kenntniß zum näheren Studium der Kohlensäurefrage unumgänglich nothwendig ist.

Nichts destoweniger schien es wünschenswerth den Kreis der Beobachtungen zu erweitern, und es dadurch möglich zu machen die beobachteten Thatsachen von einem etwas allgemeineren Gesichtspunkte aus ins Auge zu fassen. So aufgefaßt lautet die erste Frage, die ich zu lösen versucht habe, folgendermaßen: Kann die Kohlensäure die einem beliebigen Pflanzentheile (er sei nun Wurzel, Stengel oder Blatttheil) zur Verfügung steht, in einem organisch mit ihm verbundenen Blatte oder Blattstücke zersetzt werden, wenn dieses Blatt oder Blattstück sich in einem fortwährend kohlenstofffrei gehaltenen Raume befindet?

Wie man sehen wird ist die Antwort durchaus und ohne Ausnahme im negativen Sinne ausgefallen.

So viel ich weiß, ist bis jetzt von keinem Forscher dieses Thema eingehend untersucht worden. Dennoch lassen sich in der älteren Literatur einige derartige Versuche auffinden, wenn auch nicht ganz im von mir angedeuteten Sinne.

Senebier¹⁾ zum Beispiel brachte in jeden von zwei mit Wasser gefüllten Rezipienten ein Blatt. Das eine Blatt war abgeschnitten, das andere blieb mit der Pflanze verbunden. Während des ersten Tages schieden beide Blätter ungefähr gleichviel Sauerstoff aus, aber am nächsten Tage gab stets das mit der Pflanze zu-

1) J. Senebier, Mémoires physico-chimiques, sur l'influence de la lumière solaire, etc. 1782 Tome I. p. 102.

sammenhängende Blatt eine größere Menge Sauerstoff ab, wie das abgeschnittene. Daraus schließt Senebier, daß das Blatt Kohlensäure von der Pflanze empfängt.

Auch de Saussure beschreibt einen Versuch mit einer bewurzelten Pflanze folgendermaßen: ¹⁾ „Lorsqu'on introduit, dans un ballon, toute la partie supérieure d'une plante verte, enracinée dans du terreau, et qu'on ferme exactement le col de ce vase à l'origine de la tige, on ne peut apercevoir qu'au bout de plusieurs jours ou même de plusieurs semaines, une petite amélioration dans l'air du ballon, quoique le volume de l'eau exhalée par les feuilles soit très grand.“

Ein dergleicher Versuch mit dem Zweige eines Baumes führte ihn zum Schluß: „Cette branche améliore très sensiblement son atmosphère au bout de quinze jours ou trois semaines.“ ²⁾

Wenn man aber bedenkt, wie beide Autoren keineswegs genaue messende Versuche anstellten, sondern nur ganz im Allgemeinen ihre Erfahrungen mittheilen, so würde dies schon genügen, um diese Experimente keineswegs als entscheidend betrachten zu können.

Zumal aber weise ich darauf hin, daß der Pflanzentheil, dessen Kohlensäurezersehung untersucht werden sollte, sich immer in einem relativ kleinen, hermetisch geschlossenen Raume befand. Der Kohlensäuregehalt der Luft oder des Wassers war hier also gewissermaßen abhängig von der Kohlensäurezufuhr aus der Pflanze und kann jedenfalls nie konstant gewesen sein. Diese Thatsache muß natürlich auf die Diffusionsverhältnisse und somit auf die Verhältnisse der Kohlensäurezersehung ihren Einfluß geübt haben. Der konstante Kohlensäuregehalt der Luft, welche die zu untersuchenden Pflanzentheile umgiebt, ist, wie ich oben schon hervorhob, für die Beantwortung unserer Frage eine unerläßliche Bedingung, welche aber in diesen Versuchen nicht erfüllt war.

Auch hier aber muß man bedenken daß dieser Fehler nicht von Senebier oder de Saussure herrührt, sondern ausschließlich von der Zeit, in der sie lebten.

Unsere Frage kann also durch diese Experimente keineswegs als gelöst betrachtet werden.

Zwar beschreibt de Saussure auch einen Versuch, wobei er den Zweig einer bewurzelten Pflanze in einen fortwährend kohlenstofffrei gehaltenen Raum führte. ³⁾

Leider aber betrachtete er hier nicht die Verhältnisse der Kohlensäurezersehung weil es nur sein Zweck war zu konstatiren, daß die Blätter bald anfangen zu vertrocknen und nach drei Wochen alle abfielen. Ein ebenso ausgestatteter Zweig, in dessen Nähe sich aber keine Kohlensäure absorbirende Substanz befand, blieb mehr als zwei Monate lang frisch.

Freilich deutet dieses Versuchsergebnis nicht auf eine ausgiebige Kohlensäurezersehung in den angegebenen Verhältnissen, und kann in dem Sinne als Bestätigung meiner Resultate dienen.

1) Th. de Saussure, Recherches chimiques sur la végétation. 1804. p. 169.

2) a. a. D. S. 114.

3) a. a. D. S. 38.

Es war also nothwendig neue und ausführliche Versuche auf die von mir ange-deutete Weise anzustellen.

II. Methode.

Nach dem, was ich schon über den Zweck dieser Untersuchung und die zu lö-senden Fragen oben gesagt habe, werde ich jetzt die von mir befolgte Untersuchungs-Methode beschreiben, um schließlich die kurze Beschreibung der einzelnen Versuche folgen zu lassen.

Bei meiner Untersuchung habe ich mich vorwiegend auf die von Sachs ge-machte Entdeckung gestützt, daß die Stärke in den Chlorophyllkörnern als das erste sichtbare Produkt der Kohlensäurezersehung betrachtet werden muß. Später wurde dies von Godlewski auch noch auf andere Weise dargethan.¹⁾

Nicht nur für die Pflanzenphysiologie im Allgemeinen ist diese Entdeckung von der größten Bedeutung, sondern sie macht auch eine Untersuchung, wie ich sie vor hatte, leichter ausführbar, wie das früher der Fall war. Gegenwärtig ist es leicht, festzustellen, daß in einem Blatte Kohlensäurezersehung stattgefunden hat, was früher immer mit großen Schwierigkeiten verbunden war.

Man braucht jetzt nur zu untersuchen, ob Stärke in den Chlorophyllkörnern eines vorher stärkefreien Blattes sich zeigt, um daraus mit Gewißheit schließen zu dürfen, daß in einem solchen Blatte Kohlensäure zersezt worden ist. Ich habe also in meinen sämtlichen Versuchen nur bestimmt, ob Stärkebildung stattgefunden hatte oder nicht.

Zum Nachweis der Stärke benutzte ich das bekannte, von Böhm angegebene, und von Sachs verbesserte Verfahren. Das Blatt wurde erst in starkem Alkohol in der Sonne entfärbt. Dünne Querschnitte wurden dann einige Zeit in Kalilauge erwärmt, mit Wasser ausgewaschen, mit Essigsäure behandelt, wieder ausgewaschen und endlich eine verdünnte Jodkaliumlösung zugelegt.

Das zur Jodreaktion bestimmte Blattstück wurde immer ganz zusammengefaltet und dann die Schnitte gemacht, damit möglichst verschiedene Stellen des Blattes getroffen werden möchten.

Die Blätter, welche ich zu meinen Versuchen stärkefrei benutzen wollte, wurden im Dunkeln entzärtt, wobei ich mich natürlich vor Anfang eines jeden Versuchs an einem kleinen Blattstücke überzeugte, daß wirklich keine Spur von Stärke mehr vorhanden war. Zu einigen Versuchen benutzte ich auch junge etiolirte Keimpflanzen von *Phaseolus multiflorus*, *Cucurbita Pepo* und *Tropaeolum nanum*.

Was die Anordnung der Versuche anbetrifft, so giebt es zwei Wege, die zum mir gesteckten Ziele führen. Erstens kann man das Blatt oder den Blatttheil, dessen Stärkebildung man untersuchen will, in einen geschlossenen und von starker Kali-lauge stets kohlenstofffrei gehaltenen Raum bringen. Dabei kann man die Wurzel außerhalb dieses Raumes in humusreicher Gartenerde ihre Kohlensäure schöpfen

1) E. Godlewski, Abhängigkeit der Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern von dem Kohlensäuregehalt der Luft. Flora 1873. S. 378.

lassen. Handelt es sich um andere Theile, z. B. Blattstücke oder Blattstiele, die sich außer dem kohlenstofffreien Raum befinden sollen und denen Kohlenstoff zur Verfügung stehen soll, so genügt es, diese in einer Glasglocke verweilen zu lassen, welche Luft mit einigen Prozenten Kohlenstoff¹⁾ enthält. Auf diese Weise habe ich drei Versuchsreihen gemacht (Versuchsreihe I, II und III).

Da sich in diesen Versuchen, im kohlenstofffreien Raum nie sichtbar Stärke bildete, so schien es nothwendig, auch den zweiten Weg zu betreten, d. h. die zu untersuchenden Blätter in der freien Luft verweilen zu lassen.

Erstens wird der Kohlenstoffgehalt der Luft die Diffusionsverhältnisse zwischen dem Blatte und seiner Umgebung ändern und zur Stärkebildung günstiger machen, als es in kohlenstofffreier Luft der Fall ist.

Dazu war es auch denkbar, daß in den früheren Versuchen sich äußerst geringe Spuren von Stärke gebildet hätten, aber so wenig, daß eine einfache Reaktion nicht genügte, sie sichtbar zu machen. Auch war es z. B. möglich, daß in kohlenstofffreier Luft in einem gewissen Zeitraum eben so viel Stärke in den Chlorophyllkörnern entstand, als in derselben Zeit aus ihnen weggeführt wurde. Auch in diesem Falle würde also die stattfindende Kohlenstoffzersetzung vermittelt einfacher Zodeinwirkung nie nachzuweisen sein.

Vielleicht konnte aber eine solche minimale Stärkebildung auf indirektem Wege sichtbar gemacht werden.

Wenn ein stärkefreies Blatt in der atmosphärischen Luft dem Sonnenlichte ausgesetzt wird, so wird nach einiger Zeit ein wenig Stärke in den Chlorophyllkörnern entstanden sein. Nach bestimmten Zeitintervallen, Theile eines solchen Blattes auf Stärke untersuchend, wird man also lehren können, wann diese anfängt sich zu zeigen und wie sie sich langsam vermehrt.

Nun war es möglich, daß unter diesen Umständen die Stärke sich schon früher zeigen würde, wenn ein beliebiger, mit dem untersuchten Blatte organisch verbundener Theil in einem Medium sich aufhielt, viel reicher an Kohlenstoff, als die Atmosphäre. Wenn auch die den benachbarten Pflanzentheilen zugeführte Kohlenstoff für sich keine sichtbare Stärkebildung in einem Blatte verursachen kann, so könnte sie vielleicht, in Verbindung mit aus der Luft aufgenommenener Kohlenstoff, die Stärke nach kürzerer Zeit sichtbar werden lassen, als wenn das Blatt seine Kohlenstoff ausschließlich aus der Luft schöpfen muß.

Ich ließ also das zu untersuchende Blatt oder Blattstück der freien Luft ausgesetzt. Mit ihm verbundene Theile wurden aber in eine Luft geführt, deren Kohlenstoffgehalt vielmals höher war, als der der Atmosphäre. Wurzeln ließ ich auch in diesen Versuchen wieder in humusreicher Erde verweilen.

Zwei solche Versuchsreihen (Versuchsreihe IV und V) habe ich ausgeführt; auch diese führten wieder zur Beantwortung unserer Frage im negativen Sinne.

1) Also viel mehr als die gewöhnliche Luft, in der man durchschnittlich $\frac{1}{20}$ pCt. Kohlenstoff findet.

Sämmtliche Versuche wurden am Süd- oder Ostfenster während der Monate August, September und Oktober 1876 gemacht.

