

# Kohlensäuretransport in Blättern.

VON

**K. ZIJLSTRA.**

(Mit Tafel V und VI).

---

## EINLEITUNG.

In seiner Arbeit: „UEBER DEN URSPRUNG DES KOHLENSTOFFS DER PFLANZEN“<sup>1)</sup> wird von Moll gezeigt, dass es nur die Kohlensäure der Luft ist, welche die Pflanzen zur Stärkebildung bringt, im Gegensatz zur der noch in jener Zeit von mehreren Physiologen gehegten Meinung, dass auch Kohlensäure aus dem Boden mit dem Wasser zu den Blättern geführt, dort zu Stärkebildung benutzt werden könnte. Es wird in dieser Arbeit bewiesen, dass Pflanzen, deren Wurzeln reichlich Kohlensäure zur Verfügung steht, idem die oberirdischen Teile sich in einer kohlenstofffreien Atmosphäre befinden, in ihren Blättern niemals Stärke bilden können.

Selbst wird durch einige Versuche gezeigt, dass die Wirkung der Kohlensäure eine so lokalisierte ist, dass ein Blattteil in einem kohlenstofffreien Raum keine Stärke bildet, wenn einem benachbarten Teil reichlich Kohlensäuregas zur Verfügung steht.

Diese Versuche wurden ausgeführt mit Blättern von *Cucurbita Pepo*, *Vitis vinifera*, *Cercis siliquastrum*, *Viola suava*, *Polygonum Bistorta* und *Trifolium pratense*. Jedes

---

1) Moll. Ueber den Ursprung des Kohlenstoffs der Pflanzen. Landwirtschaftliche Jahrbücher, VI, 1877, p. 327—363.

Versuchsblatt war vorher im Finstern entstärkt worden und nachdem an einem kleinen Teil des Blattes konstatiert war, dass alle Stärke verschwunden, wurde der Versuch in der folgenden Weise angestellt.

Zwei gleich grosse Kristallisierschalen wurden mit ihren flach geschliffenen Rändern, die mit Talg bestrichen waren, aufeinander gestellt; es entstand hierdurch ein abgeschlossener Raum, der kohlenäurefrei gehalten wurde durch konzentrierte Kalilauge, welche sich in der unteren Schale befand. Das stärkefreie Versuchsblatt wurde nun zwischen den Rändern der Schalen gelegt, derart, dass die obere Hälfte oder das obere Drittel sich in dem abgeschlossenen Raum befand, während der übrige Blattteil ausserhalb der Schalen blieb. Durch leisen Druck wurde der Schalenraum luftdicht abgeschlossen. Der ganze Apparat wurde nun unter eine grosse Glasglocke gestellt, welche durch Wasser abgesperrt wurde. Der so abgeschlossene Raum enthielt gewöhnliche Luft, welcher 5% Kohlenäure zugesetzt war. Bei dieser Einrichtung des Versuchs befand sich also die Blattspitze in einem kohlenäurefreien Raum, während der übrige Teil des Blattes, dessen Stiel mit seiner Schnittfläche in ein kleines Gefäss mit Wasser gestellt war, von einer sehr kohlenäurereichen Atmosphäre umgeben war. Nur ein schmaler Blattteil war zwischen den Schalenrändern geklemmt, deren Dicke 3 mm. betrug.

Das Ganze wurde während 6 bis 8 Stunden starkem diffusem Lichte ausgesetzt; nach Verlauf dieser Zeit wurden Spitze und Basis des Blattes an mikroskopischen Querschnitten auf ihrem Stärkegehalt untersucht.

In allen diesen Versuchen stellte es sich heraus, dass die Spitze niemals Stärke gebildet hatte; auch nicht in der unmittelbaren Nähe der Schalenränder. Die Basis des Blattes aber hatte immer sehr viel Stärke gebildet.

Ueber die Ursache dieses sehr eigentümlichen Verhaltens der Versuchsblätter spricht Moll in seiner Abhandlung nicht. Ich stellte mir nun die Aufgabe, diese Ursache zu finden, weil es sich erwarten liess, dass eine solche Untersuchung die Einsicht in das Verhalten des Blattes zu der für das Pflanzenleben so hochwichtigen Kohlensäure fördern könnte, eine Erwartung, in der ich, wie man sehen wird, nicht getäuscht worden bin.

Selbstverständlich war es zur Ausführung meiner Absicht in erster Linie nötig, den Moll'schen Versuch zu wiederholen und dabei machte ich zufälligerweise eine Beobachtung, welche zur Lösung der gestellten Frage den Weg zeigte, wie aus der nachfolgenden Beschreibung hervorgehen wird.

Eine Wiederholung des Versuchs mit den auch von Moll benutzten Blättern von *Cucurbita Pepo* und *Polygonum Bistorta* und unter den nämlichen Versuchsbedingungen, überzeugte mich von der Richtigkeit seiner Resultate. Auch in meinen Blättern konnte keine Stärke in der Spitze im kohlenstofffreien Raum nachgewiesen werden, obwohl mir die so bequeme Sachs'sche Jodprobe, durch Schimper verbessert, zu Dienste stand. Durch diese Stärkereaktion, mittels Jodchloralhydrat, war es viel leichter, eine Uebersicht über die Verbreitung der Stärke im ganzen Blatt zu gewinnen, als durch die mikrochemische Methode, welche Moll damals nur zur Verfügung hatte, weil die makrochemische Jodprobe von Sachs noch nicht bestand.

Als ich aber denselben Versuch anstellte mit einem *Dahliablättchen*, und auch dieses in toto mittels Jodchloralhydrat untersuchte, stellte es sich heraus, dass auch in der Spitze, in dem durch Kalilauge kohlenstofffrei gehaltenen Raum, noch etwas Stärke gebildet war. Zwar nur in der unmittelbaren Nähe des Innenrandes der Kris-

tallisierschalen, aber doch deutlich in den abgeschlossenen Raum hervorspringend, und ebenso tief blauschwarz gefärbt, wie die überaus stärkereiche Basis.

Die durch das Jod schwarzgefärbten Stellen zeigten sich meistens nach der Seite der Blattspitze scharf begrenzt durch grössere Nerven. An anderen Stellen aber, wo keine grössere Nerven vorlagen, verwischte sich die Stärke allmählich; es war dort keine scharfe Begrenzung zu sehen.

Dieses Resultat, das sich wiederholt einstellte, bot Raum für zwei Möglichkeiten:

1. Der Verschluss des Raums zwischen den Kristallisierschalen war unvollkommen, so dass Kohlensäure in diesen Raum hineintreten konnte, wo dieselbe grösstenteils durch die Kalilauge absorbiert wurde, aber teils auch noch zur Stärkebildung in den am nächsten liegenden Blattteilen Anlass geben konnte.

2. Es hatte Kohlensäuretransport stattgefunden in dem Blattgewebe; in diesem Fall würde also, wenigstens für das *Dahlia*blatt, das Gegenteil gelten von dem, was Moll aus seinen Versuchen schloss, nämlich dass Kohlensäuregas, welches einem Teil eines Blattes zur Verfügung gestellt ist, nicht in einem anderen, mit demselben organisch verbundenen Teil reduziert werden kann.

Weil ich den wahren Sachverhalt kennen lernen wollte, lag es nahe, dass ich den obengenannten Versuch anstellen musste mit einem Apparat, der in Hinsicht auf Verschluss und Abwesenheit von Kohlensäure kontrolliert werden konnte, so dass darüber kein Zweifel übrig blieb.

Wenn in einem solchen Apparat das Blatt im kohlensäurefreien Raum dennoch Stärke bildet, so ist man gezwungen, auf einen Kohlensäuretransport im Blattgewebe, von anderen Stellen her, zu schliessen.

Das letztere hat sich aus meinen Untersuchungen ergeben, ohne dass jedoch, wie ich später ausführlicher aus-

einandersetzen werde, die Beobachtungen Molls als unrichtig anzusehen sind. Im Gegenteil, durch meine Untersuchung sind wir imstande, die Resultate Molls zu erklären.

Wir werden sehen, dass ein Kohlensäuretransport zwar in allen Blättern stattfinden kann, aber dass das Transportgebiet in den meisten nur sehr klein ist und zudem die Bedingungen in der Natur derart sind, dass die Pflanze von der Möglichkeit eines Kohlensäuretransports keinen Vorteil haben kann.

Dieses zu beweisen ist die erste Aufgabe meines Aufsatzes. Zweitens aber ist es selbstverständlich, dass, wo wir auf die Möglichkeit eines Kohlensäuretransports unter gewissen Bedingungen zu schliessen haben, sich unmittelbar die Frage aufdringt, wie weit dieser Transport stattfinden kann. Eine Antwort auch auf diese Frage werde ich für einige Fälle geben können.

## I. KAPITEL.

### Apparate und Untersuchungsmethode.

#### § 1. Apparate und deren Anwendung.

Wie in der Einleitung schon gesagt wurde, bedürfte ich eines Apparates, der gestatten würde die Spitze eines Blattes in einem Raum zu halten, der vollkommen gegen Kohlensäure abgeschlossen werden konnte, während die Basis des Blattes in einem kohlen särehaltendem Raum verweilte. Ausserdem war es auch wünschenswert, den Apparat derart einzurichten, dass er die Wahl von Blättern verschiedener Art nicht zu sehr beschränken würde. Man sollte auch dickere Blätter mit vorspringenden Nerven benutzen können. Denn vorspringende Nerven machen es sehr schwierig, in dem ursprünglichen Moll'schen Apparat, die zwei Kristallisierschalen schliessend aufeinander zu kleben. Auf diese Unbequemlichkeit wurde auch schon von Moll hingewiesen. <sup>1)</sup>

Schliesslich sollte der Apparat auch ein raches und bequemes Hineinführen der Versuchsblätter gestatten, so dass der Versuch sogleich nach dem Einsammeln der Blätter anfangen könnte, und dieselben also so kurz wie möglich unnatürlichen Bedingungen ausgesetzt sein würden.

Es war nun im Botanischen Laboratorium schon ein Apparat vorhanden, der in den meisten Hinsichten den obigen Anforderungen genüge, und auf Anweisung von Professor Moll angefertigt war. Dieser Apparat bestand

1) Moll. l. c. pag. 338.

aus einem runden Holzbrettchen, mit einem Durchmesser von  $17\frac{1}{4}$  cm, auf dessen obere Fläche eine kreisförmige 1 cm tiefe und  $1\frac{1}{2}$  cm weite Rinne eingedreht war. Der äussere Durchmesser dieser Rinne betrug  $14\frac{1}{4}$  cm. In diese Rinne wurde Quecksilber gegossen. Eine kleine Glasglocke von etwa  $\frac{1}{2}$  L Inhalt wurde mit dem Rand in das Quecksilber gestellt. Der Innenraum der Glocke war also durch das Quecksilber abgesperrt und musste kohlenäurefrei gemacht werden durch starke Kalilauge, die in einer kleinen Schale unter die Glocke gestellt wurde. Das Versuchsblatt wurde mit seiner Spitze unter den Rand der Glocke hindurchgeleitet an einer Stelle, wo die Rinne etwas vertieft und oben erweitert war. Die Spitze des Blattes befand sich also im abgeschlossenen Raum unter der Glocke; der Stiel wurde in Wasser getaucht. Der mittlere Teil des Blattes befand sich unter dem Quecksilber.

Um zu untersuchen, ob der Raum unter der Glocke kohlenäurefrei war, wurde neben der Schale mit Kalilauge noch eine Schale mit Barytwasser gestellt. Anwesenheit von Kohlensäure zeigte sich dann sofort durch Trübung des Barytwassers.

Diesem Apparat hafteten aber verschiedene Fehler an. Die mit Kalilauge und Barytwasser gefüllten Schalen unter der Glocke waren sehr hinderlich, wenn der Versuch mit grösseren Blättern aufgestellt werden sollte. Auch krümmte sich das Holzbrettchen leicht, wenn es benetzt wurde. Zudem war es ziemlich schwierig, beim Anfang des Versuches, wenn die Glasglocke in das Quecksilber gestellt wurde, so viel Luft entweichen zu lassen, dass die Glocke auf den Boden der Rinne zu ruhen kam. Ich erreichte dieses dadurch dass ich eine umgebogene, dünne Glasröhre unter dem Rand der Glocke in der Quecksilberrinne hielt, wenn die Glocke aufgesetzt wurde. Die überflüssige Luft

entwich durch die Röhre. Nachher musste dann diese Röhre wieder entfernt werden.

Das Barytwasser, dass zur Kontrolle der Abwesenheit von Kohlensäure diente, musste bei Benutzung dieses Apparates vorher an der freien Luft in einer offenen Schale unter die Glocke gestellt werden; dadurch trübte die Lösung sich immer schon, bevor die Glocke aufgesetzt worden war. Eine sichere Kontrolle war also in dieser Weise nicht möglich.

Alle diese Schwierigkeiten habe ich vermieden, durch Herstellung eines neuen Apparates, ganz aus Glas angefertigt. Ich werde denselben im Folgenden *Apparat ohne Lüftung* nennen und hier mit Hilfe der untenstehenden schematischen *Figur 1*, welche den Apparat im vertikalen Durchschnitt darstellt, beschreiben.

In einer grossen Petrischale, *a*, deren Durchmesser 15½ cm war, wurde eine kleinere, *b*, mit einem Durchmesser von 9 cm, mittels eines Gemisches von Harz und Wachs festgeklebt, nicht gerade in der Mitte der grossen Schale,

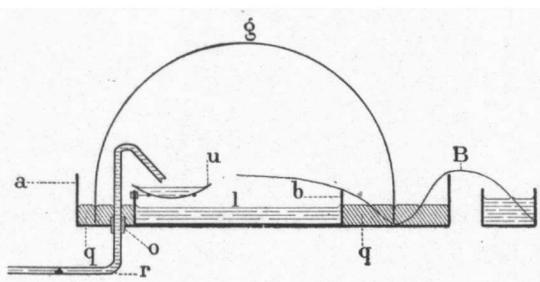


Fig. 1.  
Apparat ohne Lüftung.  
Erklärung im Text.

sondern etwas exzentrisch. Die kleine Schale war für die Kalilauge *l* bestimmt. Der Raum ringsum der kleinen Schale diente für die Aufnahme des Quecksilbers *q*, welches

eine passende Glasglocke *g*, mit einem Inhalt von  $\frac{1}{2}$  L, unten abspernte. Unmittelbar ausserhalb der kleinen Schale, bei *o*, war der Boden der grossen Schale durchbohrt, um eine zweimal umgebogene Glasröhre *r* durchzulassen, die mittels eines durchbohrten Korkes in dieser Oeffnung des Bodens befestigt wurde. Diese Röhre endete über einem Uhrglas *u* in dem kohlenstofffreien Raum und diente dazu, aus einem Reservoir Barytwasser in das schon genannte Uhrglas zu leiten, während der Innenraum der Glasglocke geschlossen blieb. Wenn beim Anfang eines Versuches die Glasglocke aufgesetzt wurde, konnte die überflüssige Luft entweichen durch eine dünne U-förmige Glasröhre, welche unter den Glockenrand geführt und nachher leicht entfernt wurde. Die Röhre *r* blieb immer mit dem Barytwasserreservoir verbunden.

Das Versuchsblatt *B* wurde, wie in der *Fig. 1* zu sehen ist, derart in den Apparat gebracht, dass die Blattspitze in den kohlenstofffreien Raum reichte, die Basis aber ganz frei war und mit dem Stiel in einen Wasserbehälter tauchte. Der mittlere Teil des Blattes wurde durch den Glockenrand unter Quecksilber gehalten.

Ueber die kleine Schale *b* war ein eisernes Drahtnetz gelegt, um die Blattspitze gegen eine Berührung mit der Kalilauge zu schützen.

Der ganze Apparat wurde nun auf einen eisernen Dreifuss in eine grosse, flache, Porzellanschale mit Wasser gestellt und unter eine Glasglocke von gut 38 L Inhalt, welche auf 3 Duritscheibchen ruhte. Das Wasser der Porzellanschale sperrte die grosse Glocke unten ab.

Es wurde nun untersucht, ob die kleine Glocke kohlenstofffrei war, wenn die kleine Petrischale Kalilauge enthielt. Der Apparat wurde fertiggestellt, aber noch kein Barytwasser zugeführt. Nach 40 Minuten wurde Barytwasser in das Uhrglas getropft, und unter die grosse

Glocke Kohlensäure geführt zu einem Betrag von 5 %. Siebzehn Stunden später war das Barytwasser noch ganz klar, so dass man sicher sein kann, dass der durch Quecksilber abgeschlossene Raum genügend kohlenstofffrei gehalten wird.

Als einen weiteren Beweis dafür darf ich noch das Folgende anführen. Ein stärkefreies Blättchen von *Dahlia Yuarezii* wurde mit seinem Stiel in ein kleines Gefäss mit ausgekochtem Wasser gestellt und ganz unter die kleine Glocke des Apparates gebracht. Das Wassergefässchen stand in der Kalilauge enthaltenden Schale. Während einer Stunde wurde der Apparat nun durch schwarzes Papier verdunkelt, um der anfänglich noch anwesenden Kohlensäure Gelegenheit zu geben absorbiert zu werden, ohne dass das Blatt dieselbe vorher reduzieren könnte. Nach Verlauf dieser Stunde wurde das Papier entfernt und das Blatt starkem diffusem Lichte ausgesetzt. Es wurde zur selben Zeit Barytwasser in das Uhrglas geleitet. Nach  $3\frac{1}{2}$  Stunden wurde der Versuch beendet. Die Temperatur war fortwährend ungefähr  $19^{\circ}$  C. geblieben. Das Blättchen sah ganz normal aus. Das Barytwasser war äusserst schwach angelauten.

Nach Untersuchung mittels der schon in der Einleitung erwähnten Jodchloralmethode stellte es sich heraus, dass keine Spur von Stärke in dem Blättchen gebildet worden war, während ein ähnliches Kontrolleblättchen an der freien Luft, auch mit dem Stiel in Wasser gestellt, ziemlich viel Stärke gebildet hatte.

Mit diesem Apparat wurden viele gelungene Versuche gemacht; dabei zeigte sich aber bald eine lästige Unvollkommenheit desselben. Wenn die Basis des Blattes in Luft mit 5 % Kohlensäure verweilen sollte, wurde das Sperrwasser der grossen Glocke zuerst aufgesogen bis zu einer vorher bestimmten Marke an dieser Glocke und dann

soviel Kohlensäure unter die Glocke geleitet, bis das Sperrwasser wieder auf das ursprüngliche Niveau zurückgekommen war (Moll. *Landw. Jahrb. VI, p. 346*). Durch das Aufsaugen des Sperrwassers aber wurde der Luftdruck in der grossen Glocke so gering, dass die kleine Glocke bisweilen aufgehoben wurde und auf diese Weise eine Kommunikation zustande kam zwischen dem kohlensäurefreien und dem kohlensäurereichen Raum. Dasselbe geschah bisweilen auch, wenn die Aussentemperatur stieg, wobei

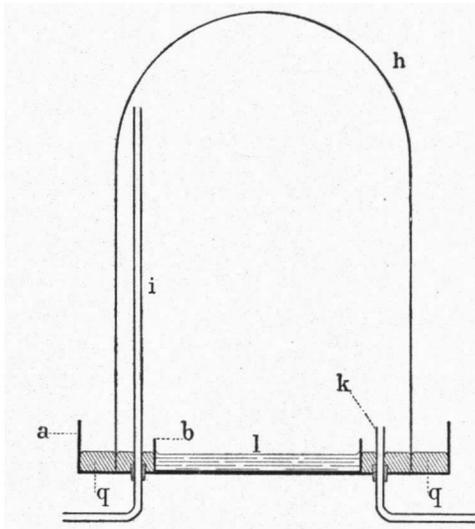


Fig. 2.  
Apparat mit Lüftung.  
Erklärung im Text.

die Temperatur in der kleinen Glocke immer höher wurde als unter der grossen.

Es wurde nun diese Schwierigkeit beseitigt durch die Herstellung eines neuen *Apparates mit Lüftung*, dessen schematische Darstellung man in *Fig. 2* sieht. Die inein-

ander gekitteten Petrischalen *a* und *b* des Apparates ohne Lüftung, zur Aufnahme des Quecksilbers *q* bezw. der Kalilauge *l*, wurden behalten. Der Boden der Schale *a* hatte aber zwei Durchbohrungen; durch jede wurde eine Glasröhre geführt und mittels eines durchbohrten Korkes in die Oeffnung befestigt. Die eine Röhre *i* war lang und reichte bis oben in die durch Quecksilber abgesperrte Glasglocke *h* von 3,2 L Inhalt. Zugleich wurde an dieser Röhre mittels eines doppelt durchlöcherten Korkes ein Thermometer befestigt. Die andere Röhre *k* aber endete sogleich über dem Quecksilber.

Das Unterende der Röhre *i* wurde durch einen Kautschukschlauch mit einer kleinen Waschflasche mit klarem Barytwasser, und diese Waschflasche mit zwei, Kaliumhydroxydstäbchen enthaltenden, Absorptionsröhren verbunden. Die Röhre *k* führte nach einem Aspirator, der durch eine Waschflasche mit konzentrierter Kalilauge vom Apparat getrennt war.

Dieser Apparat mit Lüftung befand sich auf einem kleinen hölzernen Dreifuß in der obengenannten grossen Porzellanschale, so dass er, wenn nötig, auf dieselbe Weise, wie oben beim Apparat ohne Lüftung besprochen wurde, von kohlenensäurereicher Luft umgeben werden konnte. In diesem Fall wurde die grosse Glasglocke, die auch beim letztgenannten Apparat benutzt worden war, über den Apparat mit Lüftung gestülpt. Der Aspirator, die Waschflaschen und die Absorptionsröhren blieben natürlich ausserhalb der grossen Glocke.

Wenn nun die kleine Glocke in das Quecksilber gesetzt wurde, konnte mittels des Aspirators Aussenluft durch den Apparat gesaugt werden. Die eintretende Luft wurde dabei zuerst von Kohlensäure befreit durch die Kaliumhydroxyd haltenden Röhren und musste nachher die Waschflasche mit klarem Barytwasser passieren; hierdurch

wurde also kontrolliert, ob die in die kleine Glocke eintretende Luft wirklich kohlenstofffrei war.

Es wurde nun bei diesem Apparat untersucht, ob die Absorptionseinrichtung genügt um die durchgesaugte Luft von Kohlensäure zu befreien. Dazu wurde der Apparat wie zu einem Assimilationsversuch fertiggestellt, aber ohne die grosse Glocke. Während  $3\frac{1}{4}$  Stunden wurde nun durch den Aspirator 5 L Luft durchgesaugt: das Barytwasser in der Waschflasche blieb dabei ganz klar. Sicherheitshalber wurde nun noch eine Absorptionsröhre mit KOH-stäbchen an die zwei anderen hinzugefügt und sodann noch während gut zwei Stunden  $2\frac{3}{4}$  L Luft durchgesaugt. Auch jetzt war das Barytwasser noch völlig klar, während sich in einer Probierröhre mit Barytwasser, zur Kontrolle an der freien Luft gestellt, in derselben Zeit reichlich Baryumcarbonat gebildet hatte.

*Figur 1, Tafel V* gibt eine Photographie des Apparates mit Lüftung; die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung, wie in der *Textfigur 2*. An der Abfuhröhre sieht man ein Thermometer befestigt. Ein *Salix*-blatt befindet sich mit seinem mittleren Teil unter dem Quecksilber. Der Apparat steht auf dem hölzernen Dreifuss *f*.

Die Einführung eines Versuchsblattes in den Apparat geschah in der folgenden Weise. Die kleine Glasglocke wurde entfernt, nachdem zuvor die Verbindung des Apparates mit der Kaliwaschflasche gelöst war; es war dies notwendig, weil sonst beim Aufheben der Glocke Kalilauge aus der Waschflasche zurückgesaugt wäre, oder andernfalls zu schnell Luft durch die Absorptionsapparate strömte, so dass dann das Barytwasser getrübt wäre. Das Blatt wurde nun mit seinem mittleren Teil auf das Quecksilber gelegt, die Spitze auf das Drahtnetz der KOH-schale. Dann wurde die kleine Glasglocke aufgesetzt, wobei die überflüssige Luft durch die offene Abfuhröhre entwich. Durch

das Gewicht der Glocke wurde der mittlere Teil des Blattes unter das Quecksilber gedrückt, bis auf den Boden der grossen Schale. Nachher wurde der Apparat wieder mit der Waschflasche des Aspirators verbunden und also der Raum, in dem die Blattspitze verweilte, gegen den Zutritt von Kohlensäure abgeschlossen.

