

## 45. Hermann Moeller: Ueber Pflanzenathmung.

(Mit Tafel VI und VII.)

Eingegangen am 12. Juli 1884.

### II.

#### Die intramolekulare Athmung.

Kein Gebiet pflanzenphysiologischer Forschung hat bei verhältnissmässig zahlreichen Untersuchungen so wenig Fortschritte zu verzeichnen, wie die Untersuchung über Pflanzenathmung. Hatte es einerseits der wiederholten Anstrengung bedeutender Forscher, wie Meyen (1838), Garreau (1851), Sachs (1865) bedurft, den Begriff der Pflanzenathmung von der sie verdeckenden Assimilation zu sondern, und immer wieder die weitverbreiteten alten Irrthümer von der täglichen und nächtlichen Respiration der Pflanzen zu bekämpfen, und war somit dies Gebiet der Forschung überhaupt erst spät bekannt und zugänglich geworden, so müssen andererseits die Untersuchungen in dieser Richtung, weil sie die Lösung einer der innersten Lebensfragen bezwecken, naturgemäss mit den grössten Schwierigkeiten zu kämpfen haben, wodurch sich das langsame Vorwärtskommen in der Kenntniss der Athmung trotz zahlreicher und eingehender Versuche erklären lässt. Waren bisher die Untersuchungen über Pflanzenathmung lediglich auf die specielle Athmungsthätigkeit der einzelnen Pflanzentheile, auf ihre Abhängigkeit von äusseren Factoren, und auf das Verhältniss von Sauerstoffaufnahme zur Kohlensäureabgabe gerichtet, so trat 1875 mit der Entdeckung der intramolekularen Athmung durch Pflüger eine neue Richtung der Forschung auf diesem Gebiete ein. Nachdem das Vorhandensein intramolekularer Athmung nach Sauerstoffabschluss auch bei Pflanzen constatirt war, bildeten sich sogleich zwei einander entgegengesetzte Ansichten über dieselbe aus. Während Pfeffer in einer ausführlichen Abhandlung die intramolekulare Athmung als einen der Gährung analogen Vorgang und als Bedingung der normalen Athmung ansieht, hält Nägeli sie nur für eine pathologische Erscheinung. Experimentell behandelte dann Wortmann diese Frage, und kam auf Grund seiner Versuche mit *Vicia Faba* um *Phaseolus multiflorus* zu der Ansicht, dass alle bei normaler Athmung ausgeschiedene Kohlensäure lediglich das Produkt der intramolekularen Athmung sei. So fehlte es also für dieselbe Thatsache jetzt nicht an Theorien, während im Gegensatz dazu das experimentelle Beweismaterial immer noch ein sehr unzureichendes zu nennen war. Nach Wortmann hat nur noch

Wilson<sup>1)</sup> in dieser Richtung gearbeitet, und die Wortmann'schen Versuche zwar für *Vicia* bestätigt gefunden, dagegen ein abweichendes Verhalten bei *Lupinus luteus* und *Cantharellus cibarius* constatirt. Es erscheint wunderbar, dass ein so bedeutender Vorgang, wie es die intramolekulare Athmung ist, bisher nicht weiter verfolgt und zum Gegenstand experimenteller Untersuchungen gemacht ist, da doch durch deren nähere Erforschung gewiss manche weitere Aufklärung über den Athmungsprozess, wie voraussichtlich auch über den Zusammenhang von Gährung und Athmung zu erwarten ist. Ich habe die folgende Untersuchung in der Absicht unternommen, zunächst durch weiteres experimentelles Beweismaterial die eine oder andere der aufgestellten Theorien festigen zu helfen. Dazu bedurfte es vor allem sehr sorgfältig durchgearbeiteter Methoden, denn wenn schon überhaupt physiologische Forschungsergebnisse häufig im Wesentlichen von der richtigen Wahl und sorgfältigen Durchführung der Methoden abhängig sind, so ist dies ganz besonders bei den *difficilen* Athmungsuntersuchungen der Fall, wo, wie bei gasometrischen Versuchen überhaupt, die verwickeltesten Umstände zu grossen Versuchsfehlern Veranlassung geben können.