Wenn die Sonne kräftig schien und ich fürchten konnte, daß ihre allzugroße Wärme den im abgesperrten Raume befindlichen und zumal den abgeschnittenen Pflanzentheilen Schaden würde, so wurde die direkte Wirkung abgehalten. Dies geschah vermittelst Schirmen von sehr dünnem, weißem Florpapier. Hinter diesen Schirmen wird die Stärkebildung keineswegs gehemmt, sondern nur etwas verlangsamt, wie die Erfahrung im Laboratorium zu Würzburg ohne Ausnahme gezeigt hat, und wie auch meine eigenen Controlversuche beweisen. Die Schirme wurden meist schief über die Versuchspflanzen hin befestigt, so daß sie in ungefähr senkrechter Richtung von den Strahlen der Sonne getroffen wurden.

Wo der Verschluss des abgeschlossenen Raumes mit Talg geschah, wie ich es noch näher beschreiben werde (Versuchsreihe III und IV), da habe ich mich natürlich immer überzeugt, daß die Blätter am Ende des Versuchs nicht im Mindesten davon gelitten hatten. Die Blätter nicht aller Pflanzen eignen sich aber zu dieser Behandlung; so gelang es mir zum Beispiel nicht, derartige Versuche mit Blättern von *Dipsacus Fullonum* und *Solanum tuberosum* zu machen. Es zeigte sich wiederholt, daß bei diesen Pflanzen derjenige Theil des Blattes, der mit Fett in Berührung war, nach Verlauf einiger Stunden sich ganz infiltrirt und verfärbt hatte.

Endlich hebe ich hervor, daß ich in dieser Untersuchung nur dünnblättrige Pflanzen benutzt habe, weil dicke, fleischige Pflanzentheile, ihrer Form wegen, zu solchen Versuchen, wie ich sie anstellte, nicht so gut geeignet sind.

Ich will jetzt im Allgemeinen die fünf verschiedenen Versuchsreihen und die dazu benutzten Apparate ausführlich beschreiben, und auch jedesmal auf die einzelnen, aus ihnen folgenden Schlüsse hinweisen. Nachher werde ich die kurze Beschreibung der einzelnen Versuche und ihrer speziellen Daten in einem besonderen Abschnitte für alle Versuchsreihen zusammenstellen.

Erste Versuchsreihe.

Ein Blatt im kohlenstofffreien Raum, die übrige Pflanze außerhalb dieses Raumes in der Luft, die Wurzeln in humusreicher Erde.

Die Versuchspflanzen waren: *Phaseolus multiflorus*, *Cucurbita Pepo*, *Tropaeolum nanum* und *Beta vulgaris*, var. *saccharifera*.

Sämmtliche Pflanzen wurden in Töpfen mit guter Gartenerde gezogen, die während der Versuchsdauer reichlich befeuchtet wurde, weil nach Boussingault's Beobachtungen ein feuchter Boden eine sehr viel kohlenstoffreichere Luft enthält, als derselbe im trockenen Zustande.¹⁾

In einem großen Theile dieser Versuche benutzte ich etiolirte Keimpflanzen, deren Versuchsblatt also in der kohlenstofffreien Luft ergrünen mußte. Dies fand eben so rasch, wie in der gewöhnlichen Luft statt.

1) Boussingault, *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*. Tome second, p. 82—126,

Einige Versuche wurden auch mit am Lichte erwachsenen und mit Stärke gefüllten Blättern angestellt, wie ich unten näher beschreiben werde.

Stets befanden sich eine oder zwei Kontrollpflanzen neben der eigentlichen Versuchspflanze. Es wurde dafür gesorgt, daß alle Pflanzen desselben Versuches vollkommen gleichaltrig waren, und ebenso wurden zur Vergleichung nur gleichaltrige und auch weiter so viel wie möglich gleiche Blätter angewendet.

Die getroffene Einrichtung war nun folgende:

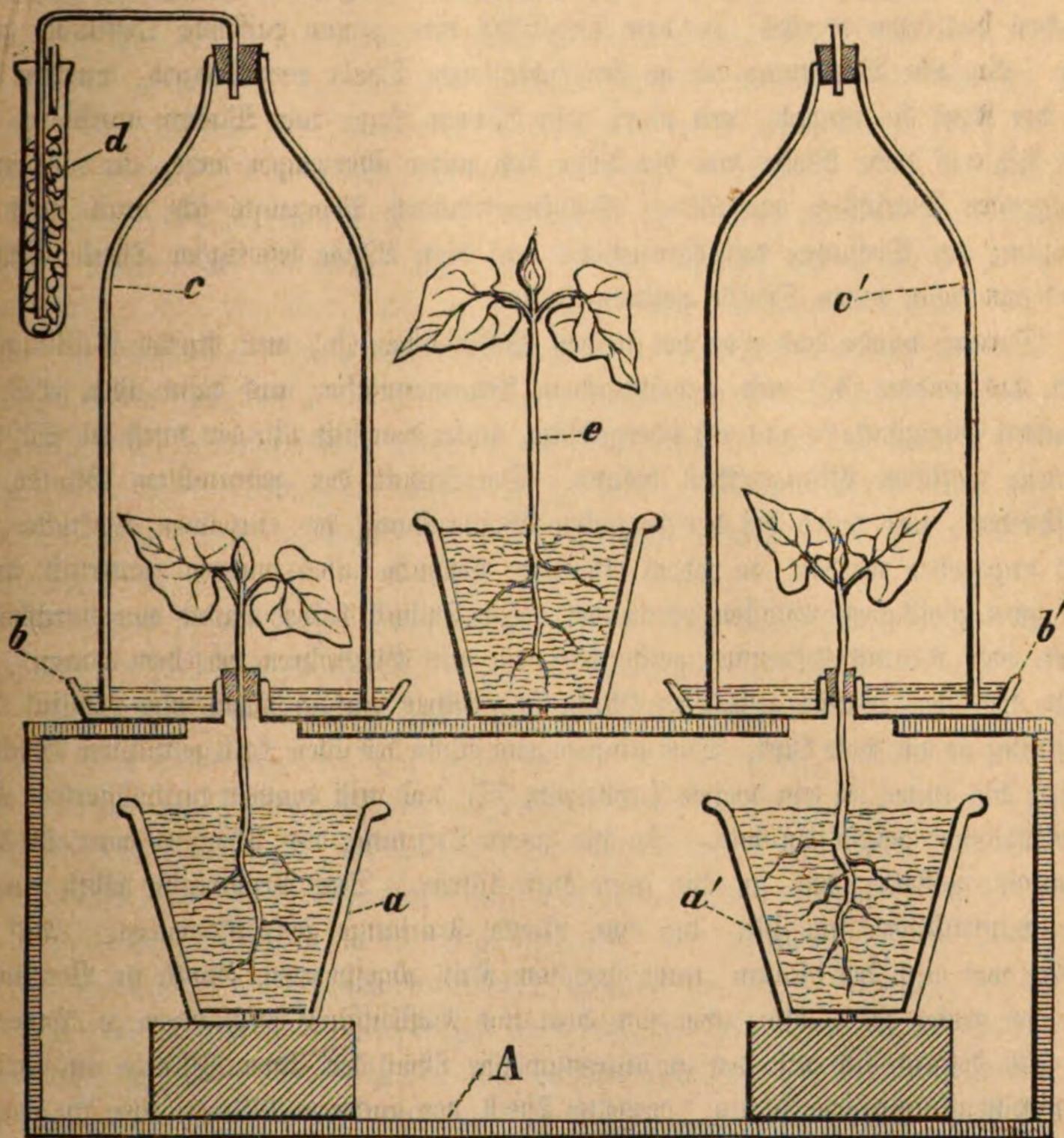


Fig. 1.

Apparat zur ersten Versuchsreihe, im Durchschnitt; im Schüsselchen *b* ist Kalilauge, in *b'* Wasser; in dem Probirrohr *d* befinden sich Bimsteinstückchen, die mit Kalilauge getränkt sind.

Zwei Töpfe (Fig. 1. *a* und *a'*) wurden in eine seitwärts offene Kiste (*A*) gestellt, die in ihrem Deckel zwei geräumige Löcher besaß. Durch diese Löcher wurden die zu untersuchenden Theile einer jeden Pflanze geführt, die entweder aus einem einzigen Blatte, oder aus dem oberen Theil eines Stengels mit mehreren Blättern bestanden.

Weiter hatte ich Porzellanschüsselchen (*b* und *b'*) zur Verfügung, die ringsum

von einem aufstehenden Rande versehen waren, und in der Mitte ein rundes Loch hatten, das von einem ebensolchen Rande umgeben war. Man konnte diese Schüsseln also mit einer Flüssigkeit füllen, wobei in der Mitte doch eine Oeffnung frei blieb. Jeder der zwei aus der Kiste ragenden Pflanzentheile wurde nun durch eine solche Oeffnung geführt; die zwei Schüsseln fanden ihren Platz auf dem Deckel der Kiste.

Der Stengel- oder Blattstieltheil, welcher sich in der röhrenförmigen Oeffnung des Schüsselchens befand, wurde dort luftdicht befestigt, und zwar vermittelt eines weichen halbirten Korkes, in dem sorgfältig eine genau passende Oeffnung gefeilt war. Um alle Verletzung der so eingeschlossenen Theile vorzubeugen, wurden diese, wo der Kork sie umgab, mit einer sehr dünnen Lage von Watten umkleidet. Es läßt sich auf diese Weise, wie der Leser sich unten überzeugen wird, ein vollkommen genügender Verschuß darstellen. Selbstverständlich überzeugte ich mich nach Beendigung der Versuche, daß sämtliche auf diese Weise befestigten Theile nicht im mindesten vom leisen Drucke gelitten hatten.

Darauf wurde das eine der beiden Schüsseln (b) mit starker Kalilauge gefüllt, das andere (b') mit gewöhnlichem Brunnenwasser, und dann über jedes eine tubulirte Glasglocke (c und c') übergestülpt, unter dem sich also der durch die Schlüsselöffnung geführte Pflanzenteil befand. Der Inhalt der gebrauchten Glocken war verschieden, und wird bei der speziellen Beschreibung der einzelnen Versuche jedesmal angegeben werden; in jedem einzelnen Versuche aber wurden natürlich immer nur zwei gleichgroße Glocken verwendet. Die Tubuli beider waren von durchbohrten Kork- oder Kautschukpfropfen geschlossen, die mit Glasröhren versehen waren. Das Rohr der über Wasser gestülpten Glocke (c') führte einfach durch eine ziemlich kleine Oeffnung in die freie Luft. Das umgebogene Rohr der über Kali gestülpten Glocke (c) führte bis unten in ein weites Probirrohr (d), das mit doppelt durchlöcherter Kautschukpfropfen geschlossen war. In die zweite Oeffnung des Pfropfes war ein kurzes Glasrohr gesteckt, das in die freie Luft führte. Das Probirrohr selbst war mit Bimsteinstückchen angefüllt, die von starker Kalilauge getränkt waren. Auf diese Weise war also der Raum unter der von Kali abgesperrten Glocke in Verbindung mit der freien Luft, ohne aber von dort aus Kohlensäure empfangen zu können.

Es befand sich also der zu untersuchende Theil der einen Pflanze im fortwährend kohlenstofffreien Raum, derselbe Theil der anderen Pflanze aber in gewöhnlicher Luft. Um die Verhältnisse so natürlich wie möglich zu machen, wurden in verschiedenen Versuchen kleine Gefäße mit starker Schwefelsäure unter jede Glocke gestellt; es wurde dadurch eine ausgiebigere Transpiration der eingeschlossenen Theile möglich gemacht.

Die Zusammenstellung des Apparates geschah im diffusen Lichte in der Mitte des Zimmers; war Alles, wie ich es beschrieb, fertig, so wurde der Apparat an's Fenster gestellt.

Wenn noch eine zweite Kontrollpflanze (e) unter ganz normalen Lebensbedingungen da war, so wurde diese zwischen den beiden Schüsseln auf den Deckel der Kiste gestellt.

Die Dauer dieser Versuche war immer eine längere, und zwar von zwei bis acht Tagen.