Um die Basis des Blattes in einen kohlenstoffreicheren Raum zu bringen, wurde eine grosse Glasglocke von 38,2 L Inhalt über den Apparat gesetzt und unten durch Wasser abgesperrt. Oben habe ich schon besprochen, wie die Kohlensäure zugeführt wurde. Wenn ich nun beim Aufsaugen des Sperrwassers den Aspirator in Wirkung setzte, wurde dadurch der Luftdruck in der kleinen Glocke etwas verringert, so dass er ungefähr in Gleichgewicht kam mit dem Druck unter der grossen Glocke. Auf diese Weise war es möglich, das Wasser bis zu einer solchen Höhe ohne Gefahr aufzusaugen, dass 2,5 bis 3 % Kohlensäure zugefügt werden konnte.

Die Versuche mit dem Apparat ohne Lüftung wurden ausgeführt in einem für physiologische Versuche eingerichteten Gewächshaus an der Westseite des Botanischen Laboratoriums. Das Licht hatte hier Zutritt von oben, vom Westen und vom Norden. Direktes Sonnenlicht wurde abgehalten durch Schirme von sehr dünnem weissem Papier, welche vor dem Apparat aufgehängt wurden. Die Temperatur im Gewächshaus wurde durch ein registrierendes Thermometer aufgezeichnet.

Mit dem Apparate mit Lüftung fanden die Versuche statt auf dem Perron an der Nordseite des Laboratoriums, in der freien Luft. Das direkte Sonnenlicht hatte hier von ungefähr 1<sup>30</sup> Uhr nm ab Zutritt. Die direkten Sonnenstrahlen wurden hier abgehalten durch einen Schirm von weissem Pergamentpapier, welches mit Mohnöl bestrichen war; dadurch wurde es durchsichtiger und zugleich konnte

es den Regen. vertragen. Die Aussentemperatur wurde auch hier durch ein registrierendes Thermometer bestimmt.

Die grosse Glasglocke musste immer gut befestigt werden um zu verhindern, dass dieselbe durch den Wind umgestossen werden könnte. Zu diesem Zweck wurde oben um die Glocke ein starker Messingdraht gelegt und an zwei Stativen befestigt, welche fest verbunden waren mit dem Tisch, auf dem die ganze Einrichtung stand.

## § 2. Ueber den Einfluss des Quecksilbers auf die Blätter.

Sowohl in meinem Apparat mit Lüftung wie in jenem ohne Lüftung war nun noch eine nicht gering zu schätzende Fehlerquelle vorhanden. Es entwickelte sich nämlich in beiden Apparaten Quecksilberdampf, der seiner Giftigkeit wegen sehr störend bei den Assimilationsversuchen wirken konnte. Inwieweit mit diesem Faktor zu rechnen war, habe ich möglichst genau untersucht. Zu diesem Zweck habe ich die Assimilation in Quecksilberdampf haltender Luft verglichen mit derselben unter solchen Bedingungen, dass von einer Schädigung durch diesen Dampf keine Rede sein konnte.

In mehreren Fällen hatte ich wahrgenommen, dass die in die kleine Glocke reichende Blattspitze während des Versuchs mehr oder weniger braune Flecken bekam. Diese Flecken sind charakteristisch für die Quecksilbervergiftung. Zwar habe ich niemals in meinen Versuchen ein Unterbleiben der Stärkebildung infolge des Quecksilberdampfes beobachtet, und wird auch von Boussingault<sup>1)</sup> eingestanden, dass Blätter in Quecksilberdampf enthalten-

---

1) Boussingault. *Agronomie, Chimie agricole et Physiologie*, IV, 1868, p. 342.

der Luft assimilieren können, obwohl sie nach 2-tägigem Verweilen im Dunkeln in derselben dieses Vermögen eingebüsst haben. Sicherheitshalber habe ich aber solche Versuche, in denen die Blätter durch Quecksilberdampf verletzt worden waren, oder wo die Möglichkeit dazu vorhanden war, später kontrolliert durch Versuche, in denen kein Quecksilberdampf mit im Spiele sein konnte.

Das gewöhnliche Mittel, bei physiologischen Versuchen die Pflanzenteile gegen Quecksilberdampf zu schützen, ist eine Wasserschicht auf dem Quecksilber. Dieses einfache Mittel habe ich auch in mehreren Versuchen angewendet, aber dadurch entstand die Unannehmlichkeit, dass eben derjenige Teil der Blattspitze, in dem an erster Stelle Stärkebildung erwartet werden konnte, durch die Benetzung ganz anderen Bedingungen ausgesetzt war, als der übrige Teil.

Ich war deshalb gezwungen eine andere Methode zu suchen und meinte anfangs, eine solche gefunden zu haben in den Angaben Boussingaults in seiner Agromomie <sup>1)</sup>, wo er mitteilt, dass Pflanzen, die sich in einem geschlossenen Raum befanden, in dem auch eine Schale mit Quecksilber gestellt war, nicht von Quecksilberdampf angegriffen wurden, wenn man nur zugleich in den Raum auch Schwefelblumen an die Wand klebte. In seinen Versuchen wurde eine Pflanze unter eine Glasglocke von 10 L Inhalt gestellt. Unter dieser Glocke befand sich auch Quecksilber, dessen Oberfläche 40 qcm betrug. Die Innenwand der Glocke war über eine Oberfläche von 100 qcm mit Schwefelblumen beklebt. Eine Menthapflanze war in dieser Glocke nach 12 Tagen noch ganz unverletzt, während in einem Kontrolleversuch, wo kein Schwefel im Apparat war, die Blätter schon nach 52 Stunden ganz verdorben waren. Gleiche Resultate erhielt Boussin-

1) Boussingault. l. c. p. 347, 348.

gault mit Pfirsichzweigen und Flachspflanzen. Die Gegenwart von Schwefel neutralisierte die verderbliche Wirkung des Quecksilbers. Auch eine Menthapflanze, welche in feuchtem Zustande mit Schwefelblumen bestreut und dann unter eine Glasglocke gestellt wurde, unter der sich auch Quecksilber befand, zeigte nach 15 Tagen noch keine Beschädigung.

Die Erklärung dieser Erscheinung wird von Boussingault gesucht in der Bildung von Quecksilbersulfide, so dass kein freier Quecksilberdampf übrig bliebe, der die Pflanze beschädigen könnte <sup>1)</sup>.

Diese Schwefelmethode schien mir zuerst sehr bequem, und in meinen Apparaten gut anwendbar. Als ich aber die Untersuchungen Boussingaults nachprüfte, konnte ich keine so günstige Resultate bekommen. Von meinen Versuchen werde ich einige mitteilen.

1. Zuerst habe ich einen Versuch angestellt mit abgeschnittenen Blättern von *Aster macrophyllus*, *Polygonum Bistorta*, *Sambucus nigra* und *Aesculus Pavia*.

Die Blätter dieser vier Pflanzen wurden zusammen, alle mit dem Stiel in einer kleinen Flasche mit Wasser, in eine weitere Flasche von 3½ L Inhalt gestellt. Auf dem Boden dieser Flasche stand eine Schale mit Quecksilber; die Oberfläche des Metalls mass ungefähr 30 qcm. Neben der Quecksilberschale stand eine Schale mit Schwefelblumen. Die Schwefeloberfläche war ungefähr 100 qcm.

Neben der Versuchsflasche stand eine zweite, die Kontrollflasche, mit gleichem Inhalt, allein ohne Schwefel.

Beide Flaschen waren mit dem Stöpsel geschlossen und standen im Zimmer in schwachem Lichte.

Nach einem Tage zeigten alle Blätter starke Quecksilberbeschädigung in der Form von brauner Verfärbung;

<sup>1)</sup> Boussingault. l. c. p. 355.

die Blätter in der Versuchsflasche mit Schwefel waren nur etwas weniger angegriffen, als dieselben in der Kontrollflasche.

Blätter derselben Pflanzen, in einer Flasche, in der ein Behälter mit, von einer Wasserschicht bedecktem Quecksilber stand, waren nach 9 Tagen noch völlig normal.

2. Versuch mit Blättern von *Aster macrophyllus* (diese Pflanze hatte sich als sehr empfindlich gegen Quecksilberdampf gezeigt).

a. Ein Blatt in einer Flasche von  $3\frac{1}{2}$  L Inhalt. Auf dem Boden der Flasche Quecksilber mit einer Oberfläche von 40 qcm. In der Flasche stand eine Glasplatte von 150 qcm, an der einen Seite mit frisch gefälltem Schwefel bestrichen.

β. Ein Blatt in einer auf gleiche Weise beschickten Flasche. Statt des gefällten Schwefels aber gewöhnliche Schwefelblumen (sublimiert) auf der Glasplatte.

γ. Ein Blatt in einer Flasche, in der sich von Wasser bedecktes Quecksilber befand. Kein Schwefel.

In jeder Flasche stand das Blatt mit dem Stiel in einem Wasserbehälter. Die Flaschen waren geschlossen und standen im Zimmer in schwachem Lichte.

Nach einem Tage war schon an den Blättern α und β Quecksilberbeschädigung sichtbar, während Blatt γ normal blieb.

Nach 5 Tagen war Blatt α teilweise braun, Blatt β aber ganz schwarzbraun. Blatt γ war noch völlig normal.

Pflanzen von *Linum usitatissimum*, denselben Bedingungen ausgesetzt, wie die eben genannten *Aster*-blätter, waren schon nach 2 Tagen vom Quecksilberdampf angegriffen, obwohl sie in den Boussingaultschen Versuchen in Gegenwart von Schwefel ganz unversehrt geblieben waren.

3. Versuche mit Blättern von *Aster macrophyllus* und *Dahlia Yuarezii*, auf gleiche Weise wie der vorige Versuch. Die Quecksilberoberflächen in den Flaschen waren hier

ungefähr 20 qcm. Die Schwefeloberfläche in der einen Flasche war aber sehr gross gemacht. In einer erwärmten 10% Gelatinelösung wurde Schwefelmilch aufgerührt, so dass eine homogene Emulsion entstand. Hiermit wurden Papierstreifen von 700 qcm Oberfläche getränkt und dieselben dann zum Trocknen aufgehängt. Als ich diese getrockneten Papierstreifen in die Flasche stellte, waren dort also grosse mit fein verteiltem Schwefel bedeckte Oberflächen vorhanden.

*a.* In der ersten Flasche, neben den beiden Versuchsblättern, eine Schale mit Quecksilber und 3 Papierstreifen mit Schwefel.

*β.* In der zweiten Flasche, neben den Versuchsblättern, nur eine Schale mit Quecksilber. Kein Schwefel.

*γ.* In der dritten Flasche nur die Versuchsblätter. Kein Quecksilber oder Schwefel.

Die Flaschen waren geschlossen und standen im Zimmer in schwachem Licht.

Schon nach einem Tagen waren die Blätter *a* und *β* von Quecksilberdampf angegriffen und braunfleckig. Die Blätter *β* aber viel stärker beschädigt als *a*. In der Flasche *γ* waren die Blätter aber ganz normal.

4. In einer geschlossenen Flasche, mit Quecksilber auf dem Boden, befand sich ein Blatt von *Aster macrophyllus*, mit dem Stiel in einem kleinen Wasserbehälter. Das Blatt war in feuchtem Zustand beiderseits mit Schwefelblumen bestreut. Der Schwefel blieb gut an der Blattoberfläche haften.

Zur Kontrolle eine Zweite Flasche, auch mit Quecksilber auf den Boden, in der sich ein *Aster*blatt ohne Schwefel befand. Schon nach 16 Stunden waren in beiden Flaschen die Blätter braunfleckig, ohne merkbaren Unterschied.

Aus diesen vier Versuchen sehen wir zwar, dass der Schwefel einen gewissen Schutz gegen Quecksilberdampf geben kann, aber die schützende Wirkung ist sehr unvollkommen. Und wenn auch der Schwefel bessere Resultate gegeben hätte, so wäre doch noch den unter Quecksilber getauchten Blattteilen in meinen Versuchen nicht geholfen gewesen sein; denn, wie wir weiter unten sehen werden, ist auch der blosse Kontakt mit dem Quecksilber schon schädlich für das Blatt.

Ganz sicher aber wird selbst ein sehr empfindliches Blatt gegen Quecksilberdampf geschützt, wenn man es bestreicht mit einer dünnen Schicht eines Gemenges von einem Teil gebleichten Bienenwachs mit drei Teilen Cacaobutter, welches von Stahl<sup>1)</sup> benutzt wurde um die Stomata zu schliessen, und von ihm *Cacaowachs* genannt ist.

Von einem Blatt von *Aster macrophyllus* habe ich die eine Längshälfte beiderseits mit Cacaowachs bestrichen; es wurde im geschmolzenen Zustande mit einem Pinsel über das Blatt gestrichen und dann, um eine vollkommen abschliessende Schicht zu erhalten, mit den Fingern sanft eingerieben. Das Blatt wurde nun, mit dem Stiel in einer kleinen Wasserflasche, in eine grosse Flasche gestellt, in der sich auch eine Schale mit Quecksilber befand. Dann wurde die Flasche geschlossen und in schwachem Licht im Zimmer stehen gelassen.

Nach 24 Stunden war die unbestrichene Blatthälfte schon ganz braun, während die mit Cacaowachs bestrichene Hälfte dagegen noch ganz normal war; nach weiteren 24 Stunden war diese letztere Hälfte noch ganz unverletzt.

In Cacaowachs haben wir also ein Mittel, das sich

1) Stahl. Einige Versuche über Transpiration und Assimilation, Bot. Zeitung, 52, 1894, p. 129.

sehr bequem anwenden lässt, wenn es gilt ein Blatt, das trocken gehalten werden muss, gegen die schädigende Wirkung des Quecksilberdampfes zu schützen.

Wie oben schon erwähnt ist, wirkt nicht nur der Dampf des Quecksilbers, sondern auch die direkte Berührung des Metalls schädlich auf das Blatt ein. Ich hatte einige Male bei einem *Sambucus*blättchen beobachtet, dass auch der in Quecksilber getauchte mittlere Teil während des Versuchs braune Flecken bekommen hatte. Selbst wenn nach einem Versuch keine Flecken in diesem Teil zu sehen waren, konnte ich nicht sicher sein, dass das Blattgewebe doch nicht schon gelitten hatte. Das stellte sich auch heraus, bei einem Blatt von *Aster macrophyllus* und einem Blättchen von *Aesculus Pavia*.

Nachdem diese Blätter während eines Versuchs mit ihrem mittleren Teil unter Quecksilber getaucht gewesen waren, zeigten sie sich scheinbar ganz normal und unverletzt. Nun wurden sie gut im Wasser abgespült, so dass kein Quecksilber an der Oberfläche haften blieb, und dann mit dem Stiel in Wasser gestellt. Nach ungefähr zwei Stunden waren die mittleren Teile braunfleckig geworden. Das Quecksilber hatte also doch schon seine Wirkung getan. Auch hier war Bestreichen mit Cacaowachs ein gutes Mittel, wie der nachfolgende Versuch zeigt.

Der mittlere Teil eines Blättchens von *Sambucus nigra* wurde beiderseits mit Cacaowachs bestrichen und nachher während 47 Stunden unter Quecksilber getaucht. Basis und Spitze ragten aus dem Quecksilber hervor. Nach diesen 47 Stunden wurde das Blättchen aus dem Quecksilber genommen, vom Cacaowachs gereinigt <sup>1)</sup> und mit dem Stiel

1) Das Cacaowachs wurde entfernt durch Biegung der Blattscheibe in kaltem Wasser; es löst sich dann leicht in grossen Stücken von der Blattoberfläche ab. Vergl. STAHL, l. c. p. 129.

in Wasser gestellt. Das Blättchen war noch ganz normal. Selbst 3 Tage später war es noch völlig frisch und zeigte keine Spur des Einflusses des Quecksilbers.

In den meisten Fällen wurde in dem Apparat mit Lüftung die Verdampfung des Quecksilbers verhindert durch eine auf das Quecksilber gegossene Wasserschicht. Das Versuchsblatt verweilte unter diesen Bedingungen, soweit es aus dem Quecksilber hervorragte, in einer quecksilberdampffreien Atmosphäre, während es, wo es mit dem Metall in Berührung war, durch eine Cacaowachsschicht geschützt wurde.

### § 3. Behandlung der Versuchsblätter.

Die Versuchsblätter mussten natürlich stärkefrei in den Apparat gebracht werden. Es wurde die Stärke immer aus den Blättern entfernt, bevor dieselben von der Pflanze abgetrennt wurden. Gut ausgewachsene, gesunde, unverletzte Blätter wurden für die Versuche ausgewählt; wo es sich um eine Vergleichung zweier Blätter handelte, wurde dafür gesorgt, dass dieselben gleichaltrig und auch sonst möglichst gleich waren. Die ausgewählten Blätter wurden ann in schwarzen Papiersäckchen eingehüllt, welche mittels Stecknadeln geschlossen und um den Blattstiel oder um den Zweig befestigt wurden. Gewöhnlich waren nach ein- bis zweitägigem Verweilen in diesen dunklen Säckchen die Blätter stärkefrei; bisweilen aber waren mehrere Tage nötig um die Stärke zum Verschwinden zu bringen.

Vor jeden Versuch wurde stets ein Längsstreifen vom Versuchsblatt abgetrennt, um zu untersuchen, ob alle Stärke verschwunden war. Dieser Streifen wurde auf gleiche Weise behandelt wie der übrige Blattteil nach den Versuch.

Nach dem Versuch wurde das Versuchsblatt 2 bis 5 Minuten in siedendes Wasser gelegt und gleich nachher

in siedendem konzentriertem Alkohol anfärbt. Es wurde dieser Alkohol meist angesäuert <sup>1)</sup> durch etwa 10 Tropfen konzentrierte Salzsäure pro Liter, wodurch ein sehr rasches vollkommenes Entfärben zustande kam, selbst bei Blättern mit gut entwickelter Cuticula. Wird der Alkohol nicht angesäuert, so entfärben sich viele Blätter nicht vollständig, sondern nehmen eine bräunliche Farbe an.

Sobald das Blatt weiss geworden war, wurde der Alkohol abgegossen und durch kaltes Wasser ersetzt. Das durch den Alkohol sehr spröde gewordene Blatt wurde dadurch schnell aufgeweicht und konnte also ohne Gefahr weiter behandelt werden.

Um die Stärke nachzuweisen, wurde nun das Blatt, nach der Schimperschen <sup>2)</sup> Methode, in eine Jodchloralhydratlösung gelegt, welche hergestellt war durch Sättigung mit Jod einer Lösung von 5 Teilen Chloralhydrat in 3 Teilen Wasser. Mit dieser Konzentration der Chloralhydratlösung, die sich, zwar nur wenig, von der Schimperschen Lösung (8 Chloralhydrat, 5 Wasser) unterscheidet, bekam ich die besten Resultate. Wenn Stärke im Blatt vorhanden war, zeigte sie sich sehr bald und zudem wurde das Blatt so durchsichtig, dass es auch in toto unter dem Mikroskop, selbst bei stärkerer Vergrößerung untersucht werden konnte.

---

1) De Vries. Maandbl. v. Natuurwetensch., 13e Jrg. 1896, p. 4.

2) Schimper. Bot. Zeitung, 1885, Bd. 43, p. 739.

## II. KAPITEL.

### **Stärkebildung in einem Blattteil, dem keine Kohlensäure von aussen her zur Verfügung steht.**

Mit den im Kapitel I beschriebenen Apparaten mit und ohne Lüftung war ich nun imstande, den in der Einleitung besprochenen Versuch Molls, zu wiederholen, indem sich die Blattspitze in einem Raum mit Kalilauge, die Basis aber in einer kohlenensäurehaltigen Atmosphäre befand. In diesen Apparaten ist, wie ich oben gezeigt habe der Zweifel ausgeschlossen, dass der mit Kalilauge beschickte Raum vielleicht noch freie Kohlensäure enthalten könnte.

An erster Stelle werde ich einige Versuche mitteilen die einestheils mit dem Apparate ohne Lüftung, andertheils mit dem Apparate mit Lüftung angestellt worden sind, und wo die Basis des Blattes sich in einer kohlenensäurereichen Atmosphäre, oder auch wohl in gewöhnlicher Luft befand. Der mittlere Teil befand sich in diesen Versuchen unter trockenem Quecksilber. Die Spitze in dem kohlenensäurefreien Raum befand sich also in einer mit Quecksilberdampf gesättigten Atmosphäre.

Es folgen weitere Versuche mit dem Apparate mit Lüftung, in welchen Wasser auf das Quecksilber gegossen war, und die Einwirkung des Quecksilberdampfes auszuschalten. Uebrigens war die Versuchsanstellung dieselbe wie in den vorhergehenden. Die Basis des Blattes befand sich in einer Atmosphäre mit  $2\frac{1}{2}\%$  Kohlensäure.

Um nun auch noch den Einfluss des Quecksilberkon-

taktes auszuschalten, habe ich gleiche Versuche angestellt wie die letztgenannten, nur insofern abgeändert, dass der mittlere Teil des Blattes, der sonst mit dem Quecksilber in Berührung war, nun mit Cacaowachs bestrichen und eingerieben wurde.

Eine Vergleichung dieser Versuchsserien lehrt, dass die Quecksilberbeschädigung durch direkte Berührung mit dem Metall während der Versuchszeit keineswegs gross sein kann. Zudem lässt sich das auch ableiten aus einem Versuch, eigens zu diesem Zweck angestellt, in dem die eine Längshälfte des mittleren Blattteils mit Cacaowachs eingerieben war, die andere Hälfte aber direkt durch das Quecksilber berührt wurde. (Vergl. Versuch XIV.)

### § 1.

Versuche mit den Apparaten mit und ohne Lüftung, in denen das Quecksilber trocken war.

#### VERSUCH I.

##### *Dahlia Yuarezii* Hort.

29 September 1905. Apparat ohne Lüftung; im Gewächshaus.

Versuchsdauer von 10<sup>31</sup> Uhr vm bis 3 Uhr nm.

Temperatur im Gewächshaus zwischen 18° und 23° C.

Es wurde ein stärkefreies Blättchen in den Apparat gebracht. Die Spitze im kohlenstofffreien Raum; die Basis in der freien Luft; der Blattstiel in Wasser. Während der ersten Stunde wurde die kleine Glocke durch schwarzes Papier verdunkelt, so dass die noch in der Glocke vorhandene Kohlensäure nicht von der Blattspitze reduziert, aber durch die Kalilauge absorbiert werden konnte.

Nach dieser Stunde wurde das schwarze Papier entfernt,

und die Blattbasis von 5% Kohlensäure enthaltender Luft umgeben. Es wurde Barytwasser in das Uhrglas in der kleinen Glocke getropft.

Am Ende des Versuchs war das Barytwasser sehr schwach angelaufen. Das Blatt, das nichts Besonderes zeigte, wurde nun der Stärkereaktion unterworfen in der Weise, wie im Kapitel I besprochen worden ist.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, Stärke gebildet, in einem etwa 3 mm breiten Streifchen; an dem Quecksilber geradlinig begrenzt; an der vom Quecksilber abgekehrten Seite durch grössere Nerven begrenzt und dadurch gesägt aussehend. Weiter in der Spitze gar keine Stärke gebildet; in der Basis, in der 5% Kohlensäure enthaltenden Luft aber sehr viel Stärke.

## VERSUCH II.

### *Dahlia Yuarezii* Hort.

5 Oktober 1905. Apparat ohne Lüftung; im Gewächshaus. Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 3 Uhr mm.

Temperatur im Gewächshaus zwischen 15° und 18° C.