#### Untersuchungsmethoden.

Von den verschiedenen Methoden zur Untersuchung über die Athmung habe ich ganz besonders der gasometrischen meine Aufmerksamkeit zugewendet. Sie bietet den grossen Vortheil, erstens den richtigen Zeitpunkt zum Beginn der Beobachtung der intramolekularen Athmung deutlich erkennen zu lassen und gestattet zweitens eine genaue Bestimmung auch sehr kleiner Gasmengen und somit auch die Verwendung kleiner und seltener Pflanzentheile. Betreffs ihrer Zuverlässigkeit zeigen schon Wortmann's Untersuchungen, obgleich dieselben mit sehr primitiven Mitteln angestellt sind, dass eine genügende Genauigkeit bei dieser Methode zu erzielen ist, um so mehr glaubte ich dies erwarten zu dürfen, wenn dieselbe vervollkommen war. Ich habe mich bei Ausführung der Athmungsuntersuchungen nach dieser Methode des von mir schon in einer früheren Abhandlung<sup>2)</sup> beschriebenen Apparates bedient, zu dem ich mir noch einen zweiten machen liess, welcher sich von dem ersteren dadurch unterscheidet, dass die Scala des Rohres  $A_1$  in Millimeter getheilt ist und dass der Hahn  $G$  und das Ansatzrohr mit dem Hahn  $E$  fehlen, auch ist das Glockengefäss  $B'$  zur Aufnahme der Pflanzentheile ein etwas grösseres als  $B$ ; letzteres hat 350 *ccm*, das erstere 550 *ccm* Rauminhalt. Die Untersuchung mit dem Apparat II Taf. VI Fig. 1 wurde in folgender Weise vorgenommen.  $B$  und  $B_1$  wurden

1) Wilson, Ueber Athmung der Pflanzen. Flora 1882, p. 93. Die Mittheilung ist als vorläufige bezeichnet, doch ist mir inzwischen keine ausführlichere Arbeit des Verfassers bekannt geworden.

2) Diese Berichte. II. p. 37.

die gleiche Anzahl oder die gleiche Gewichtsmenge der zu untersuchenden Pflanzentheile nebst etwas feuchter Glaswolle gebracht, nachdem beides vorher mehrere Stunden unter einer Glocke über Kalilauge gestanden hatte, um von Kohlensäure befreit zu werden. Zu den Pflanzentheilen wurde dann ein kleines Gläschen mit 10 *ccm* Kalilauge gebracht, der Apparat geschlossen und zusammengesetzt in das Quecksilbergefäß *n* gestellt und mit der Wasserstrahlluftpumpe bei *F* etwas Luft ausgesogen, bis die Quecksilbersäule einige Centimeter über das Niveau gestiegen war. Nach einer halben Stunde fand die erste Ablesung statt. Ein Thermometer *T* in zehntel Grade getheilt hing zwischen den Apparaten, ein Barometer in der Nähe. Die Ablesung erfolgte unter Zuhülfenahme eines Fernrohres mit Fadenkreuz.

Die abgelesenen Volumina wurden auf solche bei 0° C. und 760,0 *mm* Barometerstand reduziert. Bei *Ib* wurden die Millimeter abgelesen, bei *Ia* die Cubikcentimeter auf dem Rohre *A*, die Millimeter auf der in halbe getheilten Millimeterscala des Glasstreifens *R*. Die normale Athmung wurde in der Regel von Abends bis Morgens gemessen. Am Morgen nach erfolgter Ablesung wurde zunächst *Ib* auseinandergenommen, die Kalilauge in *m*<sub>1</sub> erneuert, mit der Luftpumpe einige Zeit frische Luft durchgeleitet und der Apparat in der beschriebenen Weise wieder aufgestellt. Dann wurde aus *Ia* das Gefäß *m* entfernt, das Rohr *A* bis zum Hahn *H* voll Quecksilber gesogen und nun von *E* durch *B* nach *F* ein Strom Stickoxydul geleitet bis in einer mit *F* verbundenen Flasche mit Phosphor keine Nebelbildung mehr eintrat, also aller Sauerstoff verdrängt war. Nach Schliessung von *E* und *F* wurde dann Hahn *G* geöffnet, wodurch die Quecksilbersäule ungefähr 2 *dm* über dem Niveau zu stehen kam. Es wurde jetzt durch alle zehn Minuten erfolgende Beobachtung abgewartet, bis ein rasches Sinken der Quecksilbersäule eintrat und damit der sichtbare Beginn der intramolekularen Athmung begann. Dann erfolgte bei *Ia* und *Ib* die erste, um 6 Stunden später die zweite Ablesung. Während der Versuche wurde durch über die Glocken *B*<sup>1</sup> und *B*<sub>1</sub> gestülpte schwarze Papier-Kappen das Licht aus geschlossen.