Die Temperatur wurde in dieser, wie auch in den drei nächstfolgenden Versuchssreihen am Thermometer abgelesen, dessen Kugel sich in einer weißen Flasche befand, um der Temperatur der abgeschlossenen Glockenräume so viel wie möglich nahe zu kommen.

Allererst wurde nun durch einen vorläufigen Versuch festgestellt, inwiefern auf die angegebene Weise ein wirklich kohlenstofffreier Raum zu erreichen war, zumal in Hinsicht auf den Verschluss der Oeffnung des Schüsselchens. Dazu wurden (Versuch I) die noch ganz jungen und zusammengefalteten Primordialblättchen einer etiolirten Keimpflanze von *Phaseolus multiflorus*, nebst dem oberen Theil des epikotylen Gliedes in die von Kali abgeschlossene Glocke geführt.

Außer dem Pflanzentheile befand sich unter der Glocke noch ein kleiner eiserner Dreifuß, welcher ein Uhrglas trug. Der Kork, welcher den Tubulus der Glocke schloß, hatte neben der über Kali zur äußeren Luft führenden Oeffnung noch eine zweite Durchbohrung. In dieser war ein zweites Glasrohr befestigt, das über dem Uhrglase endete und mittelst eines kleinen Korkpfropfes verschlossen wurde. Der Apparat stand, so eingerichtet, während einiger Stunden, um die etwa im Glockenraume vorhandene Kohlenensäure absorbiren zu lassen. Dann wurde durch das eben genannte Rohr klares Barytwasser in das Uhrglas gegossen und darauf das Rohr sofort wieder verschlossen.

Barytwasser, in einem Uhrglase der offenen Luft überlassen, war in wenigen Minuten mit einer dicken Schicht von kohlenstoffsaurem Baryt bedeckt. In der Glocke aber war es nach 26 Stunden noch vollkommen klar geblieben. Nach fünf Tagen zeigte es eine Trübung, die gar nicht so stark war wie die, welche in der freien Luft nach kurzem Verweilen eintrat. Dennoch waren eben am ersten Tage die Blättchen noch nicht grün und hauchten sie demnach nur Kohlenensäure aus. In dieser Hinsicht konnte ich also vollkommen zufrieden sein, was übrigens später in sämtlichen Versuchsergebnissen seine Bestätigung fand, da sich unter der mit Kali abgesperrten Glocke nie eine Spur von Stärke bildete.

Bei den ersten von mir angestellten weiteren Versuchen wurde nur die eine Kontrollpflanze (a') unter der Glocke mit gewöhnlicher Luft gebraucht, nicht aber eine zweite (e), deren Blätter sich in der freien Luft befanden. Hier ergab sich nun (Versuch II und III), daß die Kontrollblätter zwar Stärke bildeten, aber auffallend wenig, wenn sie auch in jeder Hinsicht schön und gut entwickelt waren. Es lag die Vermuthung nahe, daß die kleine Oeffnung oben in der Glocke der schnellen Diffusion der Kohlenensäure ein zu großes Hinderniß in den Weg legte.

Diese Vermuthung wurde bestätigt, als ich eine zweite Kontrollpflanze (e), deren Blätter in der freien Luft waren, hinzusetzte. Die sonst gleichen Blätter bildeten hier überflüssig Stärke, indem die in der Glocke mit gewöhnlicher Luft befindlichen, wenn auch immer etwas, doch viel weniger anzeigten (Versuch IV, V und VI).

Darum beschloß ich, die Lufterneuerung zu beschleunigen und atmosphärische Luft durchzusaugen. Es geschah dies natürlich eben so gut durch den von Kali ab-

geschlossenen Raum (c), nur mit dem Unterschiede, daß die zugeführte, so gut wie die austretende Luft hier über mit Kali getränkten Bimstein streichen mußte. Die Einrichtung dazu war vermittelst Probirröhren auf die Weise hergestellt, die ich oben schon angegeben habe. In beiden Glocken war das Zuleitungsrohr lang und reichte bis in den unteren Theil derselben; das Ableitungsrohr hingegen war ganz kurz und endete also oben im Tubulus. So wurde dafür gesorgt, daß die durchgeführte Luft immer mit den Blättern in Berührung kommen mußte. Täglich wurden ungefähr 56 Liter Luft durch die von Wasser abgesperrte Glocke geführt, durch den kohlenstofffreien Raum aber nur die Hälfte. Immer blieben auch jetzt die Blätter im kohlenstofffreien Raum stärkefrei. Die Blätter der Kontrollpflanze zeigten jetzt in einem Falle, wo sie klein waren (*Tropaeolum nanum* in Versuch VI), eine ebenso ausgiebige Stärkebildung wie die in der freien Luft. — Dem größeren Blatte einer Cucurbitapflanze aber (Versuch VII) genügte offenbar die Beschleunigung der Kohlenstoffzufuhr noch nicht, um dasselbe leisten zu können, wie das in der freien Luft sich aufhaltende.

Ich war nun aber überzeugt, daß nur Kohlenstoffmangel die weniger ausgiebige Stärkebildung meiner Kontrollpflanze unter der Glocke bedingte. Darum wurde in allen weiteren Fällen Morgens früh ein wenig Kohlenstoff der Kontrollpflanze durch das Glasrohr zugefügt und dies dann verschlossen (Versuch VII und VIII). Abends wurden die Glocken immer zur Lufterneuerung abgehoben, so daß die etwa über gebliebene Kohlenstoff verschwand und ihre nachtheilige Wirkung im Finstern auf die Blätter nicht ausüben konnte. Bei dieser Einrichtung zeigte sich ohne Ausnahme, daß die unter der Glocke verweilenden Kontrollblätter ebenso ausgiebig Stärke bildeten wie die, welche in der freien Luft sich befanden. In den diesbezüglichen Versuchen wurde der Luft unter der Glocke täglich ungefähr 2 pCt. Kohlenstoff zugesetzt, indem das Volumen dieser Luft etwa 2500 Cc. betrug.

Es stellte sich nun in sämtlichen Versuchen heraus, daß in dem kohlenstofffreien Raum sich nie nur die leiseste Spur von Stärke bildete. Wenn nöthig, wurden täglich am Abend Blattstücke oder ganze Blätter herausgenommen und auf Stärke untersucht; immer blieben sie bis zum Ende des Versuchs stärkefrei, wenn auch die Kontrollblätter strotzend voll erschienen.

Die letzten Versuche wurden nun in der Weise eingerichtet, daß die Blätter am Anfang Stärke enthielten. Nach ein paar Tagen waren die Kontrollblätter selbstverständlich noch voll Stärke, aber in dem kohlenstofffreien Raum waren die Blätter vollkommen stärkefrei geworden.

Es wurden dann die Glocken und der Inhalt der Schüsseln gewechselt, so daß jetzt das mit Stärke gefüllte Blatt in den kohlenstofffreien Raum kam und das leere Blatt unter die mit kohlenstoffhaltiger Luft gefüllte Glocke. Nach kurzer Zeit war das volle Blatt leer, das leere aber voll geworden (Versuch VII und VIII).

Im letzten Versuche (VIII) endlich wurde die mit stärkereichen Blättern versehene zweite Kontrollpflanze (e) unter einem schwarzen Pappkasten verfinstert. Als Resultat ergab sich, daß die Stärke aus dem Blatte im kohlenstofffreien Raum ungefähr eben so rasch verschwunden war, wie aus den verdunkelten Blättern.

Durch diese Versuchreihe war also als Thatsache festgestellt, daß in einem fortwährend kohlenstofffreien Raum Blätter nie in sichtbarer Weise Stärke bilden, ja daß selbst die vorhandene Stärke aus ihnen verschwindet, wenn sie auch mit der Pflanze verbunden bleiben, und deren Wurzel sich in humusreicher Erde befindet.

Zweite Versuchreihe.

Das Oberende eines von der Pflanze getrennten Blattstückes im kohlenstofffreien Raum, das untere Ende in Luft mit etwa 5 pCt. Kohlenstoff, zwischen beiden ein Stück an der freien Luft.

Der Zweck dieser Versuche war ein doppelter. Erstens wurde hier die Entfernung zwischen dem Kohlenstoff empfangenden Theile und dem Theile im kohlenstofffreien Raum im Allgemeinen kleiner, wie in der vorigen Versuchreihe. Zweitens aber war hier die Gelegenheit geboten, dem einen Theile eine Luft von bekanntem und hohem Kohlenstoffgehalt zuzuführen. Ich wählte dazu in den meisten Fällen ungefähr 5 pCt., indem dies immer hundertmal mehr ist, als die gewöhnliche Luft enthält, ohne aber dem Einwurf Raum zu geben, daß die Blätter von einem zu großen Kohlenstoffgehalt beschädigt wurden. Daß die Kohlenstoff wirklich keine nachtheilige Wirkung ausübte, beweist ohnehin die reichliche Stärkebildung, die ohne Ausnahme in den unteren Blatttheilen stattfand.

Ich wählte als besonders geeignet zu diesen Versuchen die langgezogenen Blätter von *Typha stenophylla* F. und Mey., *Sparganium ramosum* und *Typha latifolia*. Diese boten zugleich den Vortheil, daß sie mit sehr geräumigen Luftkanälen ausgestattet sind, die der Länge nach mit einander zusammenhängen und also den Transport der Kohlenstoff vielleicht begünstigen können.

Die Blätter wurden vor dem Versuche in schwarzer Umhüllung verfinstert und dabei mit der Pflanze in Verbindung gelassen. Es wurde selbstverständlich immer konstatiert, daß keine Spur von Stärke in den zum Gebrauche bestimmten Blättern mehr vorhanden war.

Das etwa 28 Cm. lange, obere Ende eines solchen Blattes wurde nun im Tubulus einer kalibrierten Glasglocke (Fig. 2. a) so befestigt, daß der untere 12 Cm. lange Theil (c) sich in der Glocke befand. Diese war unten durch Wasser (e) abgesperrt.

Die Befestigung des Blattes geschah wieder mittelst eines halbirten, weichen Korkes, in welchem eine genau das Blatt umschließende Oeffnung gemacht war. Zwischen Kork und Blatt befand sich wieder eine ganz dünne Lage von Watten. Sämmtliche Blätter waren nach Beendigung des Versuchs vollkommen unbeschädigt.

Im Korne befand sich noch eine zweite Oeffnung, mit einem Glasrohr (f) versehen, an dem ein kleines Stück Kautschukschlauch, das von einem Quetschhahn verschlossen werden konnte. Durch dieses Rohr konnte das Wasser, welches die Glocke abspernte, bis zu einem gewissen Theilstrich gehoben und dann eine bestimmte Menge Kohlenstoff eingeleitet werden. Das Unterende des Blattes war in ein kleines Gefäß mit Wasser (g) gestellt.