Es wurde ein stärkefreies Blättchen in den Apparat gebracht. Die Spitze im kohlenstofffreien Raum; die Basis in der Luft; der Blattstiel im Wasser. Während der ersten Stunde wurde die kleine Glocke verdunkelt wie im Versuch I. Dann wurde das schwarze Papier entfernt. Die grosse Glocke wurde weggelassen, so dass die Blattbasis in gewöhnlicher Luft blieb. Es wurde Barytwasser in das Uhrglas getropft. Am Ende des Versuchs war das Barytwasser sehr schwach angelaufen. Blatt ganz frisch; es wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, Stärke gebildet, in einem 2 bis 3 mm breiten Streifchen.

*Begrenzung* dieses Streifchens wie in Versuch I. Weiter in der Spitze gar keine Stärke. In der Basis ziemlich viel Stärke gebildet.

### VERSUCH III.

*Dahlia Yuarezii* Hort.

21 September 1906. Apparat ohne Lüftung; im Gewächshaus.

Versuchsdauer von 3 Uhr nm bis 5 Uhr nm.

Temperatur in der grossen Glasglocke fortwährend ungefähr 26° C.

Es wurde ein stärkefreies Blättchen in den Apparat gebracht, wie in den vorigen Versuchen. Die Basis sogleich von 5 % Kohlensäure enthaltender Luft umgeben, und der ganze Apparat, ohne vorherige Verdunkelung, sogleich beleuchtet.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch ganz frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein Stärkestreifchen, wie in den Versuchen I und II. Weiter in der Spitze keine Stärke. In der Basis ziemlich viel Stärke gebildet, gleichmässig verbreitet.

### VERSUCH IV.

*Dahlia Yuarezii* Hort.

22 September 1906. Apparat ohne Lüftung; im Gewächshaus.

Versuchsdauer von 10<sup>45</sup> Uhr vm bis 3<sup>45</sup> Uhr nm.

Temperatur in der grossen Glocke zwischen 18½° und 29° C.

Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet, bei derselben Versuchseinrichtung wie im Versuch III.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Dasselbe wie im Versuch III, nur mehr Stärke gebildet; das heisst, die stärkehaltende Basis und das Stärkestreifchen in der Spitze des Blattes waren viel dunkler gefärbt durch das Jod. Das Stärkestreifchen in der Spitze aber *nicht breiter*.

#### VERSUCH V.

##### *Aster macrophyllus* L.

23 Mai 1908. Apparat mit Lüftung; auf dem Perron.

Versuchsdauer von 12<sup>15</sup> Uhr nm bis 4<sup>40</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 14° und 20° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 18° und 24<sup>5</sup> C.

Es wurde ein stärkefreies Blatt verwendet. Spitze im kohlendensäurefreien Raum; der mittlere Teil unter Quecksilber; die Basis in der freien Luft; der Blattstiel im Wasser. Die grosse Glocke wurde nicht benutzt.

Am Ende des Versuchs war 4 $\frac{1}{4}$  L Luft durch den Apparat gesaugt. Das Blatt war normal; nur war der mittlere Teil, so weit er unter dem Quecksilber gewesen war, dunkler grün als die beleuchteten Teile, offenbar weil die Chlorophyllkörner im Dunkeln eine andere Stellung eingenommen hatten, als im Licht. Das Blatt wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber ein *Stärkerändchen* gebildet, *nur  $\frac{1}{4}$  mm breit*, nach der Blattspitze zu *durch kleine Nerven begrenzt*. Weiter in der Spitze keine Stärke. In der Basis viel Stärke gebildet.

#### VERSUCH VI.

##### *Sisymbrium Alliaria* Scop.

25 Mai 1908. Apparat mit Lüftung; auf dem Perron.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 3 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 14° und 19° C.  
 Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 18° und 23° C.

Ein stärkefreies Blatt in den Apparat gebracht, mit der Spitze im kohlenstofffreien Raum. Die Basis in der freien Luft. Keine grosse Glocke.

Am Ende des Versuchs war die Spitze welk geworden. Der mittlere Teil war dunkelgrün, die beleuchtete Basis heller grün, offenbar durch verschiedene Stellung der Chlorophyllkörner. Das Blatt wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, *Stärkerändchen von 1 mm Breite* gebildet, nach der Blattspitze zu *durch Nerven begrenzt*. Weiter in der Spitze gar keine Stärke. In der Basis viel Stärke gebildet.

#### VERSUCH VII.

##### *Polygonum Bistorta* L.

26 Mai 1908. Apparat mit Lüftung; auf dem Perron.  
 Versuchsdauer von 11<sup>45</sup> Uhr vm bis 3 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 18° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 21° und 23° C.

Ein stärkefreies Blatt in den Apparat gebracht. Spitze im kohlenstofffreien Raum. Basis in der freien Luft.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch ganz frisch. Es war 4½ L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blatt wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *Stärkerändchen* gebildet, *bis 3 mm breit*, aber mit ziemlich wenig Stärke. Weiter in der Spitze nichts. In der Basis war viel Stärke gebildet.

## VERSUCH VIII.

*Aesculus Hippocastanum* L.

27 Mai 1908. Apparat mit Lüftung; auf dem Perron.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 2<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 15° und 22° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 17° und 27° C.

Ein stärkefreies Blättchen in den Apparat gebracht, wie im vorigen Versuch. Die basis in der freien Luft.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch ganz frisch. Es war 4 L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blättchen wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *nur ¼ mm breites Stärkerändchen* gebildet; nach der Blattspitze zu durch kleine Nervchen begrenzt und daher gesägt. Das Rändchen schwarz gefärbt durch das Jod. Weiter in der Spitze nichts. In der Basis viel Stärke gebildet.

## § 2.

Versuche mit dem Apparat mit Lüftung auf dem Perron. Auf dem Quecksilber befand sich eine Wasserschicht.

## VERSUCH IX.

*Aesculus Pavia* L.

1 Juni 1908. Versuchsdauer von 2<sup>30</sup> Uhr nm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 22° und 26° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 25° und 30° C.

Ein stärkefreies Blättchen in den Apparat gebracht. Die Spitze im kohlenstofffreien Raum; der mittlere Teil unter Quecksilber; die Basis in der freien Luft. Es wurde keine grosse Glocke benutzt.

Am Ende des Versuchs war 3 L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blättchen war noch ganz frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein sehr deutliches, aber *nur  $\frac{1}{4}$  mm breites Stärkerändchen* gebildet. Nach der Blattspitze zu war das Rändchen durch kleine Nervchen begrenzt und daher gesägt. Stärkerändchen dunkel schwarz gefärbt. Weiter in der Spitze nichts.

In der Basis viel Stärke, die aber plötzlich aufhörte, wo das Blatt in die Wasserschicht auf dem Quecksilber tauchte und hier begrenzt wurde durch die kleinen Nervchen. Uebrigens unter dieser Wasserschicht keine Stärke gebildet, ausgenommen ein ebensolches Stärkerändchen wie in der Spitze, das hier auch unmittelbar an dem Quecksilber entstanden war und durch die kleinen Nervchen nach der Basis zu gesägt begrenzt wurde.

*Figur 4, Tafel V* gibt eine Photographie dieses Blattes nach der Stärkereaktion. Von *a* bis *b* ist das Blatt unter Quecksilber getaucht gewesen; bei diesen Buchstaben sieht man die Stärkerändchen, welche an der Oberfläche des Quecksilbers entstanden sind. Die Blattzone von *b* bis *c* war bei dem Versuch unter dem Wasser getaucht, welches sich auf dem Quecksilber befand, und ist stärkefrei geblieben; der übrige Teil der Blattbasis enthält viel Stärke.

#### VERSUCH X.

##### *Sisymbrium Alliaria* Scop.

1 Juni 1908. Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 2<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 20° und 26° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 26° und 32° C.

Ein stärkefreies Blatt mit der Spitze im kohlenstoffsaurefreien Raum. Die Basis in der freien Luft; wie im Versuch IX.

Am Ende des Versuchs war  $\frac{3}{4}$  L kohlenstoffsaure Luft

durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blatt war noch frisch, nur waren die beleuchteten Partien heller grün als der mittlere Teil, der unter dem Quecksilber gewesen war, wie im Versuch VI; es wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein  $1\frac{1}{4}$  mm breites Stärkerändchen, nach der Blattspitze zu durch Nerven begrenzt. Weiter in der Spitze nichts.

In der Basis viel Stärke, die im Wasser über dem Quecksilber gleich aufhörte, durch grössere Nerven begrenzt. Am Quecksilber in der Basis ein gleiches Stärkerändchen, wie in der Spitze, aber hier nach der Blattbasis zu durch Nerven begrenzt; alles in derselben Weise, wie im vorigen Versuch.

#### VERSUCH XI.

##### *Acer campestre* L.

2 Juni 1908. Versuchsdauer von 2<sup>15</sup> Uhr nm bis 5 Uhr nm. Temperatur der Umgebung zwischen 26° und 28° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 32° und 34° C.

Ein stärkefreies Blatt im Apparat wie im vorigen Versuch.

Die Basis auch hier in der freien Luft.

Am Ende des Versuchs war 2 L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke durchgesaugt. Das Blatt war frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein nur  $\frac{1}{4}$  mm breites, aber schwarzes Stärkerändchen; nach der Blattspitze zu durch die kleinen Nervchen begrenzt. Weiter in der Spitze nichts.

In der Basis nicht sehr viel Stärke, die im Wasser über dem Quecksilber gleich aufhörte und durch die Nervchen begrenzt wurde. Am Quecksilber in der Basis ein gleiches Stärkerändchen wie in der Spitze; aber hier nach der Blattbasis zu begrenzt durch kleine Nervchen; alles in derselben Weise wie im Versuch IX.

## VERSUCH XII.

*Sambucus nigra* L.

10 Juni 1908. Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 3<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 18° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 21° und 23° C.

Ein stärkefreies Blättchen mit der Spitze im kohlen-säurefreien Raum. Die Basis während der ersten 2 Stunden in Luft mit 2½ % Kohlensäure; um 12 Uhr wurde nochmals Kohlensäure unter die grosse Glocke gebracht zu einem Betrage von ⅓ des Inhaltes dieser Glocke.

Am Ende des Versuchs war gut 5 L kohlen-säurefreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blatt war noch ganz frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein schwarzes, bis 2 mm breites Stärkerändchen, nach der Blattspitze zu durch Nerven begrenzt. Weiter in der Spitze nichts. In der Basis ausserordentlich viel Stärke; auch unter dem Wasser über dem Quecksilber. Nur nahe am Blattrand weniger Stärke unter dem Wasser.

## VERSUCH XIII.

*Sambucus nigra* L.

16 Juni 1908. Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 3<sup>20</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 21° und 25° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 27° und 32° C.

Ein stärkefreies Blättchen mit der Spitze im kohlen-säurefreien Raum; die Basis in Luft mit 2½ % Kohlensäure.

Am Ende des Versuchs war 4½ L kohlen-säurefreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blatt war frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein

bis 3 mm breiter, schwarzer Stärkerand; nach der Blattspitze zu durch die grösseren Nerven begrenzt. Weiter in der Spitze nichts. In der Basis viel Stärke, im Wasser über dem Quecksilber bald fast aufhörend. Am Quecksilber hier auch ein Stärkerand, bis 2 mm breit, nach der Basis zu durch Nerven begrenzt. Uebrigens unter dem Wasser wenig Stärke.

## § 3.

In den nachfolgenden Versuchen befand sich eine Wasserschicht auf dem Quecksilber und war zudem der mittlere Teil des Versuchsblattes durch Cacaowachs gegen die schädliche Einwirkung des Quecksilbers geschützt. Zu diesen Versuchen wurde der Apparat mit Lüftung benutzt.

## VERSUCH XIV.

*Juglans regia* L.

22 Juni 1908. Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm  
Temperatur der Umgebung zwischen 19° und 26° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 20° und 33° C.

Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet. Vom mittleren Teil unter dem Quecksilber war *nur die eine Langshälfte* bis zur Mittelrippe mit Cacaowachs bestrichen. Die Spitze im kohlenstofffreien Raum; die Basis zuerst in der Luft; nach 1½ Stunde wurde die Basis von Luft mit 2% Kohlensäure umgeben.

Am Ende des Versuchs war gut 3 L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blättchen war noch ganz frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein 1 mm breites, schwarzes Stärkerändchen, nach der Blattspitze zu scharf gesägt durch die Begrenzung durch kleine Nervchen. An der mit Cacaowachs bestrichenen

Hälfte war das Stärkerändchen *ebenso breit*, wie an der anderen Hälfte; es war kein Einfluss der direkten Berührung mit dem Quecksilber wahr zu nehmen.

In der Basis viel Stärke gebildet; nur unter dem Wasser über dem Quecksilber wenig. Unmittelbar am Quecksilber aber auch hier ein gleiches Stärkerändchen wie in der Spitze, nach der Basis zu sägeartig begrenzt durch die kleinen Nervchen.

#### VERSUCH XV.

##### *Acorus Calamus* L.

23 Juni 1908. Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 19° und 26° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 10° und 32° C.

Ein stärkefreies Blatt mit der Spitze im kohlenstofffreien Raum. Die Basis in Luft mit 2% Kohlensäure.

Am Ende des Versuchs war 2½ L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blatt war frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber ein ungefähr 2 mm breites Stärkerändchen, nach der Blattspitze zu nicht scharf begrenzt, sondern sich verwischend. Weiter in der Spitze nichts.

In der Basis viel Stärke, die im Wasser über dem Quecksilber bald ohne deutliche Grenzen aufhörte. Unmittelbar am Quecksilber wieder ein Stärkerändchen, wie in der Spitze; nach der Basis zu sich verwischend. Uebrigens unter dem Wasser wenig gebildet.

## VERSUCH XVI.

*Dahlia (Cactus) Thuringia.*

31 Juli 1908. Versuchsdauer von 11<sup>30</sup> Uhr vm bis 4<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 17° und 20° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 20° und 28° C.

Es wurde die eine Längshälfte eines stärkefreien Blättchens benutzt. Das ganze Blättchen, mit Ausnahme der Basis, war mit Cacaowachs bestrichen. Die Spitze wurde in den kohlenstofffreien Raum gebracht, die Basis in Luft mit 2% Kohlensäure.

Am Ende des Versuchs war 3¼ L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt. Das Blättchen war frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein 3 bis 4 mm breiter Stärkerand, nach der Blattspitze zu durch die grösseren Nerven sägeartig begrenzt. Weiter in der Spitze auch etwas Stärke gebildet, aber nur so wenig, dass es auch unter dem Mikroskop nur eben sichtbar war.

In der Basis sehr viel Stärke gebildet, nur unter dem Wasser über dem Quecksilber etwas weniger. Unmittelbar am Quecksilber aber wieder ebensoviel wie im Stärkerand in der Spitze.

Unter dem Quecksilber auch 2 sehr schwache, schmale Stärkestreifchen gebildet, nämlich an den Stellen, wo die beiden scharfen Kanten des Glockenrandes das Blatt berührt hatten, und das Licht also durch die Glaswand Zutritt hatte zu dem Blatt.

## VERSUCH XVII.

*Heliopsis laevis Pers.*

1 August 1908. Versuchsdauer von 10<sup>45</sup> Uhr vm bis bis 4 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 21° C.

Temperatur in der kleinen Glocke zwischen 20° und 25° C.

Es wurde die eine Längshälfte eines stärkefreien Blattes benutzt, das, ausser der Basis, ganz mit Cacaowachs bestrichen war. Die Spitze im kohlenstofffreien Raum; die Basis in Luft mit 2½ % Kohlenstoff.

Am Ende des Versuchs war 4 L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt. Das Blatt war frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein 1½ mm breites, schwarzes, *Stärkerändchen*, nach der Blattspitze zu sägeartig durch die Nerven begrenzt. Weiter in der Spitze nichts.

In der Basis viel Stärke. Im Wasser über dem Quecksilber hörte die Stärke plötzlich auf, durch die Nerven begrenzt. Unmittelbar am Quecksilber aber wieder ein Stärkerändchen, wie in der Spitze; nach der Basis zu sägeartig begrenzt. Uebrigens hier unter dem Wasser überall etwas Stärke gebildet.

Unter dem Quecksilber 2 sehr schmale, schwache Stärkestreifchen wie im Versuch XVI.

Das Ergebnis der Versuche dieses Kapitels ist, dass in allen untersuchten Blättern, sowohl in Versuchen, wo das Quecksilber schädlich einwirken konnte, wie wenn die Blätter gegen diese Einwirkung geschützt waren, viel Stärke gebildet wurde in dem sich in kohlenstoffhaltiger Umgebung befindenden Teil. Der im kohlenstofffreien Raum verweilende Teil blieb stärkefrei, *mit Ausnahme der unmittelbar am Quecksilber grenzenden Zone*, wo sich immer ein Stärkerändchen bildete; in einigen Blättern war dieses Rändchen nur sehr schmal, in anderen aber breiter; in keinem Fall aber war es breiter als 4 mm.

In den Versuchen, in denen sich eine Wasserschicht

auf dem Quecksilber befand, wurde in dem unter diesem Wasser getauchten Basalteil bei den meisten Blättern nur wenig oder gar keine Stärke gebildet. In diesen Fällen zeigte sich aber unmittelbar am Quecksilber ein ebensolches Stärkerändchen wie in der Spitze. In zwei Versuchen war selbst im unter dem Quecksilber getauchten Blattteil Stärke entstanden an Stellen, wo das Licht zufälligerweise Zutritt gehabt hatte.

Die Hauptsache ist hier, dass sich, unter den oben beschriebenen Versuchsbedingungen, im kohlenstofffreien Raum Stärke gebildet hat. Dass aber ein Blatt, ganz in einem solchen Raum aufgestellt, keine Stärke bilden kann, haben wir schon in Kapitel I bei der Prüfung des Apparates ohne Lüftung gesehen und war ja auch schon sehr lange vorher bekannt.

Die Kohlensäure, welche die Stärkebildung in den Blattspitzen in meinen Versuchen I bis XVII möglich gemacht hat, muss also aus einem Blattteil hergekommen sein, der sich ausser dem kohlenstofffreien Raum befand. Als ich die Stärkereaktion in meinen Versuchsblättern aufmerksam beobachtete, sah ich auch, dass die Lokalisation der Stärke schon darauf hinwies, dass die Kohlensäure aus anderen Blattteilen herkam. Denn die Begrenzung war meist eine scharfe an der vom Quecksilber abgekehrten Seite; es schien, als ob die Kohlensäure aus der Basis herkam und in der Spitze bald ein Hindernis begegnete.

Wenn aber die Kohlensäure aus der Umgebung der Blattspitze durch die Stomata eingedrungen wäre, so würde diese scharfe Begrenzung der Stärke nicht erklärlich sein.

### III. K A P I T E L.

#### **Unabhängigkeit der Breite des Stärkerändchens in der Spitze von der Höhe des kohlenensäure- drucks in der Basis der Blätter.**

---

Es fragt sich nun, woher die Kohlensäure gekommen ist, welche die Stärkebildung in den Blattspitzen, in den Versuchen des vorigen Kapitels, möglich gemacht hat. Eine nahe liegende Vermutung ist, dass die Kohlensäure von der Basis, die sich in Kohlensäure enthaltender Luft befand, herrührt. Wenn dies aber der Fall ist, so können wir erwarten, dass die Breite des in der Spitze gebildeten Stärkerändchens abhängig ist von dem Kohlensäuredruck der Atmosphäre, in der die Basis sich befindet. Wenn die Basis des Blattes sich in gewöhnlicher Luft befindet, so muss dann in der Spitze ein schmäleres Stärkerändchen gebildet werden, als wenn der Basis Luft dargeboten wäre, die z. B. 2 % Kohlensäure enthielt.

Wir haben nun in den Versuchen II und III des vorigen Kapitels schon ein Beispiel zweier gleichen Blätter, deren Bases einem verschiedenen Kohlensäuredruck ausgesetzt waren. Beide Blätter stammten von *Dahlia Yuarezii* und waren im selben Apparat den Versuchsbedingungen ausgesetzt. In Versuch II war der Basis gewöhnliche Luft, in Versuch III aber 5 % Kohlensäure enthaltende dargeboten worden. In beiden Versuchen verweilte die Blatt-

spitze in einem kohlenstofffreien Raum. Die Versuchsergebnisse weisen aber keinen merklichen Unterschied auf zwischen den in den Blattspitzen gebildeten Stärkerändchen. Man muss aber zugleich anerkennen, dass eine Vergleichung dieser beiden Versuche einem Bedenken unterliegt, denn in Versuch III war die Versuchsdauer kürzer als in Versuch II; auch waren die Temperaturen verschieden und es war die Lichtintensität in beiden Fällen nicht dieselbe.

Einen höheren Wert haben nur Versuche, in denen zwei möglichst gleiche Blätter unter vollkommen gleichen Bedingungen verwendet werden. Solcher Versuche kann ich in diesem Kapitel auch einige anführen. Von den beiden Blättern in jedem dieser Versuche befanden sich die Spitzen in kohlenstofffreien Räumen. Die Basis des einen Blattes befand sich in gewöhnlicher Luft, indem dieselbe des anderen in Luft, welche 2 bis 3% Kohlenstoff enthielt, verweilte. Es wurden für diese Versuche 2 Apparate mit Lüftung benutzt; beide standen unmittelbar nebeneinander und waren mit demselben Aspirator und derselben Kohlenstoffabsorptionseinrichtung verbunden. Ich werde diese beiden Apparate unterscheiden als No 1 und No 2. Jeder Apparat hatte seine eigene grosse Glocke; unter die eine wurde Kohlenstoff geführt bis zu einem festgestellten Betrag, indem die andere nur gewöhnliche Luft enthielt. Die Versuche wurden alle auf dem Perron ausgeführt.

Es wird vielleicht Wunder nehmen, dass die grosse Glocke auch benutzt wurde, wenn die Basis des Blattes nur von gewöhnlicher Luft umgeben werden sollte. Es war dies jedoch unbedingt nötig, denn wenn die grosse Glocke weggelassen wäre, so wäre die kleine Glocke unmittelbar mit der Aussenluft in Berührung gewesen, wodurch die Temperatur in dieser Glocke nur wenig höher gewesen wäre als die Temperatur der Umgebung; die

andere kleine Glocke aber wäre zu gleicher Zeit durch die Luftmasse in der grossen Glocke vor Abkühlung geschützt gewesen.

Dass die Temperatur in der kleinen Glocke im letztgenannten Falle um mehrere Grade erhöht wurde, haben wir schon in verschiedenen Versuchen des vorigen Kapitels gesehen, und dass diese Temperatursteigerung Einfluss hat auf die Stärkebildung in der Blattspitze, dafür habe ich einen experimentellen Beweis im folgenden Versuch.

#### VERSUCH XVIII.

##### *Sambucus nigra* L.

12 Juni 1908. Zwei Apparate mit Lüftung; auf dem Perron. Es wurden zwei gleiche, stärkefreie Blättchen verwendet. Die Spitzen in den kohlenstofffreien Räumen der beiden kleinen Glocken.

Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 4 Uhr nm.

Aussentemperatur zwischen 15½° und 19° C.

##### *Apparat No 1.*

Basis des Blättchens in *der freien Luft*; Apparat ohne grosse Glocke. 1<sup>45</sup> Uhr nm Temperatur in der kleinen Glocke: 23½°.

Aussentemperatur: 18½°.

##### *Apparat No 2.*

Basis des Blättchens in *gewöhnlicher Luft*, unter der grossen Glocke, die unten nicht durch Wasser abgesperrt war. 1<sup>45</sup> Uhr nm Temperatur in der kleinen Glocke: 27½°.

Aussentemperatur: 18½°.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke

4 L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt. Die Blättchen waren ganz frisch. Nur waren die beleuchteten Teile heller grün als die verdunkelten.

Es wurden die Blättchen der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *No 1.* In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, nur ein *schmales, nur eben sichtbares Stärkerändchen*. In der Basis viel Stärke.

*No. 2.* In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *sehr deutliches Stärkerändchen, bis 1½ mm breit* und nach der Blattspitze zu deutlich durch Nerven begrenzt. In der Basis ebensoviel Stärke wie No 1.