Um auch grössere Pflanzentheile auf die intramolekulare Athmung untersuchen zu können, um ferner grössere Mengen Athmungsmaterial verwenden und damit in zweifelhaften Fällen das Resultat sicherer feststellen zu können, beziehungsweise auch die Intensitätsänderung während eines längeren Zeitraumes zu bestimmen, als es die bald zum Niveau herabgesunkene Quecksilbersäule des Apparates *Ia* gestattet, habe ich die Apparate *II* und *III* zusammengestellt. Apparat *II* Taf. VI Fig. 2 besteht aus einem Untersatz von Buchenholz, in welchem eine 1 *cm* breite und 3 *cm* tiefe Quecksilberrinne eingeschnitten ist. Das Holz ist durch längeres Sotten im Paraffinbade gegen die Absorption der Kohlensäure geschützt. Auf demselben steht ein Krystallisirschälchen



in welchem die Pflanzentheile auf feuchter Glaswolle und bedeckt damit liegen. In der Mitte steht ein sogenanntes Wägegläschen mit Kalilauge zur Absorption der Kohlensäure. Die Wägegläschen, welche durch eingeschliffene Stopfen geschlossen werden konnten, wurden jedesmal mit 25 *cm* einer Kalilauge gefüllt, deren Kohlensäuregehalt bestimmt und wiederholt controllirt wurde. Vor dem Versuch und nach Beendigung desselben bis zur Bestimmung der Kohlensäure wurden sie in einem Gefässe über Natronkalk aufbewahrt. In die Rinne des Untersatzes *a* passt die Glasglocke *b* von 2 Liter Inhalt, welche an der Innenseite mit feuchtem Filtrirpapier ausgekleidet ist und oben durch einen paraffinirten Gummistopfen geschlossen wird, durch welchen einmal das doppelt rechtwinklig gebogene Rohr zum Gefäss *v* mit Quecksilber führt, andererseits eine Röhre, welche unten in eine Spitze mit Kugel ausgezogen und umgebogen ist. Dieselbe kann leicht durch einen Tropfen Quecksilber gesperrt werden.

Vor dem Versuche wird die Kohlensäure innerhalb der Glocke durch ein Schälchen mit Kalilauge entfernt, wie auch die Schale mit den Pflanzentheilen über KOH von absorbirter Kohlensäure befreit. Dann wird letztere Schale unter die Glocke gebracht an Stelle der ersteren, das Wägegläschen mit Kalilauge eingesetzt und die Glocke durch Quecksilber abgeschlossen. Für die intramolekulare Athmung wurde eine Schale mit Pflanzentheilen und das Kalilaugegläschen unter eine höchstens  $\frac{1}{3}$  so grosse, sonst der Glocke *b* gleiche gebracht und rasch ein Strom Stickoxydul durch *f* eingeleitet, bis ein statt *v* vorgelegtes Phosphorgefäss die Entfernung des Sauerstoffes erkennen liess. Dann wurden gleichfalls beide Röhren durch Quecksilber gesperrt. Durch besondere Versuche habe ich mich überzeugt, dass während des Durchleitens selbst eines mässig raschen Gasstromes während  $1\frac{1}{2}$  Stunden keine Kohlensäure absorbirt wurde; während ich die vollständige Aufnahme derselben durch die Kalilauge während der Versuchsdauer nach Godlewski's<sup>1)</sup> ähnlichem Versuche ohne weiteres annehmen zu dürfen glaubte.

Hat man mehrere der Glocken und Wägegläschen vorrätzig, so lässt sich durch beständiges Wechseln derselben die Untersuchung über normale und intermolekulare Athmung beliebig lange fortführen, wobei allerdings eine zeitweise Unterbrechung der intramolekularen Athmung von dem Wechseln der Kalilauge an bis zur abermaligen Entfernung des Sauerstoffes nicht auszuschliessen ist.