Der obere Theil des Blattstückes (d) wurde nun durch den Tubulus einer gleich großen Glocke (b) geführt (der Inhalt war 900 Cc.), die von einem Halter (k) in der Weise getragen wurde, daß die Oeffnung nach oben gekehrt war. Die Befestigung des Blattes im Tubulus geschah auf dieselbe Weise, wie bei der unteren Glocke

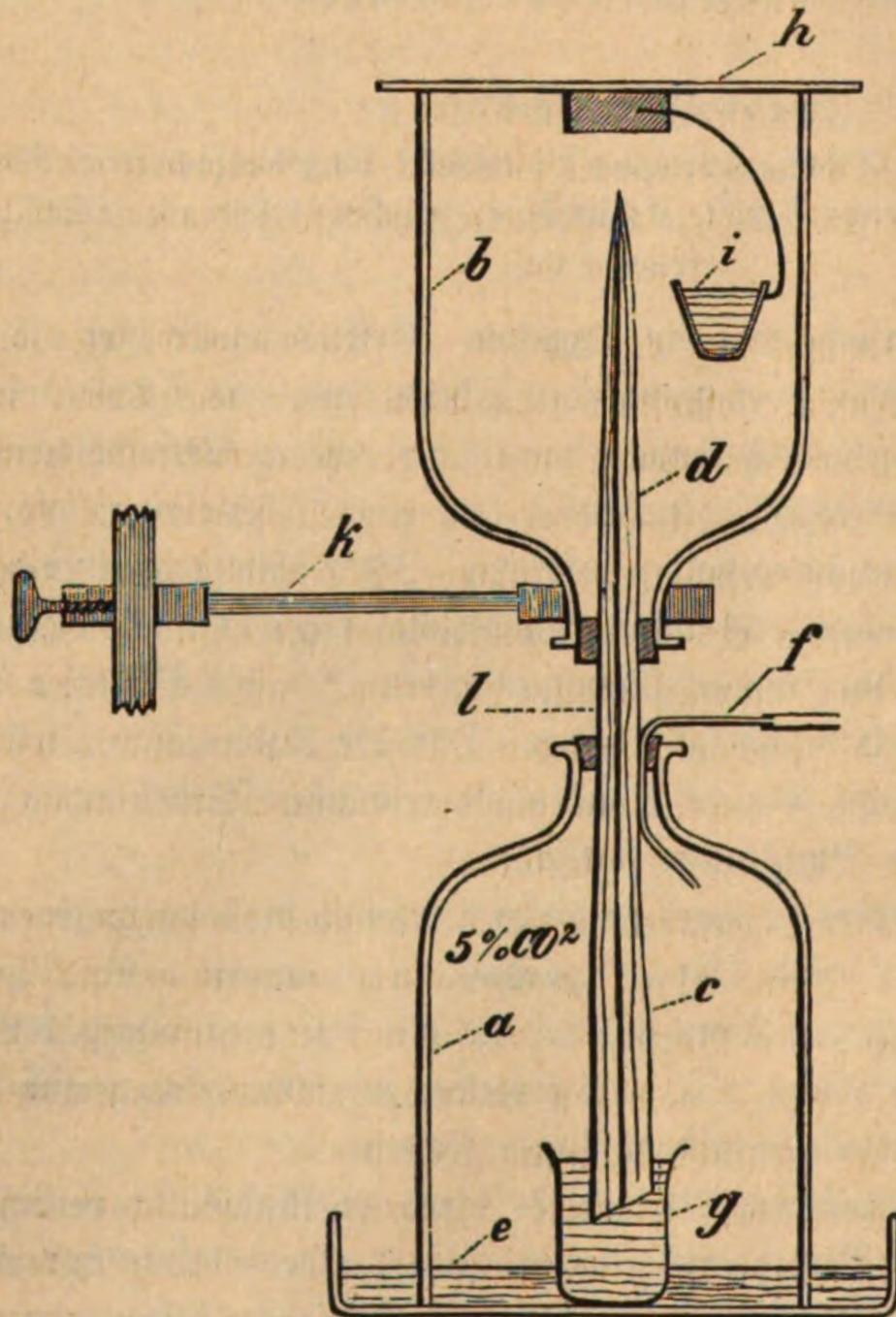


Fig. 2.

Apparat zur zweiten Versuchsreihe, im Durchschnitt.
c l d das Blatt, der Theil l war durch ein umgewickeltes
Stückchen Stanniol verfinstert, e u. g Wasser,
i Kalilauge.

Es wurde nun die Oeffnung der oberen Glocke mit einer Glasplatte (h) geschlossen, die vermittelst Fett luftdicht befestigt war. An der Innenseite dieser Platte war ein Korkstück geklebt, das in einem gebogenen Drahtstück ein kleines Gefäß mit starker Kalilauge (i) trug. Zwischen beiden Glocken war ein 1.5 bis 5 Cm. langes Blattstück (e) an der freien Luft gelassen. Dieses wurde von einem Stückchen Stanniol, (was in der Figur aber weggelassen ist), verfinstert, damit nicht die Stärkbildung dieses Stückes die Kohlensäure auf dem Wege nach oben verbrauchen könnte.

Nachdem in die untere Glocke Kohlensäure eingefüllt war, wurde der fertige Apparat an's Licht gestellt, indem er im diffusen Licht aufgebaut worden war.

In allen Fällen stellte sich heraus, daß sich in dem oberen Blattstücke nie eine

Spur von Stärke bildete, wenn auch der untere Theil nach Beendigung des Versuchs reichlich damit versehen war.

Ein Blattstück kann also in einem fortwährend kohlenensäurefreien Raume es nie zur sichtbaren Stärkebildung bringen, wenn auch der untere Theil desselben Blattes sich in Luft mit 5 pCt. Kohlenensäure befindet, und zwischen beiden ein kleines Stück der freien Luft ausgesetzt ist.

Ein sehr günstiger Umstand in diesen Versuchen war es, daß am unteren Theile (c) der ziemlich dicken Blätter, die dem Fenster zugekehrte Seite meistens eine ausgiebigere Stärkebildung zeigte, als die dem Zimmer zugewendete, weniger beleuchtete. Es war nämlich auf diese Weise der mögliche Einwurf beseitigt, daß vielleicht alle vom unteren Theile aufnehmbare Kohlenensäure daselbst auch zur Stärkebildung verbraucht und somit nichts nach oben geführt sein würde. Jetzt aber hätte offenbar die Hinterseite weit mehr Stärke bilden können, wenn sie nur besser beleuchtet gewesen wäre. Der Beweis, daß dies wirklich der Fall war, wurde von ein paar Versuchen geliefert, in denen hinter dem Apparate ein Spiegel aufgestellt war. Es bildete nun die hintere Seite des unteren Blattstückes eben so reichlich Stärke, wie die vordere (Versuch X und XIV).

Dritte Versuchreihe.

Die Spitze eines Blattes befindet sich im kohlenensäurefreien Raum, der unmittelbar angrenzende Theil (Basis und Blattstiel) befindet sich in Luft mit etwa 5 pCt. Kohlenensäure; kein Theil des Blattes verweilt in der freien Luft.

In den beiden vorigen Versuchreihen waren an der Pflanze oder dem Blatte, die zu den Versuchen dienten, immer drei Theile zu unterscheiden, und zwar: ein Theil im kohlenensäurefreien Raum, ein zweiter in einer Umgebung, wo verhältnißmäßig viel Kohlenensäure vorhanden war, zwischen beiden aber ein dritter in der freien Luft.

Es war nun denkbar, daß meine Versuche bis jetzt immer zu negativen Resultaten geführt hätten, weil der größte Theil der Kohlenensäure auf ihrem Wege zum kohlenensäurefreien Raum in die freie Luft hinausdiffundiren konnte.

Darum beschloß ich, diese Möglichkeit zu eliminiren, wobei es zugleich möglich wurde, die Entfernung zwischen den beiden übrig bleibenden Theilen sehr zu reduzieren.

Zu diesem Zwecke wurden im Finstern entstärkte, grüne Blätter der nachfolgenden Pflanzen verwendet: *Cucurbita Pepo*, *Vitis vinifera*, *Cercis siliquastrum*, *Viola suava*, *Polygonum bistorta* und *Trifolium pratense*.

Der zu diesen Versuchen dienende Apparat (Fig. 3) war sehr einfach. Zwei gleich große Krystallirschälchen (a und a') wurden gewählt, deren abgeschliffene Ränder genau an einander schlossen, wenn die Schälchen mit den Oeffnungen auf einander gestellt waren.

Auf diese Weise entstand ein abgeschlossener Raum. Die Ränder wurden nun ringsum mit Talg bestrichen und zwischen beide das Blatt in der Weise gelegt, daß dessen Spitze (b) sich im abgeschlossenen Raume befand, Basis und Blattstiel (c)

aber draußen waren. Oft blieb mit dem Blattstiel noch ein Theil des Stengels in Verbindung. Unter Spitze verstehe ich hier immer den etwa die Hälfte oder ein Drittel des ganzen Blattes umfassenden vorderen Theil.

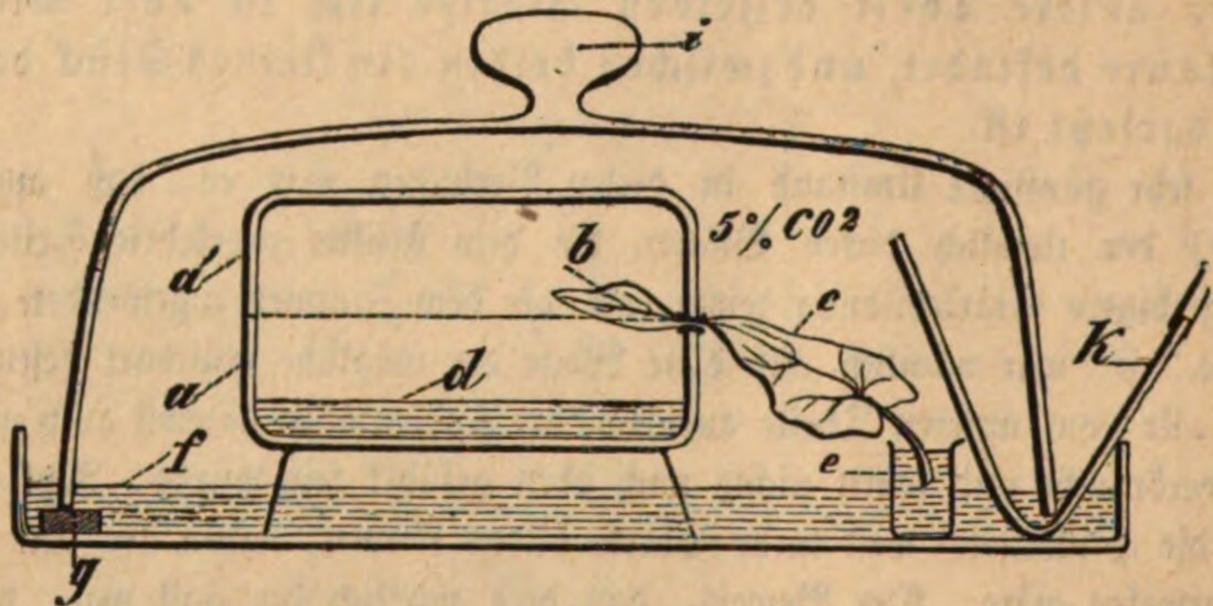


Fig. 3.

Apparat zur dritten Versuchsreihe, im Durchschnitt; b c das Blatt, d Kalilauge, e und f Wasser.

Durch leisen Druck wurde der Raum zwischen den Schälchen vollkommen luftdicht abgeschlossen, nachdem zuvor in das untere Schälchen etwas starke Kalilauge (d) gegossen war. Der Blattstiel wurde mit seiner Schnittfläche in ein kleines Gefäß mit Wasser (e) gestellt. Der Inhalt des von den Schälchen abgeschlossenen Raumes betrug etwa 600 Cc.

Dieser ganze Apparat wurde nun unter eine große kalibrierte, und von Wasser abgesperrte Glasglocke (i) gestellt. Diese ruhte auf flachen Stückchen Marmor (g), so daß von unten her durch das Wasser ein gebogenes Glasrohr (k) in den von ihr abgeschlossenen Raum geführt werden konnte. Dieses Rohr führte bis in den oberen Theil des Glockenraumes. Es wurde nun durch Saugung das Wasser bis zu einem gewissen Theilstriche gehoben und dann eine bestimmte Menge Kohlensäure eingefüllt. Der Inhalt der großen Glocke betrug in allen Versuchen 4100 Cc., das Volumen der zugesetzten Kohlensäure 200 Cc., also ungefähr 5 pCt. der ganzen Luftmasse. Diese Zahlen erhielt ich, nachdem die nöthigen Correctionen für das Volumen des hineingestellten Apparates in Rechnung gebracht waren. Nur in einem Versuche (Versuch XXI) waren Inhalt der Glocke und Menge der zugesetzten Kohlensäure andere, wie ich in der speziellen Beschreibung dieses Versuchs angeben werde.