In diesem Versuch wurde also die meiste Stärke in der Spitze gebildet in dem Apparat, dessen Temperatur die höchste war, obgleich im letzteren Versuch der Kohlenstoffgehalt der die Blattbases umgebende Atmosphäre derselbe war.

Ich habe deshalb in den weiteren Versuchen, von denen in diesem Kapitel die Rede sein wird, immer dafür Sorge getragen, dass durch Benutzung beider grossen Glocken die Temperatur in den kleinen Glocken möglichst gleich wurde. Es wurden diese Versuche alle auf dem Perron ausgeführt.

### § 1.

Vergleichung von 2 Blättern, deren Spitzen sich in kohlenstofffreien Räumen befinden. Die Basis des einen in gewöhnlicher Luft; des anderen in 2 bis 3 % Kohlenstoff enthaltender Luft. Der mittlere Teil jedes Blattes unter Quecksilber. In allen Versuchen befand sich eine Wasserschicht auf dem Quecksilber.

## VERSUCH XIX.

*Sambucus nigra* L.

16 Juni 1908. Es wurden zwei nahezu gleiche, stärkefreie Blättchen desselben Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 3<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 21° und 25° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken: um 12 Uhr m: 32° C., um 3 Uhr nm: 27° C., während zu denselben Zeiten die Temperatur der Umgebung 24° bzw. 22° C. war.

Basis des Blättchens im Apparat *No 1* in gewöhnlicher Luft, im Apparat *No 2* in Luft mit 2½% Kohlensäure.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 4½ L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt. Die Blätter waren frisch; sie wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In *beiden* Spitzen, unmittelbar am Quecksilber, ein schwarzer Stärkerand, *bis 3 mm breit*, und nach der Blattspitze zu meist durch Nerven begrenzt. Es war *kein Unterschied* zwischen den beiden Blättern zu beobachten.

In der Basis von *No 1* ziemlich viel Stärke. In der Basis von *No 2* viel mehr Stärke gebildet.

## VERSUCH XX.

*Juglans regia* L.

22 Juni 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blättchen desselben Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 19° und 26½° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken dieselbe, zwischen 33° und 35° C.

Basis des Blättchens im Apparat *No 1* in gewöhnlicher

Luft, im Apparat *No 2* in Luft mit 2% Kohlensäure. Diese Kohlensäure wurde erst um 11<sup>30</sup> Uhr vm hinzugefügt.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke gut 3 L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt.

Die Blättchen waren ganz frisch und wurden der Stärke-reaktion unterworfen.

RESULTAT. In den *beiden* Spitzen, unmittelbar am Quecksilber, ein schwarzer, *1 mm breiter*, Stärkerand nach der Spitze zu sägeartig durch Nervchen begrenzt. An diesem Rand grenzte eine Zone mit viel weniger Stärke; auch diese Zone, die etwa 3 mm breit war, wurde nach der Spitze zu begrenzt durch die Nervchen. *Kein Unterschied* zwischen den beiden Spitzen wahrzunehmen.

In der Basis von *No 1* war viel Stärke gebildet; etwas mehr noch in der Basis von *No 2*.

#### VERSUCH XXI.

##### *Acorus Calamus* L.

23 Juni 1908. Es wurden zwei gleiche, stärkefreie Blätter verwendet. Die mittleren Teile der Blätter waren mit Cacaowachs bestrichen, so weit sie unter das Quecksilber getaucht wurden.

Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 5 Uhr mm.

Temperatur der Umgebung zwischen 18½° und 26° C.

Temperatur in den kleinen Glocken um 2 Uhr nm und um 5 Uhr nm 32°.

Basis des Blattes im Apparat *No 1* in gewöhnlicher Luft.

Basis des Blattes im Apparat *No 2* in Luft mit 2% Kohlensäure.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 2½ L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt.

Die Blätter waren ganz frisch; sie wurden vom Cacaowachs gereinigt und der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blätter*, unmittelbar am Quecksilber, ein Stärkerändchen, *ungefähr 2 mm* breit und dann sich rasch verwischend.

In der Basis von No 1 ziemlich viel Stärke gebildet; unter dem Wasser über dem Quecksilber aber wenig. Nur am Quecksilber ein deutliches Stärkerändchen. In der Basis von No 2 etwas mehr Stärke.

#### VERSUCH XXII.

*Zea Mays* L.

1 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blätter verwendet, die derselben Pflanze entnommen waren und aufeinander am Stengel folgten. Sie wurden mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen die Basis und das äusserste Spitzchen.

Versuchsdauer von 9<sup>45</sup> Uhr vm bis 3<sup>45</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 17° und 22° C.

Temperatur in den kleinen Glocken No 1 und No 2 um 2 Uhr nm: 29° bzw. 26° C. Die Temperatur war etwas höher in der Glocke No 1, weil dieselbe nicht genügend gegen das direkte Sonnenlicht geschützt worden war. Die Basis des Blattes im Apparat *No 1* in Luft mit 2% Kohlensäure.

Die Basis des Blattes im Apparat *No 2* in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke gut 3 L kohlensäurefreie Luft durchgesaugt.

Das Blatt No 1 war zum Teil durch Cacaowachs injiziert; das Blatt No 2 aber war ganz normal.

Beide Blätter wurden mittels Äther vom Cacaowachs gereinigt und nachher der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blätter*, unmittelbar am Quecksilber, ein Stärkerändchen, *bis 1½ mm* breit und

ziemlich plötzlich aufhörend. Es war *kein Unterschied* in den Spitzen wahrzunehmen.

In der Basis von No 1 viel Stärke; in No 2 etwas weniger.

### VERSUCH XXIII.

#### *Hordeum vulgare* L.

2 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blätter verwendet. Sie wurden mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen die Basis und der äusserste Teil der Spitze.

Versuchsdauer von 9<sup>45</sup> Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 18½° und 22° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken um 12 Uhr m: 22°, um 2<sup>30</sup> Uhr nm: 28°, um 4<sup>30</sup> Uhr nm: 30°.

Temperatur in der grossen Glocke No 2 um 12 Uhr m: 21°, um 2<sup>30</sup> Uhr nm: 24½°, um 4<sup>30</sup> Uhr nm: 28°.

Die Basis des Blattes im Apparat No 1 in Luft mit 2 % Kohlensäure.

Die Basis des Blattes im Apparat No 2 in gewöhnlicher Luft. Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 4 L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt.

Die Blätter waren ganz frisch und wurden der Stärke-reaktion unterworfen, nachdem sie mittels Äther vom Cacaowachs gereinigt worden waren.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blätter*, unmittelbar am Quecksilber, ein deutliches Stärkerändchen, etwa 1 mm breit; sich nach der Spitze zu verwischend; *kein nennenswerter Unterschied* der Spitzen. In der Basis von No 1 viel Stärke; unter dem Wasser über dem Quecksilber wenig. In der Basis von No 2 nur wenig Stärke.

In keinem dieser Versuche hat sich also ein deutlicher Unterschied in der Breite der Stärkerändchen in den Spitzen

offenbart. Was die Reaktionsfarbe dieser Stärkerändchen betrifft, sie war meist nicht so tief schwarz, wie in der Blattbasis, aber immer in beiden Rändchen gleich.

Der erhöhte Kohlensäuredruck der die Basis umgebenden Luft übte keinen sichtbaren Einfluss aus.

Der sichere Beweis, dass die in der Blattspitze reduzierte Kohlensäure nicht aus der Basis herkam, ist jedoch durch diese Versuche noch nicht geliefert. Es wäre doch möglich, dass Kohlensäure zwar von der Basis nach der Spitze wandern könnte, aber dass dieselbe in den obigen Versuchen meist schon in der Basis reduziert wäre. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen war die ganze Basis dem Lichte ausgesetzt: es ist also denkbar, dass das assimilierende Gewebe der Blattbasis, bei der offenbar ausgiebigeren Assimilationsintensität in der 2% Kohlensäure, den Kohlensäuredruck schon soviel erniedrigte, dass er demselben im anderen Blatt nahezu gleich wurde. Wenn dies der Fall wäre, so könnte man natürlich nicht erwarten, in den Blattspitzen einen Unterscheid zu sehen zu bekommen.

Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, habe ich einige neue Versuche angestellt, die den in § 1 mitgeteilten ganz gleich sind, aber nur mit dieser Abänderung, dass nun der grösste Teil der Basis jedes Blattes, *bis an das Quecksilber* verdunkelt wurde; nur ein kleiner Teil, am weitesten vom Quecksilber entfernt, wurde noch beleuchtet. Es wurde die Verdunkelung zustande gebracht durch einen Streifen schwarzes Papier, der um die Blattbasis mittels einer Stecknadel befestigt wurde, und bis an das Quecksilber reichte.

Es war nun also Kohlensäurezutritt in das Blatt möglich, ohne dass diese Kohlensäure gleich reduziert werden konnte.

Die in dieser Weise abgeänderten Versuche werde ich in § 2 mitteilen.

## § 2.

Versuche, wie in § 1, aber ein grosser Teil der Blattbasis bis an das Quecksilber verdunkelt. Auf dem Quecksilber eine Wasserschicht. Jedes Blatt wurde mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen die Basis und der äusserste Teil der Spitze.

## VERSUCH XXIV.

*Triticum vulgare* Vill.

8 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche stärkefreie Blätter verwendet.

Versuchsdauer von 10<sup>10</sup> Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 19° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken und in der grossen Glocke No 2:

No 1.	No 2.
Um 11 <sup>45</sup> Uhr vm: 21 $\frac{1}{2}$ °	22° (in der grossen Glocke 21°)
Um 2 <sup>10</sup> Uhr nm: 27°	26 $\frac{1}{2}$ ° (in der grossen Glocke 26 $\frac{1}{2}$ °)
Um 4 <sup>30</sup> Uhr nm: 27°	28° (in der grossen Glocke 26°)

Die Basis des Blattes im Apparat No 1 war in Luft mit 2% Kohlensäure.

Die Basis des Blattes im Apparat No 2 in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke gut 3 L kohlensäurefreie Luft durchgesaugt.

Die Blätter waren normal und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blätter*, unmittelbar am Quecksilber, ein Stärkerändchen, nicht sehr schwarz,  $1\frac{1}{4}$  mm breit, dann rasch sich verwischend. *Kein deutlicher Unterschied* zwischen den beiden Spitzen.

Im beleuchteten Teil der Basis von No 1 ziemlich viel Stärke gebildet, in der Basis von No 2 wenig Stärke.

#### VERSUCH XXV.

##### *Zea Mays* L.

13 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blätter verwendet, die derselben Pflanze entnommen waren und am Stengel aufeinander folgten.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 4 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 21° und 23° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken um 2 Uhr nm: 30°; in der grossen Glocke No 2 zur selben Zeit 28 $\frac{1}{4}$ °.

Die Basis des Blattes im Apparat No 1 in Luft mit 2 % Kohlensäure.

Die Basis des Blattes im Apparat No 2 in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 2 L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt.

Die Blätter waren ganz frisch und wurden der Stärke-reaktion unterworfen.

RESULTAT. No 1. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein schwacher Stärkerand,  $2\frac{1}{4}$  mm breit, dann plötzlich aufhörend.

Im beleuchteten Teil der Basis wenig Stärke.

No 2. In der Spitze ein Stärkerand, wie in No 1, aber *etwas schwächer*; *jedoch ebenso breit* wie in No 1.

Der beleuchtete Teil der Basis wie No 1.

Dieser Versuch war aber schlecht gelungen; es war zu wenig Stärke gebildet worden um eine sichere Folgerung

zu ziehen. Der geringe Unterschied zwischen den Stärkerändern in den Spitzen konnte sehr wohl ein individueller sein.

#### VERSUCH XXVI.

##### *Dahlia Yuarezii* Hort.

21 Juli 1908. Es wurden zwei nahezu gleiche, stärkefreie Blättchen desselben Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 3 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 15° und 16° C.

Basis des Blättchens im Apparat *No 1* in Luft mit 2% Kohlensäure.

Basis des Blättchens im Apparat *No 2* in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 2 L kohlensäurefreie Luft durchgesaugt.

Die Blättchen waren frisch, ausgenommen der äusserste nicht mit Cacaowachs bestrichene Teil der Spitze von *No 1*, der durch Quecksilberdampf gebräunt war, weil ein Teil der Quecksilberoberfläche in der kleinen Glocke trocken geworden war. Es wurden die Blättchen der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blättchen*, unmittelbar am Quecksilber, ein sehr schwarzer Stärkerand entstanden, nach der Blattspitze zu scharf durch die grösseren Nerven begrenzt und *in beiden Spitzen bis 4 mm breit*. Es war *kein Unterschied* wahrzunehmen.

Der beleuchtete Teil der Basis von *No 1* vollkommen schwarz; in der Basis von *No 2* scheinbar etwas weniger Stärke.

Von der Stärkereaktion in diesen beiden Blättern sieht man eine Photographie in *Figur 3, Tafel V*. Das Blättchen *a* ist im Apparat *No 2* gewesen, Blättchen *b* im Apparat *No 1*. Die Blattzonen von *d* bis *e*, bzw. von *d'* bis *e'*

waren unter dem Quecksilber getaucht. Von *c* bis *d*, bzw. von *c'* bis *d'* waren die Blättchen während des Versuchs verdunkelt. Bei *e* und *e'* befinden sich die Stärkeränder, welche sich im kohlenstofffreien Raum gebildet haben. Von *c* und *c'* bis zu den Blattstielen, in den beleuchteten Basalteilen sehr viel Stärke.

#### VERSUCH XXVII.

##### *Aesculus Pavia* L.

25 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blättchen desselben Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 2<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 21° und 27 $\frac{1}{4}$ ° C.

Temperatur in den kleinen Glocken um 11<sup>45</sup> Uhr vm: No 1: 25 $\frac{1}{4}$ ° C, No 2: 26 $\frac{1}{4}$ ° C; um 2<sup>15</sup> Uhr nm in beiden 33° C.

Die Basis des Blättchens im Apparat No 1 in Luft mit 2% Kohlensäure.

Die Basis des Blättchens im Apparat No 2 in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 1 $\frac{1}{4}$  L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt

Die Blättchen waren noch frisch, ausgenommen die nicht mit Cacaowachs bestrichenen äussersten Spitzchen, die Beschädigung durch Quecksilberdampf zeigten, weil Teile der Quecksilberoberflächen in den kleinen Glocken trocken geworden waren. Es wurden die Blättchen der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blättchen*, unmittelbar am Quecksilber, nur sehr schmale Stärkerändchen gebildet, aber doch deutlich, und nach der Blattspitze zu durch die Nervchen begrenzt. In beiden Spitzen *vollkommen gleich*.

Im beleuchteten Teil der Basis von No 1 ziemlich viel Stärke; in No. 2 etwas weniger.

## VERSUCH XXVIII.

*Tradescantia virginiana* L.

28 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blätter verwendet.

Versuchsdauer von 3<sup>30</sup> Uhr nm bis 7<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 18° und 20° C.

Temperatur in den kleinen Glocken um 3<sup>30</sup> Uhr nm:

No 1: 25° C, No 2: 26° C.

Um 7<sup>15</sup> Uhr nm: No 1: 20° C. No 2: 21° C.

Die Basis des Blattes im Apparat *No 1* in Luft mit 2 % Kohlensäure.

Die Basis des Blattes im Apparat *No 2* in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 1¼ L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt.

Die Blätter waren frisch und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blätter*, unmittelbar am Quecksilber, ein deutliches Stärkerändchen, *gut 1 mm breit*, und sich schnell verwischend. *Kein Unterschied* zwischen den beiden Spitzen.

Im beleuchteten Teil der Basis von *No 1* deutlich Stärke gebildet; in *No 2* aber nur eben sichtbar.

In allen in diesem Paragraphen beschriebenen Versuchen war also das Resultat negativ. In den Spitzen jedes Blätterpaares, abgesehen von dem misslungenen Versuch XXV, wo wir aber wahrscheinlich nur mit einem individuellen Unterschied zu tun haben, waren immer die Stärkeränder gleich. Ein Einfluss des erhöhten Kohlensäuredrucks konnte nicht konstatiert werden.

Der Einfluss der teilweisen Verdunklung der Blattbasis wurde auch noch in etwas anderer Weise untersucht, wodurch selbst mögliche individuelle Unterschiede

zwischen den Blättern gänzlich ausgeschaltet waren. Ich werde diese Versuche, die ebensogut wie die vorigen ein negatives Resultat lieferten, in § 3 beschreiben.

### § 3.

Das stärkefreie Versuchsblatt wurde in zwei Längshälften zerschnitten, und diese zwei Längshälften wurden nun miteinander verglichen. Die Spitzen beider Hälften befanden sich in demselben kohlenstofffreien Raum, unter der kleinen Glocke des Apparates mit Lüftung. Die Bases befanden sich in demselben kohlenstoffreichen Raum, unter der grossen Glocke. Die ganzen Längshälften waren mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen die Bases.

Die Basis der einen Längshälfte wurde nun ganz beleuchtet, während die Basis der anderen Hälfte grösstenteils bis an das Quecksilber verdunkelt wurde. Auch in diesen Versuchen befand sich auf dem Quecksilber eine Wasserschicht.

### VERSUCH XXIX.

#### *Dahlia (Cactus) Thuringia.*

31 Juli 1908. Es wurden zwei Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blättchens verwendet.

Versuchsdauer von 11<sup>30</sup> Uhr vm bis 4<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 17° und 20° C.

Temperatur in der kleinen Glocke um 2<sup>15</sup> Uhr nm: 28° C.

Die beiden Bases in Luft mit 2% Kohlensäure.

Die Basis der Längshälfte *a* durch einen schwarzen Papierstreifen bis an das Quecksilber verdunkelt.

Die Basis der Längshälfte *b* ganz beleuchtet.

Am Ende des Versuchs war 3¼ L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt.

Die Blatthälften waren frisch, ausgenommen die äussersten Enden der Spitzen, die Quecksilberdampfflecken zeigten, weil sie nicht genügend mit Cacaowachs bestrichen waren, und ein Teil der Quecksilberoberfläche trocken geworden war. Die beiden Längshälften wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Hälften*, unmittelbar am Quecksilber, ein *schwarzer Stärkeband*, mit grossen Zacken nach der Blattspitze zu; meist scharf durch Nerven begrenzt. *Kein Unterschied* zwischen den beiden Spitzen.

In der Basis von *b* und im beleuchteten Teil der Basis von *a* sehr viel Stärke. Nur unter dem Wasser in *b* etwas weniger Stärke; unmittelbar am Quecksilber aber wieder sehr viel.

Auch unter dem Quecksilber, wo der Rand der kleinen Glocke die Blattstücke berührt hatte, hatten sich sehr schmale, schwache Stärkerändchen gebildet.

### VERSUCH XXX.

#### *Heliopsis laevis* Pers.

1 August 1908. Es wurden zwei Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 10<sup>h</sup> Uhr vm bis 4 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 20° C.

Temperatur in der kleinen Glocke um 12 Uhr m: 24° C.

Die beiden Bases in Luft mit 2½ % Kohlensäure.

Die Basis der Längshälfte *a* grösstenteils durch einen schwarzen Papierstreifen bis an das Quecksilber verdunkelt. Die Basis der Langshälfte *b* ganz belichtet.

Am Ende des Versuchs war 4 L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt.

Die Blatthälften waren frisch geblieben, ausgenommen

die äussersten Enden der Spitzen, die etwas verfärbt waren. Sie wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Hälften*, unmittelbar am Quecksilber, ein Stärkerändchen, schwarz, *bis 1½ mm breit*, und nach der Blattspitze zu sägeartig und scharf begrenzt durch die kleinen Nerven. In beiden Spitzen *vollkommen gleich*.

Im beleuchteten Teil der Basis *a* viel Stärke.

In der Basis von *b* ebensoviel Stärke; nur wenig unter dem Wasser; unmittelbar am Quecksilber aber wieder viel Stärke in der Form eines schmalen Rändchens.

Unter dem Quecksilber, wo der Rand der kleinen Glocke die Blattstücke berührt hatte, hatten sich sehr schmale, schwache Stärkerändchen gebildet.

#### § 4.

Bis jetzt habe ich noch nicht gesprochen über die Möglichkeit, dass die Versuchsergebnisse bestimmt sein könnten durch die Wirkung der Kalilauge. Es ist aber leicht zu beweisen, dass diese keinen weiteren Einfluss ausübte und nur die Erfüllung der Bedingung gab, dass der Blattspitze keine Kohlensäure von aussen her dargeboten werden durfte.

Dieses ergab sich sogleich, als ich die im vorhergehenden § besprochenen Versuche wiederholte, nachdem die Kalilauge gänzlich aus dem Apparat entfernt worden war. Die kleine Glocke des Apparates, die noch mehr als 3 L Luft enthielt, wurde ersetzt durch eine nur 0.8 L enthaltende, ziemlich schwere Glasglocke, die sich nicht so leicht bei Temperaturerhöhung aufheben würde. Auf diese Weise waren die Blattspitzen in einen sehr kleinen Raum gebracht, der nicht genug Kohlensäure enthielt um Stärkebildung möglich zu machen. Nur der Blattteil, der mit dem Quecksilber und mit dem darauf gegossenen Wasser in Berüh-

rung war, wurde mit Cacaowachs bestrichen. Es wurde keine kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke gesaugt, sondern die Zuleitungsröhre wurde abgeschlossen.

#### VERSUCH XXXI.

##### *Dahlia (Cactus) Thuringia.*

20 August 1908. Es wurden zwei Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blättchens verwendet.

Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 2<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 20° C.

Die beiden Bases in Luft mit 3% Kohlensäure.

Die Basis der einen Längshälfte grösstenteils, bis an das Quecksilber, durch einen schwarzen Papierstreifen verdunkelt.

Die Basis der anderen Längshälfte ganz beleuchtet.

Am Ende des Versuchs waren die Blatthälften noch ganz frisch, und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blatthälften*, unmittelbar am Quecksilber, ein Stärkerand, *3 bis 4 mm breit*, nach der Blattspitze zu durch Nerven begrenzt. *In beiden Spitzen gleich. Weiter in den Spitzen keine Stärke* gebildet.

In den beleuchteten Basalteilen viel Stärke.

#### VERSUCH XXXII.

##### *Heliopsis laevis* Pers.

22 August 1908. Es wurden zwei Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 12 Uhr m bis 4<sup>45</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 19<sup>4</sup>° und 21° C.

Die beiden Bases in Luft mit 3% Kohlensäure.

Die Basis der einen Längshälfte grösstenteils, bis an das Quecksilber, durch einen schwarzen Papierstreifen verdunkelt.

Die Basis der anderen Längshälfte ganz beleuchtet.

Am Ende des Versuchs waren die Blatthälften noch ganz frisch, und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In den Spitzen *beider Blatthälften*, unmittelbar an dem Quecksilber, ein Stärkerändchen,  $\frac{1}{2}$  bis 1 mm breit, nach der Spitze zu sägerartig durch die Nervchen begrenzt. *In beiden Spitzen gleich. Weiter in den Spitzen keine Stärke* gebildet.

In den beleuchteten Basisteilen viel Stärke; in der ganz beleuchteten Basis unter dem Wasser aber nur stellenweise Stärke gebildet.

Die Ergebnisse der Versuche dieses Kapitels stimmen also alle miteinander überein. In keinem einzigen der verwendeten Blätter konnte ein Einfluss der Erhöhung des Kohlensäuredrucks auf die Stärkebildung in der Spitze nachgewiesen werden. Es scheint also, dass kein Kohlensäuretransport stattfinden kann durch eine so grosse Gewebezone, wie in den erwähnten Versuchen unter Quecksilber getaucht war, und welche stets  $2\frac{1}{2}$  bis 3 cm breit war. Wenn dies der Fall ist, so entsteht aber die Frage, wie es möglich war, dass die Blattspitzen im kohlenstofffreien Raum Stärke bildeten. Dieses zu erläutern, wird die Aufgabe des folgenden Kapitels sein.