Letzteres wird vermieden bei Verwendung des Apparat III, Taf. VII, Fig. 1, welcher die Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäure zur beliebigen Zeit bei ungehindertem Fortgange der normalen und intra-

1) Godlewski, Beiträge zur Kenntniss der Pflanzenathmung. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. XIII. p. 497.

molekularen Athmung erlaubt. Die letztere findet hier im Wasserstoff statt, welcher im Gefäß *A* aus verdünnter Kalilauge (1 : 3) und einer unter der Glocke *H* befindlichen Spirale von Aluminiumblech entwickelt und durch den Hahn *i* zu dem Gefäß *a* geleitet wird, in welchem die Pflanzentheile der intermolekularen Athmung unterworfen werden sollen. Der Wasserstoff ist rein, kann also direkt verwandt werden, wodurch das Vorlegen von Waschflaschen erspart wird; und seine Entwicklung ist von der Saugkraft am Ende des Apparates abhängig, so dass Druckwirkung und somit Ungleichheit des Gasstromes in den beiden Theilen des Apparates vermieden werden.

Die Flasche *b* ist mit einer gleichen Menge Athmungsmaterial beschickt, über das Luft geleitet wird, welche in dem Thurm *l* durch Bimstein und Kalilauge von Kohlensäure befreit ist. Aus *a* und *b* geht der Gasstrom zur Absorption der ausgeathmeten Kohlensäure durch die Pettenkofer'schen Röhren *p* und *q*, welche je 25 *ccm* KOH enthalten. Die mit Barytwasser gefüllten Flaschen *m* und *n* dienen zur Kontrolle der völligen Absorption der Kohlensäure und zur Beobachtung der Gleichmässigkeit des Gasstromes. Die Waschflasche *o* mit Kalilauge verhindert das Diffundiren von Kohlensäure aus dem mit *o* verbundenen Aspirator *B*. Ebenso sollen  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , kleine mit Wasser gefüllte Sperrventile bei Unterbrechung des Gasstromes zum Zweck der Vorlage von *p* und *q* der Diffusion von Kohlensäure nach *l* und *A*, bez. der von Luft nach *b* vorbeugen. Der Gang des Versuches war nun folgender. Die Gefässe *a* und *b* wurden mit dem reichlich angefeuchteten Athmungsmaterial gefüllt, und jedes bei  $\alpha$  und  $\beta$  mit einem Gefässe zur Absorption der Kohlensäure, wie *l* eines darstellt, verbunden; auf der anderen Seite stellte ein Gabelrohr mit Schlauch die Verbindung mit einer Wasserstrahlluftpumpe her, welche vor dem Versuche 2—3 Stunden kohlensäurefreie Luft durch die Apparate zu saugen hatte. Beim Beginn der Kohlensäurebestimmung wurden die Absorptionsröhren *p* und *q* und die 3 Waschflaschen angeschlossen und mit dem Aspirator *B* 6 Stunden lang ein langsamer und gleichmässiger Luftstrom durch die Apparate gesogen. Nachher wurde der Apparat auseinandergenommen, die Kalilauge aus *p* und *q* in Kölbchen gespült zur Bestimmung der Kohlensäure und während der Nacht durch *a* und *b* einfach ein Luftstrom gesogen. Am zweiten Morgen wurde vor *b* wieder *l*, vor *a* der Wasserstoffapparat *A* vorgelegt und *a* nach der anderen Seite durch Anfügung des Sperrventils  $\gamma$  abgeschlossen. An  $\gamma$  wurde dann ein Phosphorgefäss und eine Waschflasche mit Kalilauge angesetzt zur Absorption der phosphorigen Säure und dann durch beide Apparate wieder ein Gasstrom durchgesogen, bis wenigstens eine halbe Stunde nach Entfernung des Sauerstoffes aus *a* verstrichen war. Es wurden dann die übrigen Gefässe, wie oben angeführt, nachdem das Phosphorgefäss mit der Waschflasche entfernt war, und auf diese