Der so eingerichtete Apparat wurde während 6 bis 8 Stunden dem Lichte ausgesetzt. Die Spitze des Blattes war also im fortwährend kohlenstofffreien Raum, die Basis und der Blattstiel hingegen in einer Luft mit sehr viel Kohlensäure. Die Entfernung zwischen beiden Theilen betrug nur etwa 3 Mm., da das Glas der Schälchen nicht dicker war. Auch war der Einfluß der freien Luft hier durch das Fett vollkommen ausgeschlossen.

Nach Beendigung des Versuchs wurden Spitze und Basis des Blattes auf ihren Stärkegehalt untersucht. Es ergab sich, daß im kohlenstofffreien Raum auch jetzt

nie die geringste Spur von Stärke nachzuweisen war, auch wenn der Blatttheil ganz nahe am Verschlusse untersucht wurde. In dem kohlen säurereichen Raume hatte aber ohne Ausnahme eine sehr reichliche Stärkebildung stattgefunden.

Ein Blattstück kann also im kohlen säurefreien Raume nie sichtbare Mengen von Stärke bilden, wenn auch der unmittelbar angrenzende Blatttheil sich in Luft mit 5 pCt. Kohlen säure befindet, ohne daß zwischen beiden Theilen die Luft ihre Einwirkung auf das Blatt ausüben kann.

Aus den drei vorhergehenden Versuchssreihen ergibt sich also, daß im fortwährend kohlen säurefrei gehaltenen Raume ein Blatt oder Blattstück nie in sichtbarer Menge Stärke bildet, wenn auch anderen, mit ihm verbundenen ober- oder unterirdischen Theilen derselben Pflanze Kohlen säure im Ueberfluß zur Verfügung steht.

In den nachfolgenden zwei Versuchssreihen war es nun die Frage, ob vielleicht die Stärkebildung, welche in der freien Luft stattfindet, von der einem benachbarten Theile zugefügten Kohlen säure beschleunigt werden kann, wie ich oben schon ausführlich besprach.

Vierte Versuchssreihe.

Die eine Längshälfte eines Blattes mit der Basis in Luft mit 5.5 pCt. Kohlen säure, mit der Spitze in der freien Luft. Die andere Hälfte desselben Blattes ganz in der freien Luft.

Zu diesen Versuchen wurden Blätter der nachfolgenden Pflanzen verwendet: *Typha latifolia*, *Cercis siliquastrum*, *Valeriana Phu*, *Bergenia bifolia*, *Polygonum bistorta* und *Phaseolus nanus*. Natürlich waren die grünen Blätter wieder vorher im Finstern entzückt.

Bei den *Typha*-Blättern wurden nur die unmittelbar der Länge nach auf einander folgenden Stücke eines Blattes zur Vergleichung verwendet. Sämmtliche andere Blätter aber wurden in der Weise der Länge nach halbirt, daß die eine Blatthälfte den Mittelnerven und den Blattstiel behielt. Ganze Blätter konnten zu diesen Versuchen nicht verwendet werden, weil die zu vergleichenden Theile einander in allen Hinsichten so viel wie möglich gleich sein mußten.

Die Einrichtung dieser Versuche war nun folgende (Fig. 4). Eine tubulirte und kalibrirte Glasglocke (A, a) von etwa 900 Cc. Inhalt wurde mit dem Tubulus nach unten gekehrt, in einen Halter (h) befestigt. Es reichte der Tubulus bis zu einem gewissen Theilstriche in ein Gefäß mit Wasser (b); die Glocke war also unten durch Wasser abgesperrt.

Die weite, jetzt oben liegende Oeffnung der Glocke hatte einen abgeschliffenen Rand, der mit Talg bestrichen und mit einer Glasplatte (c) verschlossen wurde. Diese war ebenso mit einem Talgkreise versehen.

Zwischen Rand und Glasplatte war nun diejenige Blatthälfte, welche mit Mittelnerven und Blattstiel in Verbindung geblieben war, durch leisen Druck luft-

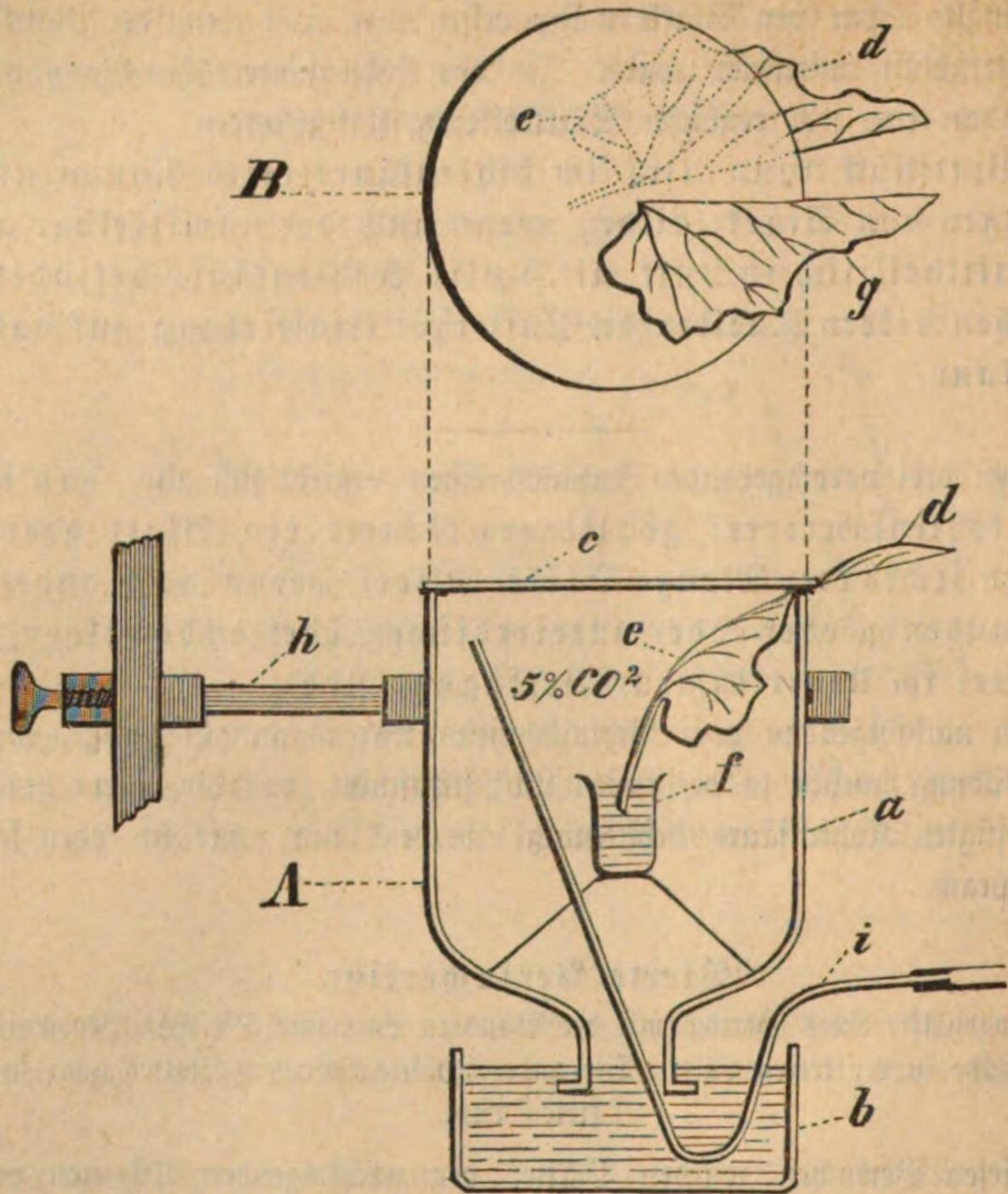


Fig. 4.

Apparat zur vierten Versuchreihe, A im Durchschnitt, B von oben gesehen; b u. f Wasser, d e (in A u. B) die Blatthälfte, die sich mit ihrer Basis in der Glocke, mit ihrer Spitze in der freien Luft befindet, g die Blatthälfte, welche ganz in der freien Luft verweilt.

dicht befestigt, und zwar in der Weise, daß die Spitze (d) dieser Blatthälfte in die Luft ausragte, die Basis (e) mit dem Blattstiele aber in dem abgeschlossenen Raume der Glocke sich befand. Der Blattstiel tauchte mit der Schnittfläche in ein Gefäß mit Wasser (f), das auf einen kleinen eisernen Dreifuß in der Glocke aufgestellt war.

Auf die Oberseite des Glasdeckels der Glocke (man vergleiche Fig. 4, B) wurde nun eine dünne Lage von Löschpapier gelegt, die mit eben ausgekochtem, also kohlensäurefreien Wasser getränkt war und in der Figur der Deutlichkeit wegen weggelassen wurde. Darauf legte ich die zweite Blatthälfte (g), so daß ihre Spitze sich in der nämlichen Stellung befand, wie die der anderen Hälfte (d). Die Basis wurde wieder mit benetztem Löschpapier bedeckt, um das Welken dieser Blatthälfte zu verhindern.

Ein umgebogenes Glasrohr (i) führte von der äußeren Luft durch den Tubulus der Glocke zu ihrem inneren Raume und reichte hier bis oben an den Glasdeckel.

Das andere Ende, in der freien Luft, war wieder mit einem kurzen Kautschukschlauche versehen, der vermittelst eines Quetschhahns verschlossen werden konnte.

Es wurde nun das Wasser durch Saugung bis zu einem gewissen Theilstrich gehoben und dann eine gewisse Menge Kohlensäure zugesetzt. Darauf wurde das Rohr (i) geschlossen. Nachdem die nöthige Correction für das Volumen des Wassergefäßes (f) in der Glocke gemacht war, wurden immer 5.5 pCt. Kohlensäure zugesetzt.

Der so zusammengestellte Apparat wurde an's Licht gebracht und nach bestimmten Zeit-Intervallen von etwa $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 Stunde u. s. w. Längsstreifen von den oberen Theilen beider Blatthälften (g und d) auf ihren Stärkegehalt untersucht.

Es zeigte sich nun, daß nie in dem Theile d eine Spur von Stärke vorhanden war, ohne daß der Theil g dasselbe zeigte; nie wurde also die Stärkebildung in dem Theile d von der Kohlensäure in der Glocke beschleunigt. Auch wenn die Stärke einmal angefangen hatte sich zu zeigen, vermehrte sie sich in beiden Theilen gleichzeitig und auf dieselbe Weise.

Als Resultat dieser Versuche steht also fest, daß ein sehr hoher Kohlensäuregehalt der Luft, die Blattbasis und Blattstiel umgiebt; nie die Stärkebildung der Blattspitze in der freien Luft sichtbar beschleunigen kann.

In einzelnen dieser Versuche wurde die Glasglocke (a) außen mit schwarzem Papier bekleidet und auch der Glasdeckel (c) mit diesem beklebt. Dadurch unterblieb die Stärkebildung des in der Glocke verweilenden Blattstückes (e) ganz oder zum großen Theile. Der Einwurf war somit wieder beseitigt, daß alle durch diesen Theil aufnehmbare Kohlensäure auch zur Stärkebildung dieses Theiles aufgebraucht sein könnte.

Fünfte Versuchsreihe.

Die eine Längshälfte eines Blattes bleibt in der freien Luft, aber verbunden mit der Pflanze, deren Wurzel sich in humusreicher Erde befindet, die andere Hälfte desselben Blattes ist abgetrennt von der Pflanze und verweilt ebenso in der freien Luft, neben der ersteren Hälfte.

Nach dem Vorhergehenden schien es mir nicht ganz unwichtig, sei es auch nur zur Bestätigung meiner Resultate, noch ein paar Versuche mit bewurzelten Pflanzen anzustellen, deren Blätter sich in der freien Luft befanden.