#### IV. KAPITEL.

### **Die Ursache der Stärkebildung im kohlenstofffreien Raum in den oben beschriebenen Versuchen.**

#### § 1.

Aus den im vorhergehenden Kapitel behandelten Versuchen ging hervor, dass die Quantität der der Blattbasis gebotenen Kohlensäure keinen Einfluss hat auf die Grösse des Areals der Blattspitze in welchem Stärke gebildet wird. Im kohlenstofffreien Raum bildete sich über der Oberfläche des absperrenden Quecksilbers immer bei derselben Pflanze eine gleich breite Stärkezone, ganz unabhängig von der Frage, ob die Basis in einer kohlenstoffarmen oder kohlenstoffreichen Luft verweilte.

Es wird nun die Frage, ob überhaupt die der Blattbasis gebotene Kohlensäure als die Ursache der Stärkebildung der Blattspitze in diesen Versuchen zu betrachten ist. Diese Frage ist ganz leicht zu beantworten. Wir brauchen nur der Basis die Möglichkeit zu entziehen Kohlensäure aufzunehmen, während übrigens der mittlere Teil des Blattes unter dem Quecksilber bleibt und die Spitze im kohlenstofffreien Raum. Es fragt sich dann, ob unter diesen Umständen in der Spitze doch ebensoviel Stärke gebildet wird, wie in den obigen Versuchen.

Nun war es mit meinen bis jetzt benutzten Apparaten nicht so leicht, den Raum unter der grossen Glocke kohlenstofffrei zu machen, zumal weil diese Glocke nur

durch Wasser abgesperrt war. Der Zweck, der Basis nur möglichst wenig Kohlensäure zur Verfügung zu stellen, war aber auf etwas andere Weise leicht zu erreichen. Die Blattbasis mit dem Blattstiel wurde bloss unter dem Wasser gelassen, welches auf das Quecksilber, ausserhalb der kleinen Glocke, gegossen wurde. Es war nun also kein Blattteil mit der kohlenensäurehaltigen Atmosphäre in direkter Berührung, während das Blatt zudem noch vor Welken geschützt war, weil der Stiel sich auch unter Wasser befand. Solch ein Versuch wurde mit einem *Dahliablättchen* angestellt.

#### VERSUCH XXXIII.

##### *Dahlia Yvarezi Hort.*

8 Oktober 1906. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet im Apparat ohne Lüftung, im Gewächshaus.

Versuchsdauer von 10<sup>12</sup> Uhr vm bis 3<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 17° und 22° C.

Die Basis des Blättchens und auch das kurze Stielchen unter Wasser, das ausserhalb der kleinen Glocke auf das Quecksilber gegossen war. Der mittlere Teil unter Quecksilber und die Spitze im kohlenensäurefreien Raum. Das Quecksilber war in diesem Raum trocken.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch völlig frisch, und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *Stärkerand*, nach der Blattspitze zu durch die grösseren Nerven begrenzt; alles gerade so *wie in den früher mitgeteilten Versuchen*, wo die Basis Kohlensäure von aussen aufnehmen konnte.

In der Basis unter dem Wasser, auch unmittelbar am Quecksilber, ein gleicher Stärkerand wie der in der Spitze gebildete; hier aber nach dem Blattstiel zu durch die

grösseren Nerven begrenzt. Stärkerand nahezu *gleich breit, wie in der Spitze* und *ebenso schwarz*.

Es konnte in diesem Versuch die nötige Kohlensäure nur aus dem mittleren Teil des Blattes, unter dem Quecksilber hergekommen sein. Diese Kohlensäure konnte natürlich ebensogut nach der Basis, wie nach der Spitze entweichen; es kann also nicht wundern, dass auf beide Seiten des unter Quecksilber getauchten Teils Stärke gebildet worden war.

Man könnte vielleicht einwenden, dass die Basis von kohlenensäurehaltigem Wasser umgeben war, und hieraus Kohlensäure beziehen konnte, aber man wird gestehen müssen, dass es in diesem Fall nicht nur in der unmittelbaren Nähe des Quecksilbers zu so reichlicher Stärkebildung kommen müsste, sondern gleichmässig in der ganzen beleuchteten Basis.

Immerhin erschien es mir nicht überflüssig, allen Zweifel über diesen fundamentalen Punkt wegzuräumen und dazu den Versuch so abzuändern, dass auch aus dem Wasser dem Blatt keine Kohlensäure zukommen konnte. Es geschah dies auf die folgende Weise.

Ich nahm einen viereckigen Glaskasten, der 9 cm lang,  $4\frac{1}{2}$  cm breit und 5 cm hoch war. In der Mitte dieses Kastens wurde mittels Harz und Wachs eine Glasplatte vertikal festgeklebt, welche gleich lang war wie der Kasten und mit ihren Enden an den beiden kurzen Seitenwänden des Kastens befestigt wurde. Es reichte die Glasplatte nicht bis zum Boden des Kastens, sondern sie blieb 1 cm davon entfernt. In der nebenstehenden schematischen *Figur 3* ist T der Wand des Kastens, G die Glasplatte.

In den Glaskasten wurde Quecksilber Hg gegossen bis zu einer Höhe von  $1\frac{1}{2}$  cm, so dass der Unterrand der vertikalen Glasplatte  $\frac{1}{2}$  cm in das Metall hineintauchte.

Der Raum im Kasten, oberhalb des Quecksilbers, war nun also durch die Glasplatte in zwei Hälften geteilt.

Das Versuchsblatt B wurde durch die Öffnung unter

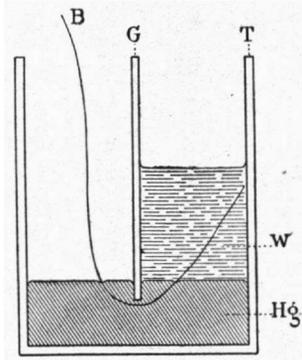


Fig. 3.  
Erklärung im Text.

der Glasplatte geführt, so dass die Basis an der einen Seite der Platte, die Spitze aber an der anderen Seite aus dem Quecksilber emporragte. An der Seite der Platte, wo sich die Blattbasis befand, wurde nun soviel ausgekochtes Wasser W auf das Quecksilber gegossen, dass die Basis vollständig untergetaucht war. Die Spitze blieb bei dieser Einrichtung also trocken.

Das Ganze wurde nun unter die kleine Glocke des Apparates ohne oder mit Lüftung gestellt. Der Glaskasten wurde auf die mit Kallilauge gefüllte Schale, also in den kohlenstofffreien Raum gestellt, während das Blatt durch das Wasser, welches die Basis umgab, vor Welken geschützt war.

Die Versuche, die im Gewächshaus ausgeführt worden sind, werde ich hier mitteilen. Wir werden sehen, dass die Resultate dieselben waren, wie im Versuch XXXIII.

## VERSUCH XXXIV.

*Dahlia Yvarezii* Hort.

22 Oktober 1906. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet.

Versuchsdauer von 12<sup>h</sup> Uhr nm bis 4 Uhr nm.

Der mittlere Teil des Blättchens unter dem Quecksilber des Glasskastens, die Basis mit dem daran gelassenen Teil des Stiels unter dem Wasser an der einen Seite der Glasplatte; die Spitze ragte frei aus dem Quecksilber an der anderen Seite der Platte hervor. Das Ganze unter der kleinen Glocke des Apparates ohne Lüftung im kohlenstofffreien Raum.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch frisch, und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *In der Spitze*, unmittelbar am Quecksilber, ein *Stärkerand*, nach der Blattspitze zu durch die grösseren Nerven begrenzt. *Ebenso breit und schwarz*, wie im vorigen Versuch.

*In der Basis*, unmittelbar am Quecksilber, ein *ebensolcher Stärkerand*, wie in der Spitze; hier *nach dem Stiel zu* durch grössere Nerven begrenzt.

Auch unter dem Quecksilber hatte sich etwas Stärke gebildet, nämlich da, wo der mittlere Teil des Blättchens mit der vertikalen Glasplatte in Berührung gewesen war; nur ein schwaches Stärkestreifchen, so breit wie die Dicke der Glasplatte.

## VERSUCH XXXV.

*Populus pyramidalis* Salisb.

30 Juli 1907. Es wurde ein stärkefreies Blatt verwendet. Versuchsdauer von 10<sup>h</sup> Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Der mittlere Teil des Blattes unter dem Quecksilber

des Glaskastens, die Basis mit dem daran gelassenen Teil des Stiels unter dem Wasser an der einen Seite der vertikalen Glasplatte; die Spitze ragte frei aus dem Quecksilber an der anderen Seite der Platte hervor. Das Ganze unter der kleinen Glocke des Apparates mit Lüftung, im kohlenstofffreien Raum.

Am Ende des Versuchs was das Blatt noch vollkommen frisch, und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *In der Spitze*, unmittelbar am Quecksilber, ein *schmales Stärkeründchen*, wie in der Spitze, nach dem Stiel zu durch die kleinen Nervchen begrenzt.

Auch im mittleren Teil des Blattes, unter dem Quecksilber, etwas Stärke gebildet in einem schmalen Streifen, das mit der vertikalen Glasplatte in Berührung gewesen war.

Aus den letzteren drei Versuchen sehen wir, dass sowohl in der Basis, wie in der Spitze des Blattes Stärke gebildet wurde; in beiden nur unmittelbar an dem Quecksilber und vollkommen symmetrisch in Hinsicht auf den sich unter dem Quecksilber befindenden Mittelteil des Blattes.

Die zu dieser Stärkebildung nötige Kohlensäure konnte keine andere Herkunft haben, als aus dem unter Quecksilber getauchten Blattteil. Weil nun dieses Blattstück vollkommen von kohlenstoffhaltiger Luft abgeschlossen war, konnte die frei gewordene Kohlensäure nichts anderes sein, als *Atmungskohlensäure*.

Es konnte diese Kohlensäure, die durch intramolekulare Atmung frei geworden war, nicht zur Stelle wieder verarbeitet werden, wie es in beleuchteten Blattpartien geschehen kann. Nachdem sie aber durch Diffusion in dem Blattgewebe in die belichtete Basis und Spitze gelangt war, wurde sie gleich reduziert und entstand daselbst Stärke.

## § 2.

In einer anderen, sehr einfachen Weise kann auch gezeigt werden, dass man in § 1 zu tun hatte mit einer Reduktion der Atmungskohlensäure, also einer Quantität Kohlensäure, die durch das Blatt selbst produziert worden war. Dazu sind die oben beschriebenen Apparate selbst ganz überflüssig. Wenn man nämlich ein stärkefreies Blatt vollkommen von der Aussenluft abschliesst, wie ich es in den sogleich mitzuteilenden Versuchen getan habe, und einen Teil desselben zugleich verdunkelt, so sieht man in der beleuchteten Partie Stärke entstehen; auch hier nur am Rande des verdunkelten Teils. Wenn aber kein Teil des Blattes verdunkelt wird, entsteht auch, wie wir im Versuch XXXVII sehen werden, keine Stärke, denn die freiwerdende Atmungskohlensäure kann in diesem Falle gleich zur Stelle wieder reduziert werden; wenn das Blatt schon beim Anfang des Versuchs stärkefrei war, werden die veratmeten Substanzen einfach zurückgebildet werden; eine Überproduktion, in der Form von Stärke, kann nicht zustande kommen, weil sich ja nirgendwo Kohlensäure an einer bestimmten Stelle anhäufen wird.

Die betreffenden Versuche wurden in der folgenden Weise ausgeführt. Ein stärkefreies Blatt wurde auf das sich in einer flachen Schale befindende Quecksilber gelegt. Es wurde nun eine grosse gläserne Kristallisierschale mit ihrem flachen Boden auf das Blatt gesetzt, etwa 1 cm tief in das Quecksilber hineingedrückt und so während des Versuchs befestigt. Das Blatt wurde auf diese Weise fest gegen den Boden der Kristallisierschale gedrückt, ohne dass Quecksilber zwischen Blatt und Schale drang.

Der Boden der Schale aber war vorher mit einem durchlöcherten schwarzen Papier beklebt worden, das dazu diente, das Versuchsblatt teilweise zu verdunkeln.

Weitere Einzelheiten werden bei den einzelnen Versuchen besprochen werden.

#### VERSUCH XXXVI.

*Dahlia Yuarezii* Hort.

9 Oktober 1907. Es wurde ein stärkefreies Endblättchen verwendet.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 3<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur im Gewächshaus, wo der Versuch ausgeführt wurde, zwischen 15° und 26 $\frac{1}{4}$ ° C.

Das Blättchen wurde gegen direkte Sonnenstrahlen geschützt durch einen Schirm aus sehr dünnem weissem Papier.

Es wurde das Blättchen auf das Quecksilber gelegt, mit der Oberseite nach oben, und durch eine Kristallsierschale in das Metall hineingedrückt. Der Boden dieser Schale war an der Unterseite ganz mit schwarzem Papier beklebt, in welchem aber eine runde Öffnung, von 28 mm Durchmesser, ausgeschnitten war. Der sich unter dieser Öffnung befindende Blattteil wurde also nur beleuchtet, während das ganze Blättchen von der Luft abgeschlossen war.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch frisch, abgesehen von drei schwarzbraunen Fleckchen, von denen sich zwei kleine im beleuchteten Teil befanden.

Das Blättchen wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Im beleuchteten Teil ziemlich viel Stärke gebildet; *in der Mitte nicht so viel wie am Rand.*

#### VERSUCH XXXVII.

*Dahlia Yuarezii* Hort.

17 Oktober 1907. Es wurden die zwei Längshälften eines einzigen stärkefreien Blättchens verwendet. Die Mittelrippe war entfernt worden.

Versuchsdauer von 11 Uhr vm bis 4<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur im Gewächshaus zwischen 13° und 19 $\frac{1}{4}$ ° C.

Die beiden Längshälften wurden nebeneinander, mit der Oberseite nach oben, auf das Quecksilber gelegt und durch eine Kristallisierschale in das Metall hineingedrückt; sie waren nun durch ein schmales Quecksilberstreifenchen voneinander getrennt. Unter dem Boden der Kristallisierschale war ein rechteckiges Stück schwarzes Papier geklebt, welches nur den mittleren Teil der einen Blatthälfte über eine Länge von etwa 4 cm verdunkelte. Die andere Blatthälfte über eine Länge von etwa 4 cm verdunkelte. Die andere Blatthälfte aber war ganz beleuchtet.

Am Ende des Versuchs waren die Blatthälften noch völlig frisch. Sie wurden der Stärkereaktion unterworfen,

RESULTAT. Es hatten sich nur *Stärkerändchen* gebildet in der teilweise verdunkelten Blatthälfte und hier *nur an den Rändern des schwarzen Papiers*. Die Stärkerändchen waren an der nach dem Papier gekehrten Seite scharf durch eine gerade Linie begrenzt, auf der anderen Seite durch eine zackige, durch grössere Nerven gebildete Linie.

Auch Versuche mit anderen Blättern kann ich noch anführen, die dasselbe Resultat lieferten.

#### VERSUCH XXXVIII.

*Sambucus nigra* L.

10 Juni 1908. Es wurde ein Stück eines stärkefreien Blättchens verwendet.

Versuchsdauer von 10<sup>45</sup> Uhr vm bis 3<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums) zwischen 16° und 18° C.

Das Blattstück wurde in Quecksilber hineingedrückt auf

dieselbe Weise wie im Versuch XXXVI. Auch hier wurde nur eine runde Stelle beleuchtet.

Am Ende des Versuchs war das Blattstück völlig frisch, und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Es war *viel Stärke in der äussersten Peripherie* der beleuchteten Stelle gebildet worden, einen *3 mm breiten Band* darstellend. Nach der Mitte zu war dieser Stärkerand meist durch Nerven begrenzt. In der Mitte der beleuchteten Stelle war keine Stärke gebildet.

#### VERSUCH XXXIX.

##### *Syringa vulgaris* L.

18 Juni 1908. Es wurde eine Längshälfte eines stärkefreien Blattes verwendet.

Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums) zwischen 18½° und 24° C.

Das Blattstück wurde in Quecksilber hineingedrückt wie im vorigen Versuch, während es durch einen schwarzen Papierstreifen teilweise verdunkelt war, so wie die eine Blatthälfte im Versuch XXXVII.

Am Ende des Versuchs sah das Blattstück noch frisch aus. Es wurde der Stärkereaktion unterworfen; während dieser Behandlung wurde es aber fleckig.

RESULTAT. Längs dem schwarzen Papierrand hatte sich ein sehr *deutliches, schwarzes Stärkerändchen* gebildet, *1 mm breit* und an der vom Papier abgekehrten Seite gesägt durch die scharfe Begrenzung durch die kleinen Nervchen.

## VERSUCH XL.

*Tilia platyphyllos* Scop.

22 Juni 1908. Es wurde ein ganzes, stärkefreies Blatt verwendet.

Versuchsdauer von 2<sup>30</sup> Uhr nm bis 6<sup>45</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums) zwischen 23° und 26½° C.

Das Blatt wurde in das Quecksilber hineingedrückt wie im Versuch XXXVI, und auch nur durch eine runde Öffnung in dem schwarzen Papier der Kristallisierschale beleuchtet. Die beleuchtete Blattpartie hatte einen Durchmesser von 28 mm.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch völlig normal, und wurde der Stärkeraktion unterworfen.

RESULTAT. *In der äussersten Peripherie* des beleuchteten Blattteils war ein *schwarzes Stärkerändchen* gebildet, *nur ½ mm breit*, nach der Mitte sägeartig begrenzt durch die kleinen Nervchen.

Nun ist es noch denkbar, dass man in den letzten Versuchen gar nicht zu tun hatte mit einem Kohlensäuretransport *im* Blattgewebe von dem verdunkelten nach dem beleuchteten Blattteil zu. Es wäre doch möglich, dass Kohlensäuregas aus dem Blatt durch die Spaltöffnungen entwich und sich an der Aussenseite desselben verbreitete, und dass es an den beleuchteten Stellen wieder von aussen her durch die Stomata in das Blatt hineindringen könnte.

Diese Möglichkeit ist aber leicht auszuschliessen, so dass bewiesen wird, dass in diesen Versuchen die Kohlensäure wirklich *im* Blattgewebe, durch die Interzellularräume, transportiert wurde. Um dies zu beweisen habe

ich den folgenden Versuch angestellt, in welchem die Atmungskohlensäure, die in den verdunkelten Partien möglicherweise gleich durch die Spaltöffnungen entwich, jedenfalls verhindert wurde, mit dem beleuchteten Teil in Berührung zu kommen. Das aus dem Blatte getretene Gas musste in diesem Versuch sogleich im Quecksilber aufsteigen, und in die Luft entweichen.

#### VERSUCH XLI.

##### *Dahlia Yuarezii* Hort.

18 Oktober 1907. Es wurden zwei Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blättchens verwendet. Die Mittelrippe war entfernt worden.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 3 Uhr nm.

Temperatur im Gewächshaus zwischen 12° und 19° C.

Die beiden Längshälften wurden mit der Oberseite nach oben auf das Quecksilber gelegt, und mittels einer Glasdose von 5 cm Durchmesser in das Metall hineingedrückt; sie waren nur durch ein schmales Quecksilberstreifenchen voneinander getrennt.

Die vertikale Wand der Glasdose war an der Aussen- seite mit schwarzem Papier beklebt. Weil der Boden ein wenig kleiner war als die Oberfläche der Blatthälften, wurden deren Ränder beim Niederdrücken in das Quecksilber schief nach oben gebogen. Wenn diese Ränder zufälligerweise hie und da auch die Wand der Glasdose berührten, so waren sie doch vom Lichte abgeschlossen durch das gegen diese Wand geklebte schwarze Papier. Es wurde aber dafür gesorgt, dass keine Blattteile über das Quecksilber emporragten. Die Blatthälften blieben also völlig von der Luft abgeschlossen.

Durch diese Einrichtung war also ein grosser Teil jeder Blatthälfte beleuchtet, während nur die schief emporge-

bogenen Ränder verdunkelt waren. Wenn aus diesen Rändern aber etwa Kohlensäuregas entwich, so musste dasselbe gleich aufsteigen und konnte keineswegs in die beleuchteten Blattteile geraten.

Am Ende des Versuchs waren die Blatthälften noch vollkommen frisch, und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *Nur in der Peripherie* der beleuchteten Blattteilen war ein *Stärkerand* gebildet, ungefähr 4 mm breit, nach der Mitte der beleuchteten Stelle zu durch grössere Nerven begrenzt; wo keine solche grosse Nerven vorlagen, verwischte sich die Reaktion bald.

### § 3.

Das Quecksilber hatte in den Versuchen, die im § 2 beschrieben worden sind, die Funktion das Versuchsblatt von der Luft abzuschliessen, so dass dem Blatte keine Kohlensäure von aussen her zur Verfügung stand. Zudem aber wurde mit der Benutzung dieses Metalls noch ein weiterer Zweck erreicht. Die sich in dem verdunkelten Blattteil entwickelnde Atmungskohlensäure wurde durch den Quecksilberdruck nämlich verhindert an der Unterseite des Blattes auszutreten. Die Epidermis war dort also wie impermeabel für das Kohlensäuregas, und die Oberseite des Blattes war dem Glase fest angedrückt. Wenn aber nicht dafür gesorgt wird, dass die Epidermis keine Gase durchlässt, so entweicht die produzierte Kohlensäure sogleich aus dem Blattgewebe, ohne seitlich in diesem Gewebe transportiert zu werden. Dass dem so ist, konnte ich durch zwei Versuche beweisen, die ich hier mitteilen will. Im ersten Versuch war einfach ein Blattteil derart verdunkelt, dass die Epidermis dieses Teils frei blieb; im anderen Versuch aber wurde die Blattpartie, welche verdunkelt werden sollte, zuvor bestrichen mit Cacaowachs um jeden Gasaustritt zu verhindern.

## VERSUCH XLII.

*Dahlia Yuarezii* Hort.

10 Oktober 1906. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet.

Versuchsdauer von 11 Uhr vm bis 4<sup>15</sup> Uhr nm.

Temperatur im Gewächshaus, wo der Versuch stattfand, zwischen 18° und 29° C.

Das Blättchen mit der Spitze in der kleinen Glocke des Apparates ohne Lüftung, in einem Raum ohne Kalilauge. Der mittlere Teil des Blättchens unter Quecksilber; die Basis in Luft mit 5% Kohlensäure.

Unmittelbar über dem Quecksilber war die eine Längshälfte der Spitze, bis an die Mittelrippe, an der Ober- und Unterseite bedeckt durch einen schwarzen Papierstreifen. Dieser Streifen war 17 mm breit und mit dünnem Nähgarn an das Blättchen festgenäht. Das Papier schloss sich also nur lose an die Blattepidermis an; der untere Papierrand berührte das Quecksilber.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch frisch. Nur zeigte die Oberseite der Spitze eine nur eben sichtbare Verfärbung. Das Blättchen wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, im unbedeckten Teil unmittelbar am Quecksilber, ein *3 bis 4 mm breiter Stärkerand*, nach der Blattspitze zu scharf durch Nerven begrenzt. *Am Rande des schwarzen Papiers* der anderen Längshälfte aber *kein Stärkerand*. In der ganzen Spitze übrigens eine sehr schwache, gleichmässige Stärkereaktion.

In der Basis viel Stärke.

Sehr verschieden von diesem Resultate zeigte sich dasselbe des folgenden Versuchs.

## VERSUCH XLIII.

*Dahlia Yuarezii* Hort.

11 Oktober 1906. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet.

Versuchsdauer van 2<sup>15</sup> Uhr nm bis 4<sup>15</sup> Uhr nm.

Die Temperatur im Gewächshaus schwankte um 17° C.

Das Blättchen im Apparat ohne Lüftung, in derselben Weise wie im vorigen Versuch; die Basis aber in gewöhnlicher Luft.

Die Spitze war an zwei Stellen mit Querstreifen von schwarzem Papier bedeckt. Der eine Streifen an derselben Stelle wie im vorigen Versuch, der andere aber 2 cm von diesem entfernt, und auch nur bis an die Mittelrippe reichend. Beide Papierstreifen waren 17 mm breit. Unter diesen Papierstreifen war das Blättchen beiderseits mit Cacaowachs bestrichen.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch frisch, und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Spitze, *im unbedeckten Teil*, unmittelbar am Quecksilber, *ein Stärkerand*, durch Nerven begrenzt. *Längs den Rändern der Papierstreifen auch schwarze Stärkerändchen*. Übrigens in der ganzen Spitze eine sehr schwache, gleichmässige Stärkereaktion.