Die im Topfe erwachsene Pflanze wurde im Finstern stärkefrei gemacht. Ein einzelner Versuch fand auch mit einer im Garten wachsenden Pflanze statt. Wenn sie stärkefrei geworden war, wurde ein Blatt der Länge nach halbirt, so daß die an der Pflanze bleibende Hälfte den ganzen Mittelnerven behielt. Die abgeschnittene Hälfte wurde mit eben ausgekochtem Regenwasser feucht gehalten und nebst der ganzen Pflanze noch etwa eine Stunde im finstern Raum gelassen.

Dies geschah, um der vielleicht in der abgeschnittenen Hälfte schon vorhandenen und von der Wurzel angeführten Kohlensäure die Gelegenheit zu bieten, in die Luft zu entweichen. Nur bei dem Versuche im Freien wurde diese Vorsichtsmaßregel nicht angewendet.

Nun wurde die abgeschnittene Hälfte auf eine Glasplatte gelegt, die mit einer dünnen Lage von Löschpapier bedeckt war. Das letztere wurde wieder feucht gehalten mit ausgekochtem Regenwasser, ebenso wurden die Schnittflächen des Blattes auch mit feuchtem Papier bedeckt. Die Platte wurde von einem Halter getragen und in solcher Richtung unter die an der Pflanze gebliebene Blatthälfte geschoben, daß diese sich neben der abgeschnittenen Hälfte und vollkommen in derselben Lage befand.

Dann wurde der Apparat dem Lichte ausgesetzt und nach bestimmten Zeitintervallen untersuchte ich wieder beide Blatthälften auf ihren Stärkegehalt.

Die Temperatur wurde bei diesen Versuchen immer an einem frei hängenden Thermometer abgelesen.

Auch jetzt erschien die Stärke in beiden Blatthälften gleichzeitig; in dem mit der Pflanze und der Wurzel verbundenen Stücke war nie eine Spur von Stärke, die sich nicht ebenso in der abgeschnittenen Hälfte zeigte.

Es kann also die Kohlensäure, welche die Wurzel in humusreicher Erde vorfindet, die Stärkebildung der Blätter in der freien Luft nicht sichtbar beschleunigen.

III. Beschreibung der einzelnen Versuche.

Erste Versuchsreihe.

Versuch I.

Phaseolus multiflorus.

Vorläufiger Versuch, um festzustellen, daß der von der Glocke abgeschlossene Raum fortwährend kohlenstofffrei bleibt.

Etiolierte Pflanze mit noch ganz zusammengefalteten Primordialblättchen, die sich aber bald entfalteten und kräftig wuchsen, ebenso wie die Endknospe. Die Farbe der Blätter wurde bald schön grün.

Anfang des Versuchs am 2. August 1 Uhr Nm.

Nach 3 Stunden wurde das Uhrglas, in der Glocke, mit Barytwasser gefüllt.

Am 3. August 6 Uhr Nm. (also nach 26 Stunden) war das Barytwasser noch vollkommen klar.

Am 7. August 6 Uhr Nm. (also nach 5 Tagen) wurde der Versuch abgebrochen; das Barytwasser hatte sich während der letzten Tage etwas getrübt, aber weniger als nach einigen Minuten an der freien Luft. Der Apparat stand am Ostfenster. Inhalt der Glocke 900 Cc.

Resultat. Die Untersuchung des Blattes nach Beendigung des Versuchs ergab, daß die Blattnerven ein wenig aus den Kotyledonen angeführte Stärke enthielten. Das Blattparenchym aber war vollkommen stärkefrei geblieben.

Versuch II.

Phaseolus multiflorus.

Zwei in einem Topfe im Dunkeln gezogene und nachher im Halbdunkel ergrünte Pflanzen wurden zu Versuchspflanze und Kontrollpflanze α verwendet.¹⁾

Die ganzen, etwa zwei Decimeter langen, oberen Enden wurden in die Glocken geführt; sie besaßen jedes ein größeres und einige kleinere Blättchen.

Versuchsdauer vom 10. August 8 Uhr Vm. bis zum 11. August 5 Uhr Nm. (33 Stunden).

Ostfenster. An beiden Tagen war die Luft ziemlich bewölkt. Temperatur ungefähr 25 Grad C. Inhalt einer jeden Glocke 2500 Cc. Die Glocke der Kontrollpflanze war nur durch ein dünnes Glasrohr mit der äußeren Luft in Verbindung.

Resultat (nur die größeren Blätter wurden untersucht):

Versuchsblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : es hat sich Stärke gebildet, aber nicht viel.

Versuch III.

Cucurbita Pepo.

Zwei im Dunkeln gezogene Keimpflanzen, jede etwa 12 Cm. hoch, wurden zu Versuchspflanze und Kontrollpflanze α verwendet. Die beiden Kotyledonen und das zwischenliegende erste Blättchen wurden in die Glocken geführt; nach zwei Tagen haben beide Pflanzen noch ein neues Blättchen gebildet.

Versuchsdauer vom 12. August 1 Uhr Nm. bis zum 17. August 6 Uhr Nm.

Ostfenster: während der ganzen Versuchsdauer ein wolkenloser Himmel. Temperatur zwischen 23 und 28 Grad C. Inhalt einer jeden Glocke 3800 Cc.

Resultat. Am Ende des Versuchs wurden von jeder Pflanze ein Kotyledon und das älteste Blättchen untersucht. Beide waren von der

Versuchspflanze: vollkommen stärkefrei.

Kontrollpflanze α : es hat sich Stärke gebildet, aber nicht sehr viel.

Versuch IV.

Phaseolus multiflorus.

Drei etiolirte Keimpflanzen, Wasserkulturen (in gewöhnlichem, aber sehr stark kalkhaltigem Brunnenwasser), wurden als Versuchspflanze, Kontrollpflanze α und Kontrollpflanze β verwendet. Die Primordialblätter waren Anfangs zusammengefaltet, wuchsen aber rasch und gut; außerdem bildeten sich in jeder Glocke während des Versuchs noch ein paar neue Blätter.

Anfang des Versuchs am 12. August, 9 Uhr Vm.

Am 14. August wurde unter jede Glocke ein kleines Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure gestellt, um die Transpiration zu befördern.

1) Hier wie in den folgenden Versuchsbeschreibungen dieser Reihe werde ich mich nachstehender Abkürzungen bedienen. Versuchspflanze (oder Versuchsblatt) ist diejenige, welche in den kohlenstofffreien Raum geführt wird; Kontrollpflanze α (oder Kontrollblatt α) ist diejenige, welche in die von Wasser abgesperrte Glocke geführt wird; Kontrollpflanze β (oder Kontrollblatt β) endlich ist diejenige, die sich an der freien Luft befindet, ohne alle Apparate (e in Fig. 1).

Ende des Versuchs am 15. August, 4 Uhr Nm. (also nach 4 Tagen).

Dstfenster. Der Himmel war während der ganzen Versuchsdauer wolkenlos. Temperatur zwischen 22 und 27 Grad C. Inhalt einer jeden Glocke 2500 Cc.

Resultat. Am Ende des Versuchs war das Versuchsbblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : enthielt Stärke, aber nicht sehr viel (viel weniger als Kontrollblatt β).

Kontrollblatt β : ganz voll Stärke; die Schnitte wurden mit Jod ganz schwarz.

Versuch V.

Phaseolus multiflorus.

Drei im Finstern erzogene, 7 bis 8 Cm. hohe Keimpflanzen, mit noch ganz zusammengefalteten Primordialblättern wurden zu Versuchspflanze, Kontrollpflanze α und Kontrollpflanze β verwendet. Der ganze obere Theil der Pflanzen wurde in die Glocken geführt.

Anfang des Versuchs am 12. August 6 Uhr Nm.

Am 14. August waren die Primordialblätter alle schön grün, und wurde unter jede Glocke ein kleines Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure gestellt.

Am 16. August 6 Uhr Nm. (also nach 4 Tagen) wurde von jeder Pflanze ein Primordialblatt genommen und auf Stärke untersucht.

Resultat: Versuchsbblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : ziemlich viel Stärke, aber weniger wie in Kontrollblatt β .

Kontrollblatt β : sehr viel Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Am 17. August 6 Uhr Nm. (also nach 5 Tagen) wurde das zweite Primordialblatt der drei Pflanzen auf Stärke untersucht.

Resultat: Versuchsbblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : viel Stärke, aber immer noch bedeutend weniger wie Kontrollblatt β .

Kontrollblatt β : sehr viel Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Dstfenster. Während der ganzen Versuchsdauer ein wolkenloser Himmel. Temperatur zwischen 22 und 26 Grad C. Inhalt einer jeden Glocke: 900 Cc.

Versuch VI.

Tropaeolum nanum.

Drei etiolirte, etwa 8 Cm. hohe Keimpflanzen wurden als Versuchspflanze, Kontrollpflanze α und Kontrollpflanze β verwendet.

Unter beiden Glocken befanden sich, vom Anfang des Versuchs an, kleine Gefäße mit starker Schwefelsäure.

Anfang des Versuchs am 14. August 6 Uhr Nm.

Am 19. August 6 Uhr Nm. (also nach 5 Tagen) wurde von jeder Pflanze ein Primordialblatt untersucht.

Resultat: Versuchsbblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : unbedeutend wenig Stärke, aber immerhin etwas.

Kontrollblatt β : Mehr Stärke wie in Kontrollblatt α , aber nicht sehr viel.

Am 21. August wurde nun den ganzen Tag über durch beide Glocken Luft gesaugt; am nächsten Tage ebenso.

Am 22. August 6 Uhr Nm. (also nach 8 Tagen) wurde das zweite Primordialblatt einer jeden Pflanze untersucht.

Resultat: Versuchsblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : ganz voll Stärke, die Schnitte wurden schwarz.

Kontrollblatt β : ganz so wie Kontrollblatt α .

Es hatte hier also die durchgeführte Luft ihren Einfluß geltend gemacht. Ostfenster. Während der ersten Tage des Versuchs war der Himmel fortwährend wolkenlos, nachher etwas bewölkt, wenn auch die Sonne sich ziemlich häufig zeigte. Temperatur zwischen 22 und 27 Grad C. Inhalt einer jeden Glocke: 900 Cc.

Versuch VII.

Cucurbita Pepo.

Drei kräftige, junge, am Lichte erzogene Cucurbitapflanzen wurden zu Versuchspflanze, Kontrollpflanze α und Kontrollpflanze β verwendet.

In jede Glocke wurde ein schönes, 8 Cm. langes Blatt geführt, so daß der Blattstiel in der Oeffnung des Schüsselchens befestigt war. Die Blätter wuchsen während des Versuchs noch ein wenig.

Anfang des Versuchs am 23. August 8 Uhr Vm.

In beiden Glocken war ein Gefäß mit starker Schwefelsäure vorhanden.

Beim Anfang des Versuchs wurde von jedem der drei Blätter ein Stück untersucht, wobei sich ergab, daß sie sämtlich ziemlich reichlich Stärke enthielten.

Am 23. August wurde den ganzen Tag über Luft durchgesaugt; ebenso am 24. Am Abende dieses letzteren Tages um 6 Uhr (also nach 2 Tagen) wurde ein Blattstück eines jeden Blattes untersucht.

Resultat: Versuchsblatt: vollkommen stärkefrei geworden.

Kontrollblatt α : sehr wenig Stärke, weniger wie beim Anfang des Versuchs.

Kontrollblatt β : ganz voll Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Das Durchsaugen von Luft hatte also dem Blatte in der durch Wasser abgesperrten Glocke nicht genügt.

Am nächsten Tage (25. August) wurde wieder Luft durchgeführt, und um 6 Uhr Nm. wurden wieder drei Blattstücke untersucht.

Resultat: Versuchsblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : hat viel Stärke gebildet, aber entschieden weniger wie Kontrollblatt β .

Kontrollblatt β : ganz voll Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Am 26. August, 9 Uhr Vm. wurde in die Glocke mit atmosphärischer Luft 2 pCt. Kohlenensäure eingefüllt, und die Glocke dann abgeschlossen. Im kohlenensäurefreien Raum wurde natürlich auch keine Luft mehr durchgeführt.

Um 6 Uhr Nm. wurden die Blätter untersucht.

Resultat: Versuchsblatt: vollkommen stärkefrei.

Kontrollblatt α : ganz voll Stärke, die Schnitte wurden schwarz.

Kontrollblatt β : ebenso wie Kontrollblatt α .

Am 27. August, Morgens früh, wurden die Glocken und die Flüssigkeiten, die in den Schüffelchen waren, umgewechselt, so daß jetzt das mit Stärke gefüllte Blatt (früher Kontrollblatt α) zum Versuchsblatt wurde, und umgekehrt das stärkefreie Blatt (früher Versuchsblatt) zum Kontrollblatt α . Das letztere erhielt nun wieder 2 pCt. Kohlensäure.

An demselben Tage um 6 Uhr Nm. wurden die Blätter untersucht.

Resultat: Das jetzige Versuchsblatt: noch voll Stärke.

Das jetzige Kontrollblatt α : war ganz voll Stärke geworden.

Kontrollblatt β : war ganz voll Stärke geblieben.

Am 28. August um 7 Uhr Nm. wurde wieder untersucht.

Resultat: das jetzige Versuchsblatt: war fast vollkommen stärkefrei geworden.

Das jetzige Kontrollblatt α : ganz voll Stärke.

Kontrollblatt β : wie Kontrollblatt α .

Die ganze Versuchsdauer war also 6 Tage. Südfenster. Während dieses Versuchs war der Himmel fortwährend bewölkt, das Wetter trübe. Temperatur zwischen 16 und 24 Grad C.

Inhalt einer jeden Glocke 2500 Cc.

Versuch VIII.

Beta vulgaris var. *saccharifera*.

Drei in Töpfen im Freien gewachsene Pflanzen wurden zu Versuchspflanze, Kontrollpflanze α und Kontrollpflanze β verwendet. In jede Glocke wurde ein Blatt geführt. Beim Anfang des Versuchs waren alle Blätter mit Stärke vollgefüllt. Die Kontrollpflanze β wurde von einem schwarzen Papprezipienten verfinstert.

Anfang des Versuchs am 6. September 4 Uhr Nm. An jedem Versuchstage wurde dem Kontrollblatte α , Morgens früh 2 pCt Kohlensäure zugesetzt, und wurden Abends die beiden Glocken während einiger Minuten entfernt.

Am 7. September 6 Uhr Nm. wurde untersucht.

Resultat: Versuchsblatt: war vollkommen stärkefrei geworden.

Kontrollblatt α : ganz voll Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Kontrollblatt β : war vollkommen stärkefrei geworden.

Es war also die Stärke im kohlenstofffreien Raum am Lichte eben so rasch verschwunden, wie in der gewöhnlichen Luft im Dunkeln.

Am 8. September 6 Uhr Nm. wurde wieder untersucht, und, wie zu erwarten war, mit dem nämlichen Resultate.

Deshalb wurden am 9. September Morgens früh die Flüssigkeiten und Glocken umgewechselt. Die Kontrollpflanze β wurde nicht weiter untersucht, weil sie natürlich stärkefrei blieb.

Am 9. September 6 Uhr Nm. wurde untersucht.

Resultat: Das jetzige Versuchsblatt war in dem einen Tage schon so gut wie stärkefrei geworden.

Das jetzige Kontrollblatt α : ganz voll Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Am 10. September 6 Uhr Nm. wurde wieder untersucht.

Resultat: Das jetzige Versuchsblatt: vollkommen stärkefrei.

Das jetzige Kontrollblatt α : enthielt Stärke, aber viel weniger wie am vorigen Tage. Dementsprechend fing es an gelb zu werden, und ging bald nach Beendigung des Versuchs ein. Das andere Blatt war vollkommen grün und lebenskräftig geblieben.

Die ganze Versuchsdauer war also 4 Tage, während welcher Zeit das Wetter fortwährend ziemlich trübe war. Südfenster. Temperatur: zwischen 16 und 25 Grad C.

Inhalt einer jeden Glocke 2500 Cc.

Zweite Versuchsreihe.

Versuch IX.

Typha stenophylla F und Mey.

Am 2. September. Versuchsdauer von 12½ Uhr Nm. bis 7 Uhr Nm. Himmel bewölkt. Temperatur: zwischen 17 und 22 Grad C. Ostfenster.

In der Luft der unteren Glocke war 4 pCt. Kohlensäure.

Länge des in Luft sich befindenden Blattstückes: 5 Cm.

Resultat: 1) Der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei.

Der untere Blatttheil: die dem Lichte zugekehrte Seite voll Stärke.

Versuch X.

Typha stenophylla F und Mey.

Am 4. September. Versuchsdauer von 9 Uhr Vm. bis 7 Uhr Nm. Ziemlich heller Himmel, abwechselnd Sonnenschein und bewölkt. Temperatur: zwischen 18 und 20 Grad C. Südfenster.

Die Luft der unteren Glocke enthielt 5 pCt. Kohlensäure. Länge des mittleren Blattstückes 5 Cm. Neben dem Apparate stand noch ein stärkefreies Blattstück, in Wasser, an der freien Luft.

Resultat: der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei.

Der untere Blatttheil: auf beiden Seiten ganz voll Stärke, die Schnitte wurden ganz schwarz.

Mit diesem Resultate stimmt es überein, daß während des Versuchs die Hinterseite des Blattes vermittelt eines Spiegels beleuchtet war.

Das stärkefreie Blattstück, das neben dem Apparate an der freien Luft stand, hatte nach Abschluß des Versuchs ziemlich viel Stärke gebildet, insbesondere auf der beleuchteten Seite. Im Ganzen enthielt es bedeutend weniger, wie das Blattstück aus der Luft mit 5 pCt. Kohlensäure, dem niedrigeren Kohlensäuregehalt der Atmosphäre entsprechend.

Versuch XI.

Typha stenophylla F und Mey.

Am 5. September, 12 Uhr Mittags fing der Versuch an, und wurde erst am

1) Es versteht sich, daß in sämtlichen Versuchen dieser Reihe die Blatttheile, die sich zwischen den Korkpfropfen befunden hatten, außer Beachtung gelassen wurden. Der in der freien Luft zwischen beiden Glocken verweilende Theil wurde nach jedem Versuche untersucht, erwies sich aber natürlich stets als vollkommen stärkefrei.

nächsten Tage, um 7 Uhr Nm. abgebrochen. Am Abende des ersten Tages wurden beide Glocken während einiger Zeit geöffnet, dann wieder geschlossen, und erst am nächsten Tage, Morgens früh, wurde in die untere Glocke wieder 5 pCt. Kohlensäure eingefüllt.

Während des Versuchs war das Wetter hell, der Himmel nur leicht bewölkt. Temperatur: zwischen 20 und 21 Grad C. Südfenster.

Der mittlere Blatttheil war 4.5 Cm. lang.

Resultat: Der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei.

Der untere Blatttheil: Auf beiden Seiten ganz voll Stärke, Schnitte ganz schwarz.

Versuch XII.

Sparganium ramosum.

Am 8. September. Versuchsdauer von 11 Uhr Vm. bis 6 Uhr Nm.

Der Himmel war bewölkt, das Wetter trübe. Temperatur: zwischen 16 und 19 Grad C. Ostfenster.

In der unteren Glocke enthielt die Luft 5 pCt. Kohlensäure.

Der mittlere Blatttheil war 3 Cm. lang.

Resultat: Der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei, auch ganz unten am Korke.

Der untere Blatttheil: auf der beleuchteten Seite viel Stärke, auf der anderen sehr wenig.

Versuch XIII.

Sparganium ramosum.

Anfang des Versuchs am 8. September um 12½ Uhr Nm., Ende am 9. September 6 Uhr Nm. Am Abende des ersten Tages wurde der Apparat ungewandelt gelassen, so daß die Kohlensäure über Nacht in der unteren Glocke blieb.

Am nächsten Tage wurde die Luft der unteren Glocke erneuert, und darauf wieder Kohlensäure zugesetzt.

Das Wetter war an beiden Tagen trübe.

Temperatur: zwischen 16 und 20 Grad C. Ostfenster. Die Luft der unteren Glocke enthielt 2.5 pCt. Kohlensäure.

Der mittlere Blatttheil war 1.5 Cm. lang.

Resultat: Der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei; untersucht bis auf 0.5 Cm. vom Korke.

Der untere Blatttheil: die beleuchtete Seite enthält sehr viel Stärke, ganz schwarz, die andere Seite viel weniger.

Versuch XIV.

Typha latifolia.

Versuchsdauer vom 13. September 8 Uhr Vm., bis zum 14. September 6 Uhr Nm. Ueber Nacht wurde die Kohlensäure in der unteren Glocke gelassen; am nächsten Tage, Morgens früh, wurde sie von Neuem zugesetzt.

Das Wetter war an beiden Tagen trübe. Temperatur: zwischen 15 und 18 Grad C. Die Luft der unteren Glocke enthielt 5 pCt. Kohlensäure.

Der mittlere Blatttheil war 3.6 Cm. lang.

Resultat: der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei; untersucht bis auf 0.5 Cm. vom Korke.

Der untere Blatttheil: auf beiden Seiten ganz voll Stärke, ganz schwarz.

Mit diesem Resultate stimmt die Thatsache überein, daß hinter dem Apparate ein Spiegel gestanden hatte.

Versuch XV.

Thypha latifolia.

Am 13. September. Versuchsdauer von 9 Uhr Vm. bis 6 Uhr Nm. Der Himmel war trübe. Temperatur zwischen 16 und 18 Grad C. Die Luft der unteren Glocke enthielt 5 pCt. Kohlen Säure. Es war ein Spiegel hinter den Apparat gestellt.

Der mittlere Blatttheil war 2 Cm. lang.

Resultat: der obere Blatttheil: vollkommen stärkefrei, auch auf 0.5 Cm. Entfernung vom Korke untersucht.

Der untere Blatttheil: auf der beleuchteten Seite hat sich Stärke gebildet, auf der anderen nicht (Licht und Temperatur waren nicht sehr günstig).

Dritte Versuchsreihe.

Versuch XVI.

Cucurbita Pepo.

Am 16. September. Versuchsdauer von 11½ Uhr Vm. bis 5 Uhr Nm.

Der Himmel abwechselnd bewölkt und hell. Temperatur: Zwischen 16 und 18 Grad C. Ostfenster.

Resultat: die Blattspitze: vollkommen stärkefrei, ganz in der Nähe des Verschlusses untersucht.

Die Blattbasis: ganz voll Stärke, die Schnitte wurden schwarz.

Versuch XVII.

Vitis vinifera.

Am 20. September. Versuchsdauer von 8½ Uhr Vm. bis 4 Uhr Nm.

Abwechselnd Sonnenschein und bewölkt. Temperatur 16 Grad C. Ostfenster.

Zu diesem Versuche wurden zwei Blätter verwendet, welche sich Beide mit ihren Spitzen im kohlen Säurefreien Raum befanden. Beide führten zum nämlichen Resultate:

Die Blattspitze: vollkommen stärkefrei.

Die Blattbasis: sehr viel Stärke.

Versuch XVIII.

Cercis siliquastrum.

Am 23. September. Versuchsdauer von 10½ Uhr Vm. bis 6 Uhr Nm.

Fortwährend wolkenloser Himmel. Temperatur zwischen 15 und 16 Grad C. Ostfenster.

Resultat: die Blattspitze: vollkommen stärkefrei.

Die Blattbasis: ziemlich viel Stärke.

Versuch XIX.

Viola suava.

Am 25. September. Versuchsdauer von 11 Uhr Vm. bis 7 Uhr Nm.

Das Wetter war trübe. Temperatur zwischen 16 und 19 Grad C. Ostfenster.

Resultat: die Blattspitze: vollkommen stärkefrei.

Die Blattbasis: ganz voll Stärke, die Schnitte wurden schwarz.

Versuch XX.

Polygonum bistorta.

Dieselben Data wie beim vorigen Versuche.

Resultat: die Blattspitze: vollkommen stärkefrei.