In der Basis Stärke gebildet, aber nicht sehr viel.

Der Unterschied in den Resultaten dieser beiden Versuche ist also sehr deutlich. Wo das schwarze Papier ohne weiteres nur lose das Blatt umschloss, konnte die in der verdunkelten Blattpartie produzierte Kohlensäure leicht entweichen und sich im umgebenden Raum verbreiten. In jenem Fall aber, wo die Oberhaut mit einer gasdichten Substanz bestrichen worden war, konnte die

Kohlensäure nicht durch die Spaltöffnungen entweichen, sondern war gezwungen, den längeren Weg im Blattgewebe zu folgen. An den Rändern des verdunkelten Teils, wo auch die abschliessende Schicht aufhörte, könnte nun das Gas entweichen; aber bevor es sich durch die Stomata entfernt hatte, wurde es schon reduziert. Die geringe Quantität Stärke, die im ganzen beleuchteten Teil der Spitze zu sehen war, ist vielleicht in der Weise zu erklären, dass die Atmungskohlensäure der verdunkelten Partie nicht rasch genug völlig reduziert werden konnte bevor sie entwich, und deshalb sich im Raum unter der kleinen Glocke verbreitete; in diesem Fall stand dieses kleine Gasquantum natürlich dem ganzen beleuchteten Spitzenteil zur Verfügung.

Aus dem letzten Versuch geht hervor, dass man auch ohne Quecksilber Versuche anstellen kann um zu zeigen, dass die Atmungskohlensäure genügt, in einem beleuchteten Blattteil Stärkebildung zum Vorschein zu rufen. In mehreren Versuchen habe ich nämlich Blätter, ganz mit Cacaowachs bestrichen und teilweise verdunkelt, in gewöhnlicher Luft dem Lichte ausgesetzt. Bekanntlich <sup>1)</sup> kann ja ein mit Cacaowachs ganz bestrichenes Blatt, wenn es in freier Luft beleuchtet wird, keine oder höchstens nur äusserst wenig Stärke bilden. Wie wir aber im obigen Versuch XLIII gesehen haben, und wie es aus weiteren noch hervorgehen wird, genügt es ein stärkefreies, ganz mit Cacaowachs bestrichenes Blatt teilweise zu Verdunkeln, um im beleuchteten Teil Stärkebildung hervorzurufen. Ich teile hier zwei solche Versuche mit.

1) Stahl. Bot. Zeitung, 52, 1894, S. 130.

## VERSUCH XLIV.

*Aesculus Pavia* L.

20 Juni 1908. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet.

Versuchsdauer von 11<sup>15</sup> Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums) zwischen 16° und 20° C.

Das Blättchen war vollständig bestrichen mit Cacaowachs, das gut über die ganze Blattoberfläche verrieben worden war und so eine glatte Schicht bildete. Das Blättchen wurde ganz in einem schwarzen Papiersäckchen eingehüllt, in welchem ein rundes Loch von ungefähr 3 cm Durchmesser ausgeschnitten war. Weil das Papier fest an die Blattoberfläche angedrückt wurde, war nur die mit dem Loch korrespondierende Stelle beleuchtet.

Es wurde das Blättchen, mit dem Stiel in Wasser, unter eine Glasglocke in gewöhnlicher Luft gestellt. Die Glasglocke wurde benutzt um das Blättchen gegen den Wind zu schützen.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch ganz frisch und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *In der äussersten Peripherie* der beleuchteten Stelle ein sehr *schmales Stärkeründchen*. Übrigens nichts.

## VERSUCH XLV.

*Juglans regia* L.

22 Juni 1908. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet.

Versuchsdauer von 12 Uhr m bis 6<sup>45</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums) zwischen 19° und 26° C.

Von dem Blättchen wurde nur die eine Längshälfte

beiderseits mit Cacaowachs bestrichen und dieses gut verrieben. Quer um die Blattscheibe wurden an zwei Stellen doppelt gefaltete Stanniolstreifchen gelegt und festgedrückt, so dass jedes Streifchen einen Blattteil beiderseits verdunkelte. Die Breite der Streifchen war  $2\frac{1}{2}$  cm und  $2\frac{1}{2}$  mm; sie schlossen durch das Cacaowachs fest an die Blattoberfläche.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch völlig normal und wurde der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der bestrichenen Blatthälfte *längs den Rändern der Stanniolstreifchen* sehr schwarze, *schmale Stärkerändchen* gebildet, auf der vom Stanniol abgekehrten Seite sägeartig begrenzt durch die kleinen Nervchen. Stärkerändchen beim breitesten Stanniolstreifchen *1 mm breit*, beim schmalen Stanniolstreifchen aber nur  $\frac{1}{4}$  mm breit. Übrigens im bestrichenen Teil nur eben eine schwache Färbung von gleichmässig verbreiteter Stärke zu sehen.

In der nicht bestrichenen Blatthälfte hatte sich viel Stärke gebildet, ausgenommen unter den Stanniolstreifen.

#### § 4.

Ein nicht uninteressantes Beispiel von Stärkebildung, nach dem Prinzip des vorhergehenden §, wird geliefert durch bunte Blätter. Es sind dazu solche Blätter nötig, die neben dem normalen grünen Gewebe auch vollkommen farblose, weisse Teile besitzen; zumal muss auch darauf geachtet werden, dass die farblosen 'Partien jedenfalls ein gut entwickeltes Parenchym haben, welches durch intramolekulare Atmung eine nicht allzu geringe Quantität Kohlensäure abgeben kann. Der farblose Teil kann keine Kohlensäure assimilieren; wenn nun die von demselben produzierte Kohlensäure durch Bestreichung der Oberhaut mit Cacaowachs am Entweichen durch die Stomata verhindert wird, so wird dieses Gas gezwungen, durch das

Blattgewebe nach dem grünen Teil zu diffundieren, wo es sogleich reduziert werden kann.

Wenn man solche bunte Blätter also nur mit Cacaowachs bestreicht und ganz, ohne partielle Verdunkelung, dem Lichte aussetzt, so kann man erwarten, dass in dem an der farblosen Partie grenzenden Rand des grünen Teils Stärke gebildet wird. Es bestätigte sich dies auch in einigen Versuchen, die ich hier anführen werde. Um ganz sicher zu sein, dass die Blätter nicht die geringste Quantität Kohlensäure von aussen her beziehen konnten, einer etwaigen ungenügenden Abschlüssung durch das Cacaowachs wegen, wurden sie unter eine kleine Glasglocke gestellt, die in einer flachen Schale stand und unten durch konzentrierte Kalilauge abgesperrt war. Die Blätter standen mit dem Stiel in einem Gefässchen mit Wasser.

#### VERSUCH XLVI.

##### *Cornus tartarica* Mill.

22 Juli 1908. Es wurden zwei stärkefreie Blätter verwendet, deren Ränder weiss, die mittleren Teile aber grün waren.

Versuchsdauer von 3 Uhr nm bis 7<sup>19</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums zwischen 16 $\frac{1}{4}$ ° und 22° C.

Die Blätter waren ganz mit Cacaowachs bestrichen und standen mit dem Stiel in einem Gefässchen mit Wasser, *unter einer Glasglocke, die unten durch Kalilauge abgesperrt war.*

Am Ende des Versuchs waren die Blätter noch ganz frisch, und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *Im Rand der grünen Blattpartie, an der Grenze des farblosen Teils, etwas Stärke gebildet, aber nur sehr wenig.*

Derselbe Versuch wurde zu gleicher Zeit angestellt mit zwei Blättern von *Elaeagnus Frederici*. Der Rand dieser Blätter war grün, während der mittlere Teil gelblich, fast weiss war.

Am Ende des Versuchs waren auch diese Blätter ganz normal und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *Im Rande des grünen Teils*, an der Grenze der mittleren weissen Partie, deutlich *etwas Stärke* gebildet; dadurch trat diese Grenze wieder sehr scharf hervor, nachdem sie beim Entfarben des Blattes *vor* der Jodreaktion fast unsichtbar geworden war.

Ein weit schönerer Erfolg als im vorigen Versuch wurde aber erreicht mit Blättern von einem bunten *Pelargonium*.

#### VERSUCH XLVII.

*Pelargonium zonale* L'Hérit. (Mad. Salleroi).

11 August 1908. Es wurden drei stärkefreie Blätter verwendet. Diese Blätter waren in der Mitte grün, der Rand aber weiss in einer Breite von  $\frac{1}{4}$  bis 1 cm.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung (Perron Nordseite des Laboratoriums) zwischen 16° und 18° C.

Zwei Blätter wurden ganz mit einer ziemlich dicken Schicht von Cacaowachs bestrichen und, mit dem Stiel in Wasser, *unter eine durch konzentrierte Kalilauge abgesperrte Glasglocke* gestellt. Das dritte Blatt wurde aber nicht bestrichen und nur zur Kontrolle in die freie Luft gesetzt, mit dem Stiel in Wasser.

Am Ende des Versuchs waren die Blätter noch ganz frisch, und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Das eine der zwei bestrichenen Blätter hatte nur Spuren von Stärke im Rande der grünen Partie ge-

bildet. Das andere bestrichene Blatt aber zeigte ein *schöne Stärkereaktion*, hauptsächlich in der einen Blatthälfte, wo auch der weisse Rand am breitesten war. Die Stärke befand sich *nur im Rand des grünen Teils*, an der Grenze des weissen Blattrandes. An gewissen Stellen war die Stärke, nach der Mitte des Blattes zu, *scharf begrenzt durch grössere Nerven*.

Das nicht mit Cacaowachs bestrichene Blatt, an der freien Luft, hatte in seinem ganzen grünen Teil sehr viel Stärke gebildet.

Es wurde in den Rändern der grünen Blattteile in diesen Versuchen zwar nur wenig Stärke gebildet, aber doch sehr deutlich. Dass es wenig war, konnte auch nicht wundern, weil es von vornherein sehr wahrscheinlich ist, dass in den wenig aktiven, farblosen Geweben mit ihrem armen Inhalt, auch die Atmung wenig ausgiebig ist, und also nur wenig Kohlensäure produziert wird.

Es stimmt dies auch ganz mit einem Versuch mit einem weissgefleckten Blatt von *Richardia albomaculata*. Die weissen Flecken dieses Blattes sind sehr dünn und bestehen aus einem sehr inhaltsarmem Gewebe. Durch Bestreichung dieses Blattes mit Cacaowachs konnte es denn auch nicht zur Stärkebildung ringsum die weisse Flecken kommen, obwohl es sich als ein „*Stärkeblatt*“ erwies, im Gegensatz zu den Blättern der verwandten Gattung *Arum*, welche bekanntlich „*Zuckerblätter*“<sup>1)</sup> sind.

---

1) Stahl. Jahrb. für Wissenschaftliche Botanik, Bd. 34, 1900, p. 560.

## V. KAPITEL.

### Erklärung der Versuchsergebnisse.

---

#### § 1.

Wie wir in den Kapiteln II und III gesehen haben, war die Kohlensäure, die sich in der Blattspitze durch das Auftreten von Stärkebildung zeigte, nur hergekommen aus einem Gebiet, das unmittelbar an der Spitze grenzte; eine Strecke von der Breite der unter dem Quecksilber getauchten Blattzone, — ungefähr 3 cm — war schon ein solches Hindernis für die Diffusion der Kohlensäure, welche der Basis dargeboten war, dass ein Transport bis in die Blattspitze nicht mehr wahrgenommen werden konnte.

Die Ursache einer so schwierigen Diffusion liegt bei vielen Blättern nahe. Sie dringt sich gleich auf, wenn wir die Stärkerändchen in den Spitzen beobachten, zum Beispiel bei *Dahlia* (Versuch I, XXVI, cf. *Figur 3, Tafel V*) bei *Aesculus Hippocastanum* (Versuch VIII), bei *Aesculus Pavia* (Versuch IX, cf. *Figur 4, Tafel V*), bei *Acer campestre* (Versuch XI). Man sieht dann gleich, dass es die Nerven waren, die hier den weiteren Kohlensäuretransport verhinderten.

Im *Dahlia*blatt z. B. war es sehr auffallend, dass die Kohlensäure an denjenigen Stellen am weitesten vorgegangen war, wo zufälligerweise keine grössere Nerven ihren Weg kreuzten. Wo sich aber gleich oberhalb des

Quecksilbers grössere Quernerven befanden, wurde die Kohlensäure sogleich durch dieselben aufgehalten. Die Stärke hatte sich an solchen Stellen nur bis diese Nerven ausgebreitet, und hörte dann plötzlich auf.

Weil bei *Dahlia* die grösseren Quernerven ziemlich weit voneinander entfernt sind, ist es also wohl begreiflich, dass die Stärkerändchen an mehreren Stellen ziemlich breit werden konnten. Sehr verschieden von diesem Beispiel verhalten sich die Blätter von *Aesculus* und *Acer*. Hier finden sich im Blattparenchym sehr zahlreiche Nervenverzweigungen, die fast die ganze Blattdicke einnehmen, und in Übereinstimmung hiermit bildeten sich auch nur sehr schmale Stärkerändchen in den Blattspitzen.

Wenn also auch im gewöhnlichen Assimilationsparenchym, das meist ziemlich reich an Interzellularräumen ist, durch diese Interzellulare hindurch ein Kohlensäuretransport möglich ist, so wird die Kohlensäure jedoch aufgehalten durch Nerven, die ungefähr die ganze Blattdicke einnehmen.

Wenn die Entfernung, bis zu welcher Kohlensäuretransport möglich ist, von der relativen Lage der grösseren Quernerven abhängig erscheint, so könnte man in den gerad-, wie in den krummnervigen Blättern einen weiteren Transport erwarten. Wenn wir aber die Versuche mit *Acorus*, *Zea*, *Hordeum*, *Triticum* und *Tradescantia* ansehen, so bemerken wir, dass es bei diesen Blättern keinesfalls zutrifft. Die Ursache ergibt sich durch eine mikroskopische Untersuchung dieser Blätter. Die Hindernisse für den Kohlensäuretransport sind aber nicht in allen diesen Blättern dieselben; man kann hier wieder verschiedene Fälle unterscheiden.

Die Blätter der Gräser *Hordeum*, *Triticum* und *Zea Mays* verhalten sich in dieser Hinsicht ziemlich gleich. Die Quernervchen, die Anastomosen zwischen den geraden

Längsnerven, sind in diesen Blättern nur sehr unbedeutend; die Meristelen füllen bei weitem nicht die ganze Blattdicke aus, sondern an der Ober- und Unterseite liegt noch viel Parenchym. Diese Nervchen können also keine wichtige Rolle spielen bei der Hinderung des Gastransports. Fasst man aber die Interzellularräume ins Auge, so bemerkt man, dass dieselben in Querschnitten des Blattes nur sehr klein sind; ganz anders aber in Längsschnitten, wo sie sehr geräumig erscheinen. Während also in der Querrichtung in der Blattscheibe geräumige Gaswege vorhanden sind, sind sie dagegen in der Längsrichtung so unbedeutend, dass dies hier wohl die Hauptursache der beschränkten Gasdiffusion ist.

Auch was die Blätter von *Acorus* und *Tradescantia* betrifft, macht eine mikroskopische Untersuchung es verständlich, dass hier kein ausgiebiger Gastransport stattfinden kann. In den Querschnitten der *Acorus*blätter zeigen sich nur kleine Interzellularräume im assimilierenden Parenchym; zudem befinden sich die Nerven auch in diesem Gewebe und füllen dessen ganze Dicke aus. Nervenastomosen, die es hier auch gibt, erschweren noch den Gastransport. Das mittlere, farblose Blattparenchym enthält zwar sehr grosse und zahlreiche Interzellularräume die sich auch ziemlich weit in der Längsrichtung des Blattes ausdehnen, aber sie werden immer an den Enden abgeschlossen durch eine quere Zellschicht, ein Diaphragma ohne Interzellularräume.

*Tradescantia* hat zwar ein ganz schwammartiges Assimilationsparenchym, aber die Nervenastomosen sind ziemlich zahlreich und lassen an der Ober-, sowie an der Unterseite nur wenig Interzellularen führendes Parenchym übrig. Diese Anastomosen sind auch hier stark genug einem Gastransport grosse Schwierigkeiten in den Weg zu stellen.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich leicht, dass man in der Natur nicht viele Blätter finden wird, die einen ausgiebigen Kohlensäuretransport gestatten werden. In den meisten Blättern sind die Interzellularräume ziemlich klein; und wenn man auch Beispiele grösserer Lufträume finden kann, so werden diese doch häufig in der Quere abgebrochen durch Nervenastomosen, oder durch geschlossene Parenchymdiaphragmen.

Nur in denjenigen Fällen kann man einen bedeutenden Gastransport erwarten, wo geräumige Interzellularen sich weit in der Längsrichtung des Blattes fortsetzen, wo also auch keine störende Quernerven oder Diaphragmen vorkommen. Es finden sich diese Bedingungen schon mehr oder weniger verwirklicht im Blatte von *Eucomis punctata*. Hier ist das ganze Blattparenchym schwammartig mit ziemlich grossen Interzellularräumen, die nach allen Richtungen miteinander in Verbindung stehen. Das Blatt ist geradnervig; die Gefässbündel der Nerven nehmen aber nur wenig Raum ein, meist nicht mehr als etwa den  $\frac{1}{4}$  Teil der ganzen Blattdicke; die spärlichen Nervenastomosen sind noch unbedeutender und bestehen nur aus 1 bis 3 Spiralgefässen, vielleicht begleitet von 1 oder 2 Siebgefässen. Weiter ist alles Parenchym bis an die Epidermis.

Noch weit bessere Gastransportwege finden sich aber in den Blättern von *Eichhornia* und *Pontederia*. Im Schwammparenchym dieser krummnervigen Blätter nämlich, zwischen je zwei Nerven, gibt es von der Basis bis in die Spitze eine ununterbrochene Reihe sehr grosser Lufträume. Sie sind so gross, dass sie bei *Eichhornia* fast die Hälfte, bei *Pontederia* ungefähr ein Drittel der ganzen Blattdicke einnehmen. In jeder Reihe sind sie voneinander getrennt durch zu den Nerven senkrechte, nur eine Zelle dicke Gewebepplatten oder Diaphragmen, welche aber sehr reich sind an weiten Interzellularen.

Hierdurch erhalten die grossen Lufträume eine so vorzügliche Kommunikation, dass man wohl von einem einzigen, sich von der Basis bis in die Spitze fortsetzendem Luftraum zwischen je zwei Nerven reden kann. Es giebt in diesen Blättern zwar auch Nervenastomosen; es sind dieselben aber nur sehr winzig und zudem verlaufen sie nur im oberen und im unteren Teil der grossen Lufträume; sie unterbrechen also gar nicht die Lufträume, welche sich ungehindert zwischen denselben fortsetzen.

In der Tat lehren die Versuche, die ich im folgenden mitteilen werde, dass in diesen Blättern eine weitere Gasdiffusion leicht stattfinden kann.

An erster Stelle werde ich Versuche mit *Pontederia* und *Eichornia* beschreiben, welche vollkommen in derselben Weise ausgeführt worden sind wie die im Kapitel III § 2 beschriebenen. (Vergl. Versuch XXIV bis XXVIII). Es wird sich dabei herausstellen, dass die beiden letztgenannten Blätter sich anders verhalten wie die früher besprochenen.

#### VERSUCH XLVIII.

##### *Pontederia montevidensis.*

15 Juli 1908. Es wurden zwei fast gleiche, stärkefreie Blätter verwendet in den zwei Apparaten mit Lüftung, auf dem Perron; auf dem Quecksilber befand sich eine Wasserschicht. Jedes Blatt war mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen das äusserste Spitzchen und der über der Wasserschicht auf dem Quecksilber emporragende Teil der Basis. Die Bases waren grösstenteils bis an das Quecksilber verdunkelt. Die Spitzen befanden sich in den kohlenensäure freien Räumen unter den kleinen Glocken.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 14° und 20° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken fortwährend gleich und etwa 3° über der Temperatur der Umgebung.

Die Basis des Blattes im Apparat *No 1* war in Luft mit 2% Kohlensäure; im Apparat *No 2* in gewöhnlicher Luft.

Am Ende der Versuchs war durch jede kleine Glocke gut 3¼ L kohlensäurefreie Luft durchgesaugt.

Die Blätter waren noch frisch und wurden der Stärke-reaktion unterworfen.

RESULTAT. *No 1*. In der Spitze des Blattes, unmittelbar am Quecksilber, ein *dunkler Stärkerand*, 3 mm breit und weiter sich allmählich verwischend bis eine Breite von 6 mm. Weiter konnte in der ganzen Spitze noch eine sehr geringe Quantität gleichmässig verbreitete Stärke wahrgenommen werden. Im beleuchteten Teil der Basis sehr viel Stärke.

*No 2*. In der Spitze des Blattes, unmittelbar am Quecksilber, ein viel *weniger dunkler Stärkerand*, nur 2 mm breit und sehr rasch sich verwischend. Weiter in der ganzen Spitze, wie in *No 1*, eine Andeutung von Stärke. In der Basis viel weniger Stärke als in *No 1*.

#### VERSUCH XLIX.

##### *Eichhornia speciosa* Kunth.

7 Juli 1908. Es wurden zwei nahezu gleiche, stärkefreie Blätter verwendet in den beiden Apparaten mit Lüftung, auf dem Perron. Die Versuchsanstellung war ganz dieselbe wie im vorhergehenden Versuch, ebenso wie die Behandlung der Blätter.

Versuchsdauer von 10 Uhr vm bis 4<sup>u</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 17° und 20° C.

Temperatur in den kleinen Glocken *No 1* und *No 2* um 12 Uhr m  $25^{\circ}$  bzw.  $26^{\circ}$ ; um 4 Uhr nm  $26\frac{1}{4}^{\circ}$  bzw.  $27^{\circ}$ .

Temperatur in der grossen Glocke *No 2* um 12 Uhr m  $20\frac{1}{4}^{\circ}$  und um 4 Uhr nm  $24^{\circ}$  C.

Die Basis des Blattes im Apparat *No 1* in Luft mit 2% Kohlensäure, im Apparat *No 2* die Basis in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke 4 L kohlenstofffreie Luft durchgesaugt. Die Blätter waren noch frisch und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *No 1*. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *tiefschwarzer Stärkerand*, etwa 1 cm breit und weiter sich ziemlich schnell verwischend. Weiter in der Spitze gar keine Stärke. Im beleuchteten Teil der Basis sehr viel Stärke. Tiefschwarz.

*No 2*. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *deutliches Stärkerändchen*, nur bis 2 mm breit; sich rasch verwischend. Weiter keine Stärke in der Spitze. Im beleuchteten Teil der Basis Stärke gebildet, aber viel weniger als in *No 1*.

In *Fig 5*, *Tafel VI* sehen wir die Photographien dieser beiden Versuchsblätter nach der Stärkereaktion, *a* ist das Blatt aus dem Apparat *No 2*; *b* ist das Blatt aus dem Apparat *No 1*. Von *d* bis *e*, bzw. von *d'* bis *e'* waren die Blätter unter dem Quecksilber getaucht; die Bases waren von *c* bis *d*, bzw. von *c'* bis *d'* verdunkelt. Bei *e*, bzw. *e'* befinden sich die Stärkeränder, welche sich im kohlenstofffreien Raum bildeten. Auch bei *d*, bzw. *d'* sehen wir stellenweise Stärke, wo die Bases unvollständig vom schwarzen Papier bedeckt gewesen waren. Im Blatt *b* auch in der unter Quecksilber getauchten Zone hie und da etwas Stärke, wo der Glockenrand das Blatt berührt hatte. Von *c* bzw. *c'* bis zu den Blattstielen viel Stärke.