Die Blattbasis: sehr viel Stärke.

Versuch XXI.

Polygonum bistorta.

Am 25. September. Versuchsdauer von 12½ Uhr Nm. bis 7 Uhr Nm.

Das Wetter war trübe. Temperatur: zwischen 17 und 20 Grad C. Südfenster.

Inhalt der Glocke 3400 Cc. Es wurden 150 Cc. Kohlensäure zugesetzt (also etwa 4.5 pSt.).

Resultat: die Blattspitze: vollkommen stärkefrei.

Die Blattbasis: sehr viel Stärke.

Versuch XXII.

Trifolium pratense.

Am 27. September. Versuchsdauer von 11 Uhr Vm. bis 5½ Uhr Nm.

Das Wetter war trübe, der Himmel bewölkt. Temperatur: 18 Grad C. Südfenster.

Zum Versuche wurde eins der Seitenblättchen des zusammengesetzten Blattes verwendet.

Resultat: die Blattspitze: vollkommen stärkefrei.

Die Blattbasis: ganz voll Stärke, die Schnitte wurden schwarz.

Vierte Versuchsreihe.

Versuch XXIII.

Typha latifolia.

Am 26. September. Versuchsdauer von 9 Uhr Vm. bis 6 Uhr Nm.

Der Himmel war ziemlich bewölkt. Temperatur: zwischen 18 und 25 Grad C. Südfenster.

Zu diesem Versuche wurden vier Versuchstheile ¹⁾ und vier Kontrolltheile verwendet, je zwei von einem anderen Blatte genommen und an verschiedenen Zeiten untersucht.

Resultat: Nach 1½ Stunde:

1) Die untersuchte Spitze der Blatthälfte oder des Blattstückes, dessen Basis in Luft mit 5 pSt. Kohlensäure war, nenne ich den Versuchstheil; die Spitze des ganz in der freien Luft verweilenden Blatttheiles nenne ich aber Kontrollheil.

Versuchs- und Kontrolltheil noch stärkefrei.

Nach 3 Stunden: 2)

Versuchs- und Kontrolltheil haben ziemlich viel Stärke gebildet, vorwiegend auf der oben liegenden, dem Lichte zugekehrten Seite.

Nach 6 Stunden:

Beide Theile enthalten sehr viel Stärke, vorwiegend auf der oberen Seite, die untere so gut wie stärkefrei.

Nach 9 Stunden:

Beide Theile haben Stärke gebildet, am meisten auf der Oberseite.

Versuch XXIV.

Cercis siliquastrum.

Am 28. September. Versuchsdauer von 11 Uhr 5 Min. Vm. bis 3 Uhr 30 Min. Nm.

Das Wetter war trübe, der Himmel bewölkt. Temperatur: zwischen 18 und 21 Grad C. Südfenster.

Resultat: nach 25 Minuten: beide Theile enthalten Spuren von Stärke im Palissadenparenchym, aber sehr wenig.

Nach einer Stunde:

Beide Theile enthalten schon etwas mehr Stärke im Palissadenparenchym, aber immer noch wenig.

Nach 2 Stunden:

Beide Theile enthalten reichlich Stärke, auch im Schwammparenchym.

Nach 4½ Stunde:

Beide Theile sind ganz voll Stärke.

Versuch XXV.

Valeriana Phu.

Am 30. September. Versuchsdauer von 8½ Uhr Vm. bis 11½ Uhr Vm. Wolkenloser Himmel. Temperatur: zwischen 19 und 26 Grad C. Südfenster.

Resultat: nach 30 Minuten:

In Versuchs- und Kontrolltheil hat sich sehr deutlich ein wenig Stärke gebildet.

Nach 1¼ Stunde:

In beiden Theilen hat sich die Stärke vermehrt und ist jetzt reichlich vorhanden.

Nach 2 Stunden:

Beide Theile enthalten sehr viel Stärke.

Nach 3 Stunden:

Beide Theile sind ganz und gar voll Stärke, die Schnitte werden schwarz.

Versuch XXVI.

Bergenia bifolia.

Am 3. Oktober. Versuchsdauer von 9 Uhr 5 Minuten Vm. bis 12 Uhr Mittags.

Fortwährend wolkenloser Himmel. Temperatur zwischen 27 und 29 Grad C. Südfenster.

2) Hier, wie immer in dieser Versuchsreihe, vom Anfang des Versuchs ab gerechnet.

Im Blatte waren beim Anfang des Versuchs noch einzelne Zellen mit Stärke gefüllt.

Resultat: nach 20 Minuten:

Beide Theile sind noch so wie vor Anfang des Versuchs.

Nach 40 Minuten:

In Versuchs- und Kontrolltheil hat sich die Stärke ziemlich stark vermehrt.

Nach 2 Stunden:

Beide Theile enthalten ganz reichlich Stärke.

Nach 3 Stunden:

Beide Theile ganz voll Stärke.

Der Theil des Blattes, welcher sich in der Glocke befunden hatte, wurde nach Beendigung des Versuchs untersucht und war auch ganz voll Stärke.

Versuch XXVII.

Polygonum bistorta.

Am 4. Oktober. Versuchsdauer von 10 Uhr 40 Minuten Vm. bis 1 Uhr Nm.

Der Himmel war fortwährend wolkenlos. Temperatur 21 Grad C. Südfenster.

Bei diesem Versuche war der Innenraum der Glocke verfinstert; dementsprechend hatte auch der dort sich befindende Blatttheil so gut wie keine Stärke gebildet.

Resultat: nach 20 Minuten:

Im Versuchs- und Kontrolltheil hat sich sehr deutlich, aber noch wenig Stärke gebildet.

Nach 40 Minuten:

Beide Theile enthalten sehr reichlich Stärke.

Nach einer Stunde:

In beiden Theilen hat sich die Stärke wieder vermehrt, es ist jetzt sehr viel vorhanden.

Nach 2 Stunden und 20 Minuten:

Beide Theile ganz voll Stärke, die Schnitte werden schwarz.

Versuch XXVIII.

Phaseolus nanus.

Am 9. Oktober. Versuchsdauer von 10 Uhr 45 Min. Vm. bis 1 Uhr Nm.

Ununterbrochener Sonnenschein. Temperatur zwischen 19 und 22 Grad C. Südfenster; um 11 Uhr wurde der Apparat aber ans Ostfenster gestellt.

Zu diesem Versuche wurden zwei Seitenblättchen des zusammengestellten Blattes verwendet. Beide wurden der Länge nach halbirt und jedesmal die beiden Hälften desselben Blättchens mit einander verglichen. Die Glocke war wieder in schwarzer Umhüllung eingeschlossen; dem entsprechend waren die in der Glocke verweilenden Blattbasen vollkommen stärkefrei geblieben.

Resultat: nach $\frac{1}{4}$ Stunde:

Versuchs- und Kontrolltheil (des ersten Blättchens) enthalten etwas Stärke, aber sehr wenig.

Nach 35 Minuten:

Beide Theile enthalten etwas mehr Stärke, aber noch nicht reichlich.

Nach einer Stunde:

In beiden Theilen (des zweiten Blättchens) ist ganz reichlich Stärke vorhanden.

Nach $2\frac{1}{4}$ Stunde:

Beide Theile sind ganz voll Stärke, die Schnitte werden schwarz.

Fünfte Versuchsreihe.

Versuch XXIX.

Valeriana Phu.

Am 2. Oktober. Versuchsdauer von 11 Uhr 10 Minuten Vm. bis 12 Uhr 50 Minuten Nm.

Fortwährender Sonnenschein. Temperatur 17 Grad C. Die Pflanze befand sich im Garten und war im freien Boden gewurzelt; zum Versuche wurde ein Wurzelblatt verwendet.

Resultat: nach 20 Minuten:

Beide Hälften waren noch stärkefrei.

Nach 40 Minuten:

Geringe Spuren von Stärke in beiden Hälften, aber ganz wenig.

Nach $1\frac{1}{4}$ Stunde:

In beiden Hälften hat sich überall Stärke gebildet, wenn auch nicht viel.

Nach einer Stunde und 40 Minuten:

In beiden Hälften hat die Stärke sich vermehrt.

Versuch XXX.

Trifolium pratense.

Am 6. Oktober. Versuchsdauer von 10 Uhr 50 Min. Vm. bis 12 Uhr Mittags. Wolkenloser Himmel. Temperatur zwischen 25 und 26 Grad C. Süd Fenster.

Es wurden zu diesem Versuche, der Kleinheit der Blättchen wegen, zwei zusammengesetzte Blätter verwendet; die beiden Endblättchen blieben mit der Pflanze verbunden. Von jedem Blatte wurden beide Seitenblättchen abgeschnitten und die Stärkebildung eines von diesen mit der des zugehörigen Endblättchens verglichen. Jedesmal wurde ein halbes Blättchen untersucht.

Resultat: Nach 10 Minuten:

Die beiden untersuchten Blatthälften enthalten etwas Stärke, aber sehr wenig.

Nach 25 Minuten:

In beiden Hälften hat sich sehr reichlich Stärke gebildet.

Nach 40 Minuten:

Beide Hälften ganz voll Stärke, die Schnitte wurden schwarz.

Nach einer Stunde und 10 Minuten:

Ebenso.

Versuch XXXI.

Cucurbita Pepo.

Am 14. Oktober. Versuchsdauer von 10 Uhr 37 Min. Vm. bis 12 Uhr 50 Min. Nm.

Wolkenloser Himmel. Temperatur: zwischen 23 und 25 Grad. C. Süd Fenster.

Resultat: nach 18 Minuten:

Beide Blatthälften noch stärkefrei.

Nach 40 Minuten:

Beide Hälften enthalten ziemlich viel Stärke.

Nach 1 $\frac{1}{4}$ Stunde:

In beiden Hälften ist sehr reichlich Stärke vorhanden.

Nach einer Stunde und 23 Minuten:

Beide Hälften ganz voll Stärke, die Schnitte werden schwarz.

Versuch XXXII.

Phaseolus nanus.

Am 14. Oktober. Versuchsdauer von 10 Uhr 40 Min. Vm. bis 12 Uhr 50 Min. Nm.

Fortwährend wolkenloser Himmel. Temperatur: zwischen 22 und 23 Grad C. Süd Fenster.

Zum Versuche wurde ein Endblättchen halbirt.

Resultat: nach 20 Minuten:

Die beiden Hälften noch vollkommen stärkefrei.

Nach 35 Minuten:

Noch vollkommen stärkefrei.

Nach 65 Minuten:

In beiden Hälften etwas, aber sehr wenig Stärke.

Nach 2 Stunden und 10 Min:

In beiden Hälften ist ziemlich reichlich Stärke vorhanden.

Die Resultate dieser Untersuchung möchte ich nun in folgende Sätze zusammenstellen.

1. Im fortwährend kohlenstofffrei gehaltenen Raume bildet ein Blatt oder Blattstück nie Stärke in sichtbarer Menge, wenn auch organisch mit ihm verbundene, ja selbst unmittelbar angrenzende ober- oder unterirdische Pflanzentheile sich in einer Umgebung befinden, die vielmals reicher an Kohlenstoffsäure ist, als die gewöhnliche Luft.

Es kann also die Kohlenstoffsäure, die einem beliebigen Pflanzentheile in Ueberfluß zur Verfügung steht, in einem mit diesem Theile verbundenen Blatte oder Blattstücke, das sich im kohlenstofffreien Raume aufhält, nie zur sichtbaren Stärkebildung Veranlassung geben.

2. Die Stärkebildung eines Blattes oder Blattstückes in der freien Luft wird nicht sichtbar beschleunigt, wenn sich ein mit diesem Blatte oder Blattstücke organisch verbundener Theil derselben Pflanze in einer Umgebung befindet, deren Kohlenstoffsäuregehalt den der Luft sehr übersteigt.

Es kann also die Kohlenstoffsäure, die einem beliebigen Pflanzentheile in Ueberfluß zur Verfügung steht, in einem mit ihm verbundenen Blatte oder