In den beiden letzteren Experimenten zeigte sich ein

*grosser Unterschied* der Stärkemengen in den Spitzen jedes Blattpaares; in der Spitze desjenigen Blattes, dessen Basis sich in kohlensäurereicher Atmosphäre befand, bildete sich die meiste Stärke. Der Unterschied war zu gross, um an eine individuell verschiedene Assimilationsfähigkeit der Blätter denken zu können. Um aber sicher zu gehen, habe ich diese mögliche Fehlerquelle auch noch ausgeschaltet, indem in den folgenden Versuchen die beiden Längshälften eines einzigen Blattes, statt zwei verschiedener Blätter, mit einander verglichen wurden. So wurde der Beweis geliefert, dass die Unterschiede in den Blattspitzen bloss eine Folge waren des verschiedenen Kohlendruckes in den Bases. Es musste also in diesen Blättern ein Kohlendioxidtransport von der Basis her stattgefunden haben.

#### VERSUCH L.

##### *Eichhornia speciosa* Kunth.

16 Juli 1908. Es wurden die beiden Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blattes verwendet, in den beiden Apparaten mit Lüftung, auf dem Perron, wie im vorigen Versuch. Jede Blatthälfte war mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen die äusserste Spitze und der über dem Wasser emporragende Teil der Basis. Der grösste Teil der Basis war auch, bis an das Quecksilber, verdunkelt. Beide Spitzen befanden sich in den kohlensäurefreien Räumen.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 4 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 15° und 17° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken um 2 Uhr nm 18½° C.

Die Basis der Blatthälfte im Apparat *No 1* in Luft mit 2% Kohlensäure; die Basis im Apparat *No 2* in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke gut  $1\frac{1}{2}$  L kohlensäurefreie Luft durchgesaugt.

Die Blatthälften waren noch normal und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *No 1.* In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *bis  $1\frac{1}{2}$  cm breiter Stärkerand*, weiter sich schnell verwischend; die Stärke befand sich nur zwischen den Nerven. Weiter in der Spitze nichts. Im beleuchteten Teil der Basis sehr viel Stärke.

*No 2.* In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *nur gut 1 mm breites Stärkerändchen*, rasch verwischend. Weiter in der Spitze keine Stärke.

Im beleuchteten Teil der Basis wenig Stärke, von demselben Ton wie das Rändchen in der Spitze.

Dasselbe Resultat bekam ich auch im folgenden Versuch.

#### VERSUCH LI.

##### *Eucomis punctata* L'Hérit.

29 Juli 1908. Es wurden auch hier die beiden Längshälften eines einzigen, stärkefreien Blattes verwendet in den beiden Apparaten mit Lüftung, auf dem Perron wie im vorhergehenden Versuch. Jede Hälfte war mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen der über dem Wasser emporragende Teil der Basis. Die Basis grösstenteils verdunkelt, bis an das Quecksilber. Die Spitzen befanden sich in den kohlensäurefreien Räumen.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 7<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 17° und 23° C.

Temperatur in den beiden kleinen Glocken gleich: um 12 Uhr m 28°, um 2 Uhr nm 30° und um 7<sup>30</sup> Uhr nm 20° C.

Die Basis der Blatthälfte im Apparat *No 1* in Luft mit 2% Kohlensäure; die Basis im Apparat *No 2* in gewöhnlicher Luft.

Am Ende des Versuchs war durch jede kleine Glocke  $2\frac{1}{4}$  L kohlensäurefreie Luft durchgesaugt. Beide Blatthälften waren noch frisch und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. *No 1*. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein schwarzer Stärkerand, bis 1 cm breit, nicht scharf begrenzt. Weiter in der Spitze ein schwacher Stärketon. Im beleuchteten Teil der Basis sehr viel Stärke.

*No 2*. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein schwarzes Stärkerändchen, nur bis 3 mm breit, nicht scharf begrenzt, schnell sich verwischend. Weiter in der Spitze auch ein schwacher Stärketon. In der Basis viel Stärke, nur etwas weniger als in *No 1*.

Von den Pflanzen, die einen Kohlensäuretransport über weitere Distanzen zulassen, hat sich *Eichhornia* als die geeignetste erwiesen. Es stimmt dies auch völlig mit der Struktur dieses Blattes überein, wie schon oben erwähnt worden ist.

Mit dem *Eichhorniablatt* lässt sich nun auch leicht zeigen, wie nötig es war, in den zuletzt besprochenen Versuchen, sowie in den im Kapitel III § 2 und § 3 mitgeteilten, einen Teil der Blattbasis zu verdunkeln. Ein Versuch mit *Eichhornia* lehrte, dass der Einfluss des höheren Kohlensäuredrucks an der Basis leicht übersehen werden kann, wenn die ganze Basis beleuchtet wird; in diesem Falle wird schon in der Basis viel Kohlensäure festgehalten, so dass in der Spitze viel weniger Stärke gebildet wird, als bei einer ungehinderten Kohlensäurediffusion möglich gewesen wäre. Der betreffende Versuch wurde in der folgenden Weise ausgeführt.

## VERSUCH LII.

*Eichhornia speciosa* Kunth.

31 Juli 1908. Es wurden die beiden Längshälften eines einzigen Blattes verwendet in *einem* Apparat mit Lüftung, auf dem Perron. Jede Hälfte war mit Cacaowachs bestrichen, ausgenommen der über dem Wasser emporragende Teil der Basis. Die Spitzen befanden sich nebeneinander in demselben kohlenstofffreien Raum der kleinen Glocke. Die Bases beider Blatthälften nebeneinander in Luft mit 2% Kohlensäure.

Die Blatthälfte *a* *grösstenteils verdunkelt*, bis an das Quecksilber.

Die Blatthälfte *b* aber *gar nicht verdunkelt*; ohne schwarzem Papier.

Versuchsdauer von 12 Uhr m bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 20° C.

Temperatur in der kleinen Glocke um 2<sup>15</sup> Uhr nm 28° C, um 4<sup>15</sup> Uhr nm 26° C.

Am Ende des Versuchs war 3½ L kohlenstofffreie Luft durch die kleine Glocke durchgesaugt.

Die Blatthälften waren noch frisch und wurden der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Blatthälfte *a*. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *schwarzer Stärkerand*, dessen Breite von der Mitte des Blattes nach dem Rande zu von 8 mm bis zu 5 mm abnahm. Nicht scharf begrenzt. Weiter in der Spitze keine Stärke.

Blatthälfte *b*. In der Spitze, unmittelbar am Quecksilber, ein *schwarzer Stärkerand*, aber *schmäler*; die Breite dieses Randes von der Mitte des Blattes nach dem Rande von 5 mm bis zu 2 mm abnehmend. Nicht scharf begrenzt. Weiter in der Spitze keine Stärke.

In den beleuchteten Teilen der Bases der beiden Blatthälften gleichviel Stärke; tiefschwarze Farbe.

## § 2.

Wenn wir die Ergebnisse der bis jetzt beschriebenen Versuche zusammenfassen, so sehen wir, dass in allen untersuchten Blättern ein Kohlensäuretransport möglich war; in den meisten Fällen aber nur über eine sehr kleine Distanz. Dieser Transport geschah aber nur unter sehr besonderen Bedingungen, die in der Natur niemals verwirklicht sind. Die Schlussfolgerungen Molls, aus seinen oben erörterten Untersuchungen, dass nämlich in der Natur ein bestimmter Pflanzenteil keine Kohlensäure verwenden kann, die einem anderen Teil zur Verfügung steht, werden also gar nicht durch meine Untersuchung angegriffen. Nur beim ersten Anblick könnte es scheinen, als ob meine Untersuchungen mit den Ergebnissen Molls im Streit wären.

Wenn wir aber näher zusehen, wird es sich ergeben, dass die Sache sich ganz anders verhält. Es wird sich dann ja herausstellen, dass meine Versuche gerade eine Erklärung geben können der Resultate Molls. Es wird dabei klargelegt werden, wie es kommt, dass im kohlenstofffreien Raum des Mollschen Apparats keine Stärke gebildet wurde.

Bevor ich aber näher auf diese Erklärung eingehe, erscheint es mir wünschenswert, erst einige Versuche mitzuteilen, die ich selbst mit dem *Apparat nach Moll* angestellt habe. Auch hier wurden die Blätter nach dem Versuch in toto der Stärkereaktion mittels Jodchloralhydrat unterworfen, wodurch es mir also möglich war, unmittelbar die Lokalisierung der Stärke zu beobachten. Ich konnte auf diese Weise nicht nur feststellen, ob überhaupt noch

Stärke im kohlenstofffreien Raum gebildet worden war, sondern auch, bis *wie weit* die Stärkebildung stattgefunden hatte.

An erster Stelle werde ich zwei Versuche beschreiben, die mit Blättern ausgeführt worden sind, welche auch von Moll benutzt wurden.

#### VERSUCH LIII.

##### *Polygonum Bistorta L.*

6 August 1908. Es wurde ein stärkefreies Blatt verwendet.

Die Basis des Blattes in Luft mit 5% Kohlensäure; die Spitze im kohlenstofffreien Raum.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Der Apparat stand im Freien auf dem Perron an der Nordseite des Laboratoriums, gegen direkten Sonnenschein geschützt.

Temperatur der Umgebung zwischen 19° und 25° C.

Am Ende des Versuchs das Blatt noch ganz normal. Es wurde der Stärkereaktion unterworfen, nachdem durch kleine Einschnidungen derjenige Blattteil markiert worden war, welcher zwischen den Glaswänden der beiden Kristallisierschalen eingeklemmt gewesen war.

RESULTAT. In der Basis viel Stärke; die schwarze Farbe hörte aber plötzlich auf bei der Aussenseite der Kristallisierschalen, und war dort scharf durch Nerven begrenzt.

Zwischen den Rändern der Schalen noch ein schwacher Ton von Stärke, überall durch Nerven begrenzt. *In der Spitze, im kohlenstofffreien Raum gar keine Stärke.*

## VERSUCH LIV.

*Cucurbita Pepo* L.

11 August 1908. Es wurde ein Teil eines stärkefreien Blattes verwendet. Die Basis in Luft mit 5% Kohlensäure, die Spitze im kohlenstofffreien Raum.

Versuchsdauer von 10<sup>15</sup> Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Der Versuch fand statt im Freien, an der Nordseite des Laboratoriums. Direkter Sonnenschein wurde abgeschirmt. Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 18° C.

Am Ende des Versuchs das Blatt noch frisch. Es wurde der Stärkereaktion unterworfen, nachdem durch Einschneldungen derjenige Blattteil markiert worden war, der zwischen den Rändern der Schalen geklemmt gewesen war.

RESULTAT. Basis mit viel Stärke, die *plötzlich zwischen den Rändern der Kristallisierschalen aufhörte*, scharf begrenzt durch Nerven.

Von dort an im *kohlenstofffreien Raum keine Stärke*.

*Figur 6, Tafel VI* gibt eine Photographie dieses Blattes, nach der Stärkereaktion. Die Blattzone zwischen den beiden Kreisbogen bei *r* ist zwischen den Schalenrändern geklemmt gewesen. In dieser Zone hört die Stärke auf.

In diesen Versuchen bekam ich also dieselben Resultate, wie von Moll mitgeteilt worden sind, insoweit als im kohlenstofffreien Raum keine Stärke gebildet wurde. Durch die makroskopische Jodchloralhydratreaktion zeigte es sich aber, dass *zwischen den Schalenrändern* wohl noch Stärkebildung stattgefunden hatte, also in einem Gebiet, wo keine Kohlensäure durch die Stomata hineintreten konnte. Hier konnte die Kohlensäure nur von der Basis her hineindringen.

Dass die Kohlensäure in diesen Blättern nicht weiter diffundierte bis in die Spitze im kohlenstofffreien Raum,

war eine Folge von der Kleinheit der sogenannten „Parenchyminseln.“ Diese Parenchyminseln, von Nerven eingeschlossene Parenchymbezirke, erreichen bei *Polygonum Bistorta* und *Cucurbita Pepo* nicht den Durchmesser von 3 mm. Weil nun die Wände der Kristallisierschalen 3 mm dick waren, wurde die Kohlensäure im Blattgewebe noch zwischen den Schalenrändern durch die Nerven aufgehalten.

Wie wir oben gesehen haben, entstand in meinen Versuchen, wo ein Teil des Blattes unter Quecksilber getaucht war, Stärke im kohlenstofffreien Raum aus Kohlensäure, welche durch einen anderen und zwar den verdunkelten Blattteil produziert wurde. Dies kann aber in den Versuchen mit dem Moll'schen Apparat natürlich nicht stattfinden; die Kohlensäure, welche in dem durch die Schalenränder abgeschlossenen Blattteil durch Atmung entwickelt wird, wird in diesem Teil sogleich zur Stelle wieder reduziert werden, weil das Licht hier durch die Glaswand Zutritt hat. Es kann also keine Anhäufung dieser Atmungskohlensäure in einem benachbarten Blattteil stattfinden und deshalb auch keine Stärkebildung.

In den Versuchen Moll's<sup>1)</sup> waren Blätter von *Cucurbita Pepo*, *Vitis vinifera*, *Cercis siliquastrum*, *Viola suava*, *Polygonum Bistorta* und *Trifolium pratense* verwendet, die alle nur kleine Parenchyminseln haben, und daher war in der Spitze dieser Blätter auch niemals Stärke entstanden.

Wenn man aber zu demselben Versuch ein Blatt verwendet mit weiter voneinander entfernten Nerven, also mit grösseren Parenchyminseln, so wird man auch einen Kohlensäuretransport sehen können bis in die Spitze, die sich im kohlenstofffreien Raum befindet.

Ein Beispiel eines solchen Blattes wird geliefert durch *Dahlia*, dessen Verhalten schon in der Einleitung S. 101 an-

1) Moll, l. c. p. 345.

gedeutet wurde. Eine Beschreibung des betreffenden Versuchs werde ich hier folgen lassen.

#### VERSUCH LV.

##### *Dahlia (Cactus) Thuringia.*

1 August 1908. Es wurde ein stärkefreies Blättchen verwendet, im Apparat Molls. Die Basis des Blättchens in Luft mit 5% Kohlensäure; die Spitze im kohlenäurefreien Raum.

Versuchsdauer von 10<sup>30</sup> Uhr vm bis 2<sup>40</sup> Uhr nm.

Der Apparat stand im Freien, an der Nordseite des Laboratoriums, gegen direkte Insolation geschützt.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 18° C.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch ganz frisch. Nachdem die zwischen den Schalenrändern eingeklemmte Blattzone durch Einschnidungen markiert worden war, wurde das Blättchen der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Basis ausserordentlich viel Stärke gebildet Kohlenschwarz. Zwischen den Schalenrändern, wo das Blatt eingeklemmt gewesen war, auch viel Stärke, aber der Ton doch etwas heller.

*In der Spitze, im kohlenäurefreien Raum, sprang die Stärke, von der Schalenwand ab, mit Zacken hervor.* Diese Zacken durch Nerven begrenzt; wo sich keine grössere Nerven in kurzer Entfernung von der Schalenwand vorfanden, hörte die Stärke auch wohl bald, aber doch allmählich ohne scharfe Grenze, auf. Weiter in der Spitze keine Stärke.

*Figur 7, Tafel VI* gibt eine Photographie dieses Blättchens, nach der Stärkereaktion. Die Blattzone zwischen den beiden Kreisbogen bei *r* ist zwischen den Schalen-

rändern geklemmt gewesen. Links von der Mittelrippe hat sich Stärke im kohlenstofffreien Raum gebildet. Die Kreisbogen sind ein wenig zu weit nach der Spitze zu gezeichnet: die Stärkezacken rechts von der Mittelrippe reichten noch eben in den kohlenstofffreien Schalenraum.

Nach den im § 1 dieses Kapitels gewonnenen Erfahrungen müssen die Blätter von *Eichhornia* und *Pontederia* noch viel mehr in die Augen fallende Resultate geben. Zur Kontrolle habe ich darum den Mollschen Versuch auch wiederholt mit einem Blatt von *Pontederia cordata*, welches seiner Struktur nach ebenso leicht wie *Pontederia montevidensis* einen ausgiebigen Kohlenstofftransport gestatten kann.

#### VERSUCH LVI.

##### *Pontederia cordata* L.

1 August 1908. Es wurde ein stärkefreies Blatt verwendet. Die Basis in Luft mit 5% Kohlenstoff; die Spitze im kohlenstofffreien Raum.

Versuchsdauer von 3<sup>15</sup> Uhr nm bis 7<sup>30</sup> Uhr nm.

Der Apparat stand im Freien, an der Nordseite des Laboratoriums, gegen direkte Insolation geschützt.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 20° C.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch ganz normal. Die zwischen den Schalenrändern eingeklemmte Blattzone wurde durch Einschnidungen markiert und nachher das Blatt der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. In der Basis ziemlich viel Stärke. Auch zwischen den Schalenrändern und noch *gut*  $\frac{1}{2}$  cm in den Schalenraum hinein ebensoviel Stärke gebildet. Von da an

hörte die Stärke aber rasch auf, ohne scharfe Grenze. Weiter in der Spitze hatte sich gar keine Stärke gebildet.

Das Resultat dieses letzten Versuchs stimmt also gut mit meinen früheren Befunden bei *Pontederia*- und *Eichhornia*-blättern überein.

Vielleicht wird es wundern, dass in diesem Versuch der Kohlensäuretransport sich über eine so grosse Strecke bemerkbar machte, und dass die Kohlensäure nicht sogleich durch die Spaltöffnungen der Spitze hinausdiffundierte, weil das Blatt doch nicht mit Cacao-wachs bestrichen war. Die Ursache liegt aber im geschlossen sein der Spaltöffnungen der Spitze, wie ich in zwei dergleichen, in diesem Aufsatz zwar nicht beschriebenen Versuchen mit *Pontederia*-blättern früher schon wahrgenommen hatte. Mittels der Stahlschen Kobaltprobe erwiesen sich die Spaltöffnungen vor dem Versuch als geöffnet, während es sich nach dem Versuch ergab, dass sie geschlossen waren.

---

## VI. KAPITEL.

### Wie weit kann die Kohlensäure in Blättern transportiert werden?

---

Bis jetzt wurde nur die Frage besprochen, ob ein Kohlensäuretransport überhaupt in den Blättern möglich war, und es lehrten die Versuche, dass derselbe in allen Blättern stattfinden kann. Über die Weite dieses Transports haben wir aber noch nichts weiteres erfahren als dass in den meisten Blättern die Kohlensäure nicht über eine Strecke von etwa 3 cm transportiert werden kann. Nur in drei Blättern konnte ein weiterer Transport konstatiert werden.

Es würde aber gewiss von Interesse sein, etwas genauere Angaben zu bekommen über die maximale Transportstrecke bei verschiedenen Blättern. Ich habe nun zwar nicht viele Versuche direkt zu diesem Zwecke angestellt, aber auch schon aus den oben mitgeteilten Versuchen lässt sich wohl einiges ableiten.

Von vornherein kann man in dieser Hinsicht Unterschiede erwarten bei den verschiedenen Blättern. Es ist dies leicht aus den vorigen Kapiteln abzuleiten. Wir haben dort schon gesehen, dass in den beleuchteten Blattspitzen die Stärkerändchen, ihrer Form nach, sehr von der Nervatur beeinflusst waren. In gewissen Blättern waren die Stärkerändchen immer nur sehr schmal, und über ihre ganze Länge scharf von Nervchen begrenzt. Es war deutlich, dass hier die Nerven ein unüberwindliches Hindernis gegen das weitere Vordringen des Kohlensäuregases gebil-

det hatten. In diesen Fällen muss also auch im verdunkelten Blattteil der Transport sehr beschränkt sein.

Das extreme Gegenteil bieten die Blätter von *Eichhornia* und *Pontederia*, deren Struktur gar keine Hindernisse für eine Gasdiffusion bietet. Bei diesen Blättern weist der ganze Bau darauf hin, dass ein *sehr* weiter Transport, gewiss viel weiter als die Blattlänge, unter günstigen Bedingungen möglich sein könnte.

Zwischen diesen beiden extremen Fällen finden wir die geradnervigen Blätter, wie die von *Hordeum*, *Triticum*, *Acorus* u.a., deren Nerven kein unüberwindliches Hindernis für eine Gasdiffusion darstellen, wie aus der allmählichen Verwischung der Stärkerändchen hervorgeht, aber wo die Interzellulare so ausgebildet sind, dass der Gastransport sehr schwierig sein muss. Bei solchen Blättern können wir eigentlich ebensowenig wie bei den vorigen, einen bestimmten Wert der maximalen Transportdistanz erwarten; die Diffusion der Gase kann hier theoretisch über eine sehr grosse Strecke stattfinden, aber wird sich nur nach sehr langer Zeit bemerkbar machen können.

Diese schwierige Diffusion war auch die Ursache davon, dass in den Versuchen XXI, XXIV und XXVIII des Kapitels III (*Triticum*, *Acorus*, *Tradescantia*) die Stärkerändchen in den Blattspitzen jedes Blattpaares gleich stark waren, obwohl die Bases der Blätter sehr ungleiche Kohlensäuremengen zur Verfügung hatten. Die unter dem Quecksilber getauchte, 8 cm breite Blattzone war offenbar zu gross um während der Versuchszeit noch bemerkbare Quantitäten Kohlensäuregas durchzulassen.

Es stimmen diese Versuche gut überein mit auf die folgende, ganz andere Weise mit Blättern derselben Pflanzen angestellten. Es wurden stärkefreie Blätter ganz mit geschmolzenem Cacaowachs bestrichen und eingegeben. Dieses geschah in derselben Weise, wie früher

schon mitgeteilt. Jedes Blatt wurde dann mit schwarzen Papierstreifen, von verschiedener Breite und in einiger Entfernung voneinander, in der Quere beklebt, so dass dasselbe stellenweise verdunkelt war. Die Papierstreifen klebten durch das Cacaowachs an der Blattoberfläche fest. Die Blätter wurden nun, mit der Basis in einem Wasserbehälter, starkem diffusem Lichte ausgesetzt. Die Kohlensäure, welche nun in den verdunkelten Blattzonen produziert wurde, konnte, insofern sie so weit transportiert werden konnte, ausserhalb der Papierränder in den beleuchteten Blattteilen reduziert werden. An den schmalsten Papierstreifen, die nur 2 oder  $2\frac{1}{4}$  mm breit waren, wurde natürlich am wenigsten Stärke gebildet, weil hier auch nur sehr wenig Kohlensäure vorhanden war. Wo die verdunkelte Blattfläche aber breiter genommen war, wurde auch mehr Kohlensäure entwickelt und infolgedessen bildeten sich auch breitere Stärkerändchen längs den Papierrändern. Mit dem breiter werden der Kohlensäure liefernden Blattzone geht also eine Verbreiterung der Stärkerändchen an den Rändern dieser Zone zusammen. Dies wird aber, wie leicht einzusehen ist, nur solange der Fall sein, wie der Gasdiffusion unter den vorhandenen Versuchsbedingungen keine Hindernisse im Wege stehen. Denn, wenn in einem Blatt, durch irgendeine Ursache, nur Kohlensäuretransport über z. B. 3 cm stattfinden kann, so wird eine verdunkelte Stelle von 4 cm Breite nicht mehr Kohlensäure nach dem beleuchteten Teil senden können als eine Zone von 3 cm Breite. Weitere Vergrößerung der verdunkelten Zone oder künstliche Zufuhr von Kohlensäure hat dann also gar keinen Einfluss mehr auf die Breite der Stärkerändchen.

Mit drei geradnervigen Blättern habe ich solche Versuche ausgeführt; nämlich mit *Triticum*, *Acorus* und *Tradescantia*.

## VERSUCH LVII.

*Triticum vulgare* Vill.

29 Juli 1908. Es wurde ein stärkefreies, ganz mit Cacaowachs bestrichenes Blatt mit vier schwarzen Papierstreifen beklebt, deren Breite 5 cm,  $2\frac{1}{2}$  cm, 1 cm und 2 mm betrug. Dann wurde das Blatt, mit der Basis in einem Wasserbehälter tauchend, auf dem Perron an der Nordseite des Laboratoriums, durch einen Schirm gegen die Sonnenstrahlen geschützt, starkem, zerstreutem Lichte ausgesetzt.

Versuchsdauer von 10<sup>45</sup> Uhr vm bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 20° C.

Am Ende des Versuchs zeigte das Blatt nichts besonderes. Nachdem es in kaltem Wasser (vergl. S. 119) vom Cacaowachs gereinigt war, wurde es der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Nur ausserhalb der Papierstreifen Stärke gebildet in schmalen Rändchen auf beide Seiten jedes Streifens. Am Streifen v. 2 mm Breite: *nur eben Stärke sichtbar.*

"	"	"	1 cm	"	:	<i>Stärkerändchen</i>	$\frac{1}{2}$ mm	breit.
"	"	"	$2\frac{1}{2}$ "	"	:	"	1 "	"
"	"	"	5 "	"	:	"	$1\frac{1}{2}$ "	"

Alle Stärkerändchen verwischten sich an der vom Papierstreifen abgekehrten Seite.

## VERSUCH LVIII.

*Acorus Calamus* L.

8 Juli 1908. Es wurde ein stärkefreies Blatt ganz mit Cacaowachs bestrichen und mit drei schwarzen Papierstreifen beklebt, deren Breite  $2\frac{1}{2}$  cm, 1 cm und  $2\frac{1}{2}$  mm betrug. Dann wurde das Blatt, mit der Basis in einem Wasserbehälter tauchend, auf dem Perron an der Nordseite des Laboratoriums, durch einen Schirm gegen die Sonnenstrahlen geschützt, starkem, zerstreutem Lichte ausgesetzt.

Versuchsdauer von 11 Uhr vm bis 5 Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 15° und 16° C.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch ganz frisch. Nachdem es in kaltem Wasser vom Cacaowachs gereinigt war, wurde es der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Nur ausserhalb der Papierstreifen beiderseits Stärke gebildet.

Am Streifen von 2½ mm Breite: *nur sehr wenig Stärke*; nur eben sichtbar.

Am Streifen von 1 cm Breite: *etwas mehr Stärke*.

" " " 2½ " " : *Stärkerändchen am deutlichsten*, ½ mm breit.

#### VERSUCH LIX.

##### *Tradescantia virginiana* L.

29 Juni 1908. Es wurde ein stärkefreies Blatt ganz mit Cacaowachs bestrichen und mit drei schwarzen Papierstreifen beklebt, deren Breite 2½ cm, 1½ cm und 2½ mm betrug. Dann wurde das Blatt, mit der Basis in einem Wasserbehälter tauchend, im Gewächshaus des Laboratoriums, durch einen Schirm gegen die Sonnenstrahlen geschützt, starkem, zerstreutem Lichte ausgesetzt.

Versuchsdauer von 11<sup>30</sup> Uhr vm bis 4<sup>45</sup> Uhr nm.

Temperatur im Gewächshaus zwischen 17° und 20° C.

Am Ende des Versuchs war das Blatt noch ganz frisch. Nachdem es in kaltem Wasser vom Cacaowachs gereinigt war, wurde es der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. Nur ausserhalb der Papierstreifen beiderseits Stärke gebildet.

Am 2½ mm breiten Streifen die *Stärke nur eben sichtbar*. An den 1½ cm und 2½ cm breiten Streifen ungefähr *gleichviel* Stärke; die Rändchen 2 mm breit und nicht scharf begrenzt an den vom Papier abgekehrten Seiten.

Wenn wir nun diese Resultate vergleichen mit jenen der oben zitierten Versuchen XXI, XXIV und XXVIII des Kapitels III, so sehen wir, dass bei diesen Blättern in Zonen von weniger als 3 cm Breite noch soviel Kohlensäure gebildet werden kann, dass ausserhalb dieser Zone noch eine deutliche Stärkebildung stattfindet; dass aber, obgleich eine 3 cm breite Blattzone natürlich mehr Kohlensäure produziert, als eine schmalere, dennoch die Breite der Stärkerändchen am Rande einer solchen Zone nicht grösser ist, als bei einer etwas schmäleren Zone, offenbar weil der Transport unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht so weit stattfinden kann.

Weil bei *Triticum* und *Acorus* in den eben mitgetheilten Versuchen an den breitesten Streifen noch etwas mehr Stärke gebildet war, als an den schmäleren, können wir sagen, dass der Transport hier wenigstens ungefähr  $2\frac{1}{4}$  cm, bezw.  $1\frac{1}{4}$  cm betrug; nämlich die Hälfte der breitesten verdunkelten Zonen, weil die Kohlensäure nach beiden Rändern jeder Zone in gleicher Menge etwich.

Ich habe nach dieser Methode auch versucht, bei den Blättern mit netzartiger Nervatur, wie z. B. *Juglans regia*, *Aesculus Pavia* und *Tilia platyphyllos* die maximale Transportdistanz zu finden. Aber hier stösst man auf eine Schwierigkeit. Die Parenchyminseln, von den Nerven eingeschlossen, sind hier sehr klein. Wenn man nun schwarze Papierstreifen quer über das mit Cacaowachs bestrichene Blatt klebt, so sieht man schon an den möglichst schmalen, etwa 2 mm breiten Streifen ziemlich schwarze Stärkerändchen sich bilden, überall scharf von den kleinen Nervchen begrenzt. Auch bei breiteren Papierstreifen findet man noch dasselbe; die Stärkerändchen sind vielleicht etwas schwärzer geworden, sind aber noch ebenso breit und es lässt sich nicht gut beurteilen, ob die Stärke zugenommen hat.

Aus den Versuchen mit den Assimilationsapparaten in

den Kapiteln II und III können wir aber schliessen, dass der Kohlensäuretransport solcher Blätter jedenfalls nicht 3 cm erreichen kann (die Breite der unter Quecksilber getauchten Blattzonen), und aus der Struktur der meisten netzadrigen Blätter geht hervor, dass der Transport wohl nur auf jedem, durch Nervchen eingeschlossenen, Areal beschränkt ist. Durch Messung dieser Areale wird man also ungefähr die Weite eines möglichen Transports in diesen Blättern bestimmen können.

Die Blätter von *Dahlia* und *Sambucus* verhalten sich etwas anders wie die eben besprochenen fein netzadrigen. Zwar finden sich hier auch durch Nerven abgeschlossene Areale; es sind diese aber relativ sehr gross, denn aus der Begrenzung der Stärkerändchen in früher besprochenen Versuchen mit diesen Blättern ging hervor, dass nur die *grösseren* Nerven das Vordringen des Kohlensäuregases hindern. Dadurch wird es begreiflich, dass hier sehr deutlich eine Verbreiterung der Stärkerändchen beobachtet werden kann, wenn die Kohlensäure produzierenden Blattzonen, nach der in diesem Kapitel beschriebenen Methode, vergrössert werden. Aber doch kann die Grösse des Kohlensäure transportierenden Blattareals auch hier nicht durch diese Methode genau bestimmt werden, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht. Die grösste Menge Kohlensäure wird natürlich dann am Rand der verdunkelten Zone ins Licht gelangen, wenn ein möglichst grosser Teil eines Areals durch den schwarzen Papierstreifen bedeckt ist. Aber in diesem Fall kann der Stärkerand unmöglich breit werden, weil in der unmittelbaren Nähe des Randes des Papierstreifens die Kohlensäure durch einen Nerven aufgehalten wird.

Wenn aber ein grösserer Teil des Areals sich im Lichte befindet, und sich also kein Quernerv in der Nähe des Papierstreifenrandes befindet, so kann der Stärkerand ungehindert

viel breiter werden; tatsächlich sieht man auch, dass an solchen Stellen der Stärkerand seine grösste Breite erreicht. Aber dann ist der Kohlensäure produzierende Teil des Areals kleiner, es wird weniger Kohlensäure frei und dadurch wird also wieder die Breite des Stärkerandes beschränkt.

Obgleich man also auf diese Weise keine genauen Werte bestimmen kann, so lässt sich doch, auch mit Rücksicht auf die vorhergehenden Versuche, eine annähernde Angabe ableiten.

Ich werde von den in dieser Richtung gemachten Versuchen nur einen mit einem *Dahliablättchen* mitteilen, weil bei diesem die Resultate am deutlichsten sind.

#### VERSUCH LX.

##### *Dahlia (Cactus) Thuringia.*

8 Juli 1908. Es wurde ein stärkefreies Blättchen ganz mit Cacaowachs bestrichen und mit drei Stanniolstreifen beklebt, deren Breite 4 cm, 1 cm, und 2 mm betrug. Dann wurde das Blättchen, mit dem Stiel in einem Wasserbehälter tauchend, auf dem Perron an der Nordseite des Laboratoriums, durch einen Schirm gegen die Sonnenstrahlen geschützt, starkem, zerstreutem Lichte ausgesetzt.

Versuchsdauer von 12 Uhr m bis 4<sup>30</sup> Uhr nm.

Temperatur der Umgebung zwischen 16° und 20° C.

Am Ende des Versuchs war das Blättchen noch ganz frisch. Nachdem es in kaltem Wasser vom Cacaowachs gereinigt war, wurde es der Stärkereaktion unterworfen.

RESULTAT. An allen Stanniolstreifen Stärkerändchen gebildet.

Am Streifen von 2 mm Breite: *nur eben Stärke sichtbar.*

Am Streifen von 1 cm Breite: *schwarzes Stärkerändchen von 1 bis 1½ mm Breite.*

Am Streifen von 4 cm Breite: *schwarzer Stärkerand, stellenweise bis 3 mm breit.*

In der *Figur 2, Tafel V* sehen wir eine Photographie dieses Blättchens nach der Stärkereaktion. Von *a* bis *b*, *c* bis *d* und *e* bis *f* ist das Blättchen verdunkelt gewesen. Bei jedem dieser Buchstaben ist ein Stärkerändchen sichtbar. Übrigens ist im ganzen beleuchteten Teil das Blatt etwas dunkler gefärbt als unter den Stanniolstreifen; es war da überall eine Spur von Stärke gebildet.

Am breitesten Streifen war also die meiste Stärke gebildet. Es ist deshalb zweifellos, dass in diesem Blatte die Kohlensäure weiter transportiert werden kann als die Hälfte der Breite des nächst kleineren Stanniolstreifens, also *weiter als  $\frac{1}{2}$  cm.*

Aus den Versuchen mit *Dahliablättchen* im Assimilationsapparat, in den Kapiteln II und III, ging aber auch hervor, dass die Kohlensäure nicht durch die ganze, dort unter Quecksilber getauchte Blattzone transportiert werden konnte. Auch da, wo keine grösseren Nerven das Stärkerändchen begrenzten, und dieses Rändchen also, bei grösserer Kohlensäurezufuhr, wohl breiter hätte werden können, wurde es niemals breiter als 3 oder 4 mm; dieselbe Breite wurde erreicht am breitesten Stanniolstreifen des letzten Versuchs. Man kann also wohl sicher sagen, dass hier die maximale Transportdistanz *weniger als 3 cm* beträgt. Ein weiterer Transport wird unmöglich gemacht durch die grossen Nerven in der verdunkelten Blattzone.

---

#### ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE.

1. In einem Blatt, das keine Kohlensäure aus der Luft aufnehmen kann und teilweise verdunkelt wird, indem zugleich die Stomata des verdunkelten Teils geschlossen werden, kann die Kohlensäure, welche durch Atmung im verdunkelten Teil produziert wird, nach dem beleuchteten Blattteil diffundieren und dort am Rand der verdunkelten

Zone zur Stärkebildung Anlass geben. Dieser Transport der durch das Blatt selbst produzierten Kohlensäure konnte in allen untersuchten Blättern nachgewiesen werden. (Kapitel IV, § 1, 2, 4; Kapitel VI).

2. Bei *Triticum* betrug der Transport wenigstens  $2\frac{1}{4}$  cm. bei *Acorus* wenigstens  $1\frac{1}{4}$  cm, bei *Dahlia* wenigstens  $\frac{1}{4}$  cm. Bei *Juglans*, *Aesculus* und *Tilia* konnte der Betrag nicht gut bestimmt werden; es muss derselbe aber noch kleiner sein, nämlich etwa 2 oder 3 mm. (Kapitel VI).

3. Wenn die Blattspitze im kohlenstofffreien Raum, die Basis aber in kohlenstoffhaltiger Luft verweilt, während eine zwischen Basis und Spitze liegende, 3 cm breite Blattzone sich unter Quecksilber befindet, so bildet sich in der beleuchteten Spitze, unmittelbar am Quecksilber, immer ein Stärkerand. (Kapitel II; III; V, § 1).

In den meisten untersuchten Blättern ist die Breite des Stärkerandes unabhängig vom Kohlenstoffdruck in der Basis; die Breite ist ebenso gross, wenn der Basis keine Kohlensäure geboten wird, wie wenn der Basis Luft mit 2 bis  $2\frac{1}{2}$  % Kohlensäure zur Verfügung steht. (Kapitel III).

Nur in den Blättern von *Eichhornia*, *Pontederia* und *Eucomis* findet eine Verbreiterung des Stärkerandes in der Spitze statt, wenn der Basis Kohlensäure zugeführt wird. (Kapitel V, § 1).

4. Aus den unter 3 genannten Versuchen geht hervor, dass die Weite des Transports in einem gewissen Verhältnis steht zur anatomischen Struktur des Blattes. Demzufolge kann die Stärke, welche sich in der Blattspitze im kohlenstofffreien Raum bildet, einen verschiedenen Ursprung haben.

In netzadrigen Blättern wird die Stärke nach der Spitze zu begrenzt durch Nerven, welche die ganze Blattdicke einnehmen und keine Interzellularräume aufweisen. In diesen Blättern ist also der Kohlenstofftransport abhängig

von der Grösse der durch die Nerven eingeschlossenen Areale, deren Durchmesser bei allen Versuchsblättern kleiner war als 3 cm. Die Stärke in der Blattspitze ist hier also nur ein Produkt der Atmungskohlensäure, welche aus einem verdunkelten Teil eines Areals in einen beleuchteten hinüberdiffundiert ist.

In den Blättern von *Hordeum*, *Triticum* und *Zea* sind die in der Längsrichtung des Blattes verlaufenden Interzellulare sehr eng. Dadurch wird der Kohlensäuretransport so schwierig, dass derselbe in meinen Versuchen nicht über eine Strecke von 3 cm nachgewiesen werden konnte. Dasselbe gilt für *Acorus* und *Tradescantia*, wo zudem stärkere Nervenastomosen dem Gastransport im Wege stehen. Auch hier hat sich also der Stärkerand nur auf Kosten der Atmungskohlensäure gebildet.

Die Blätter von *Eichhornia*, *Pontederia* und *Eucomis* bieten einem Kohlensäuretransport keine nennenswerten Hindernisse, weil geräumige Interzellulare, miteinander kommunizierend, von der Basis nach der Spitze verlaufen. In diesen Blättern fand in meinen Versuchen ein Kohlensäuretransport über eine Strecke von 3 cm statt, so dass hier die Stärke in der Spitze sich bildete aus der Atmungskohlensäure des unter Quecksilber getauchten Teils, vermehrt mit aus der Basis zugeführter Kohlensäure.

5. In den ursprünglichen Mollschen Versuchen bildete sich keine Stärke in den Blattspitzen im kohlensäurefreien Raum, weil nur netzadrige Blätter verwendet wurden, in welchen die durch Nerven eingeschlossenen Areale sehr klein waren (Kapitel V, § 2).

6. In der Natur kann die Pflanze von der hier festgestellten Möglichkeit eines Kohlensäuretransports keinen Vorteil haben; denn sogar in Blättern wie von *Eichhornia*, wo ein Transport leicht möglich ist, kann derselbe nur dann 3 cm weit stattfinden, wenn der transportierende

Teil nicht imstande ist die Kohlensäure zu reduzieren, und wenn die Epidermis dieses Teils für Kohlensäure undurchlässig gemacht ist. (Man vergleiche hierzu auch Kapitel IV, § 3). Diese Bedingungen sind in der Natur wohl nie verwirklicht.

#### ERKLÄRUNG DER TAFELN.

Die Figuren 2 bis 7 sind Photographien von Blättern mit der Stärkereaktion, nach Ablauf der Versuche. Die Aufnahmen wurden gemacht mit *farbenempfindlichen Silber-Eosinplatten* von Vogel-Obernetter, indem die Blätter in einer Glasschale, welche ungefähr 20 cm über ein weisses Papier gestellt war, in gesättigter Kaliumbichromatlösung verweilten. Nur mit Hilfe dieser als Lichtfilter wirkenden Lösung war es möglich, eine deutliche Abbildung der Stärkereaktion zu bekommen. Die stärkefreien Partien sind in den meisten Photographien zu dunkel geworden, vor allem diejenigen Stellen, welche durch Jod braun gefärbt waren, wie in den meisten Blättern mit den Nerven der Fall war; weiter haben auch mehrere Teile durch Faltung der Blattscheibe einen Schatten bekommen.

#### TAFEL V.

*Fig. 1.* Photographie des *Apparates mit Lüftung* (S. 109). Apparat in welchem die Blattspitze im kohlenstofffreien Raum gehalten wird, während die Basis in kohlenstoffhaltiger Luft verweilt; der mittlere Blattteil dabei unter Quecksilber getaucht; *a* eine grosse Petrischale, in welcher eine kleinere, unter der Glasglocke sichtbar, festgekittet ist; *i* eine Zufuhrrohre für kohlenstofffreie Luft. Die Abfuhrrohre *k* führt nach einem Aspirator; *f* ein hölzerner

Dreifuss. Ein Blatt von *Salix*, wie zu einem Versuch, in den Apparat gebracht. Bei den Versuchen wurde die Blattbasis ein wenig hinabgebogen und mit dem Stiel in einen Wasserbehälter getaucht.

*Fig. 2. Dahlia (Cactus) Thuringia.* (Versuch LX, S. 202). Transport von Kohlensäure, welche durch das Blatt selbst produziert war. Das Blättchen vor dem Versuch in stärkefreiem Zustand ganz mit Cacaowachs bestrichen und dann von *a* bis *b*, *c* bis *d* und *e* bis *f* durch Stanniolfstreifen verdunkelt. Während 4½ Stunden wurde es starkem Lichte ausgesetzt. Nach Verlauf dieser Zeit hat sich an den Rändern der verdunkelten Zonen Stärke gebildet. Die dazu nötige Kohlensäure wurde durch die verdunkelten Blattteile produziert. Die Breite der Stärkerändchen ist abhängig von der Breite der verdunkelten Blattstreifen.

*Fig. 3. Dahlia Yuarezii* Hort. (Versuch XXVI, S. 148). Vergleichung der Stärkerändchen bei *e* und *e'* der Blättchen *a* und *b*. Die Blattzonen von *d* bis *e*, bzw. von *d'* bis *e'* während des Versuchs unter dem Quecksilber zweier Apparate mit Lüftung getaucht. Die Blattspitzen von *e* und *e'* ab in kohlenstofffreien Räumen. Die Basis des Blättchens *a* in gewöhnlicher Luft; dieselbe des Blättchens *b* in Luft mit 2% Kohlensäure. Die Bases von *c* bis *d*, bzw. von *c'* bis *d'* verdunkelt. Es ist an den Stärkerändchen in den Spitzen kein Einfluss des verschiedenen Kohlensäuredrucks sichtbar.

*Fig. 4. Aesculus Pavia* L. (Versuch IX, S. 128). Beispiel eines sehr schmalen Stärkerändchens. Das Blättchen während des Versuchs im Apparat mit Lüftung. Die Zone *a* bis *b* unter dem Quecksilber getaucht. Die Spitze von *a* ab im kohlenstofffreien Raum. Die Basis in der freien Luft, von *b* bis *c* aber unter der Wasserschicht auf dem Quecksilber. Sowohl bei *a* als bei *b* hat sich ein Stärkerändchen gebildet.

## TAFEL VI.

*Fig. 5 Eichhornia speciosa* Kunth. (Versuch XLIX, S. 182). Vergleichung der Stärkeränder bei *e* und *e'* in den Blättern *a* und *b*. Die Blattzonen von *d* bis *e*, bzw. von *d'* bis *e'* während des Versuchs unter dem Quecksilber zweier Apparate mit Lüftung getaucht. Die Blattspitzen von *e* und *e'* ab in kohlenstofffreien Räumen. Die Basis des Blattes *a* in gewöhnlicher Luft; dieselbe des Blattes *b* in Luft mit 2 % Kohlenstoff. Die Bases von *c* bis *d*, bzw. *c'* bis *d'* verdunkelt. In der Spitze von *b* hat sich viel mehr Stärke gebildet als in *a*. Bei *d* und *d'* auch ein wenig Stärke gebildet, beiderseits in jedem Blatte, infolge unvollkommener Abhaltung des Lichtes.

*Fig. 6. Cucurbita Pepo* L. (Versuch LIV, S. 190). Blatt mit relativ kleinen durch Nerven eingeschlossenen Arealen. Die Spitze im kohlenstofffreien Raum des Moll'schen Apparates; die von den zwei Kreisbogen eingeschlossene Blattzone bei *r* war zwischen den Rändern der Kristallierschalen geklemmt. Die Blattbasis in Luft mit 5% Kohlenstoff. Im kohlenstofffreien Raum keine Stärke gebildet. Zwischen den Rändern der Schalen ist Stärke vorhanden, aber die Stärkeareale erstrecken sich nicht bis in den Schalenraum.

*Fig. 7. Dahlia (Cactus) Thuringia.* (Versuch LV, S. 192). Blättchen mit relativ grossen durch Nerven eingeschlossenen Arealen. Behandlung des Blättchens wie *Cucurbita* der *Fig. 6*. Links von der Mittelrippe Stärke im kohlenstofffreien Raum gebildet. Auch am rechten Blattrande bei *r* wenig Stärke im kohlenstofffreien Raum.

## INHALTSÜBERSICHT.

	Seite.
EINLEITUNG.	99
KAPITEL I. <i>Apparate und Untersuchungsmethode</i> . .	104
§ 1. Apparate und deren Anwendung. . . .	104
§ 2. Ueber den Einfluss des Quecksilbers auf die Blätter . . . . .	113
§ 3. Behandlung der Versuchsblätter . . . .	120
KAPITEL II. <i>Stärkebildung in einem Blattteil, dem keine       Kohlensäure von aussen her zur Verfügung       steht</i> . . . . .	122
§ 1. Quecksilber des Apparates trocken . . .	123
§ 2. Wasser auf dem Quecksilber des Apparates	128
§ 3. Wasser auf dem Quecksilber des Apparates. Mittlerer Blattteil durch Cacaowachs ge- schützt . . . . .	132
KAPITEL III. <i>Unabhängigkeit der Breite des Stärkeränd-       chens in der Spitze von der Höhe des       Kohlensäuredrucks in der Basis der       Blätter</i> . . . . .	137
Notwendigkeit, die Temperaturen in beiden Apparaten gleich zu halten. . .	138
§ 1. Die Blattbasis ganz beleuchtet. Wasser auf dem Quecksilber des Apparates . . . .	140
§ 2. Die Blattbasis teilweise verdunkelt. Wasser auf dem Quecksilber. Blatt mit Cacao- wachs bestrichen . . . . .	146

	Seite.
§ 3. Versuche mit 2 Längshälften desselben Blattes . . . . .	151
§ 4. Einfluss der Kalilauge auf die Stärkebildung	153
KAPITEL IV. <i>Die Ursache der Stärkebildung im kohlen-</i> <i>säurefreien Raum in den oben beschrie-</i> <i>benen Versuchen</i> . . . . .	156
§ 1. Blattbasis und Spitze im kohlen-säurefreien Raum . . . . .	156
Beschreibung des Glaskastens. . . . .	158
§ 2. Versuche mit in Quecksilber hineingedrück-	
ten Blättern . . . . .	162
§ 3. Verschluss der Epidermis des Kohlensäure	
liefernden Blattteils . . . . .	168
§ 4. Versuche mit bunten Blättern . . . . .	173
KAPITEL V. <i>Erklärung der Versuchsergebnisse</i> . . . . .	177
§ 1. Einfluss der Blattstruktur auf den Kohlen-	
säuretransport . . . . .	177
§ 2. Versuche mit dem Apparat nach Moll;	
Erklärung der Resultate dieser Versuche	188
KAPITEL VI. <i>Wie weit kann die Kohlensäure trans-</i> <i>portiert werden?</i> . . . . .	195
ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE . . . . .	203
ERKLÄRUNG DER TAFELN . . . . .	206