Weise in *b* abermals die normale in *a* die intramolekulare Athmungskohlensäure bestimmt. Diese Zusammenstellung zeigt Fig. 1, Taf. VII. Zur Bestimmung der in den Apparaten II und III absorbirten Kohlensäure dient der in Fig. 2, Taf. VII dargestellte Apparat. Die Kalilauge, welche zur Absorption gedient hat (also jedesmal 25 *ccm*) wird in das Kölbchen *a* gespült, welches durch einen doppelt durchbohrten Stopfen geschlossen wird. Durch die eine Durchbohrung geht ein Glasrohr, welches unten ausgezogen und S-förmig gebogen ist, oben durch einen Gummischlauch sich einmal mit dem Trichterchen *e*, das andere Mal mit der Flasche *l* verbinden lässt, welche Bimsstein mit Kalilauge enthält. Die Waschflasche *m* und das Winkler'sche Schlangenrohr *n* enthalten concentrirte Schwefelsäure, das *U*-Rohr *o* Kupfervitriolbimsstein zur völligen Austrocknung und Absorption von Salzsäuredampf. Im *U*-Rohr *p*, welches mit Natronkalk und etwas Chlorcalcium gefüllt ist, wird die in *a* ausgetriebene Kohlensäure aufgefangen und gewogen. Die Austreibung der Kohlensäure wird durch Einfließenlassen von 30 *ccm* Salzsäure durch den Trichter *e* nach *a* hinein und durch Erhitzen bewirkt, nachdem der Schlauch unter *e* durch eine Klammer geschlossen ist. Nach Austreibung der Kohlensäure wird *a* mit *l* verbunden und durch Anschluss des Aspirators *B* 1 Liter kohlenstofffreie Luft durchgeleitet. Das Absorptionsrohr *p* ist durch das Chlorcalciumrohr *q* gegen die Wasserdämpfe des Aspirators geschützt. Erwähnen will ich noch, dass in den Apparaten Fig. 1 und 2 alle Gummisachen paraffinirt, die Korke mit Siegelack überzogen waren.

### Die Versuche und ihre Resultate.

Bei der Wahl des Materials für die Athmungsversuche leitete mich die Erwägung, das dasselbe einerseits genügend Reservestoffe besitzen müsse, um die Athmung in voller Stärke und möglichst gleicher Dauer auch auf längere Zeit zu unterhalten, andererseits auf kein weiteres Medium zur Kultur Anspruch machen dürfe als auf feuchte Luft. Ich musste also auch zu den jungen Keimpflanzen greifen, welche bis jetzt den meisten Forschern das Material bei Athmungsversuchen geliefert hatten und viele Vortheile bieten. Sie enthalten sowohl reichlich Reservematerial, wie sie auch bei der Entwicklung im feuchten Raum an Athmungsstärke nichts zu wünschen übrig lassen. Mit Pilzen die Untersuchung zu machen, ist bedenklich. Soll der Pilz in der Gesammtheit verwendet werden (d. h. mit dem Mycel) so ist die Benutzung von Kulturboden unumgänglich nothwendig, wodurch grosse Versuchsfehler entstehen. Die Benutzung des Fruchtkörpers allein würde zwar meistens genügen, doch ist immer die Verwendung von Pflanzentheilen dem begründeten Einwurf ausgesetzt, dass die Athmung hier keine normale ist. Ausserdem ist in Betracht zu ziehen,



dass es in den meisten Fällen sehr schwer werden wird, grössere Gewebmassen sauerstofffrei zu machen.

Von ganz besonderer Wichtigkeit war ferner die Berücksichtigung der äusseren Factoren für die Athmung. Der Einfluss der Temperatur auf dieselbe ist schon länger bekannt. Zweifelhaft war bis jetzt noch, ob das Licht einen fördernden Einfluss auf die Athmung habe. Bonnier und Mangin<sup>1)</sup> haben kürzlich in einer umfassenden und sorgfältigen Arbeit die Wirkung der äusseren Factoren auf die Athmung beschrieben und ganz besonders die Abhängigkeit derselben von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft konstatiert. Bei meinen Versuchen war der Zutritt von Licht und somit dessen Wirkung bei der Athmung leicht zu beseitigen, indem die Apparate Ia und Ib (Taf. VI) einfach durch übergestülpte Kappen, Apparat II, (Taf. VI, Fig. 2) durch ein darüber gedecktes schwarzes Tuch geschützt wurden. Der Apparat III (Taf. VII, Fig. 1) war von vornherein im Dunkelzimmer aufgestellt, doch wurden noch ausserdem die Flaschen *a* und *b* durch Tücher gegen das Licht der ab und zu brennenden Lampe geschützt. Zum Ausschluss der Einwirkung des Feuchtigkeitsgrades auf die Athmung ist es nöthig, die Objecte in einer mit Wasser gesättigten Atmosphäre athmen zu lassen, was bei Apparat III keine Schwierigkeit bot, wo die Pflanzentheile vor dem Versuche direct mit grösseren Wassermengen getränkt wurden. Schwieriger war dies bei den Apparaten I und II, wo ich durch Verwendung grösserer Mengen Glaswolle (dieselbe hat den grossen Vorzug, viel Flüssigkeit aufzunehmen und doch der Diffusion sehr zugänglich zu sein) den nöthigen Feuchtigkeitsgrad zu erreichen strebte. In die Glocke des Apparat II wurde zu dem Zweck noch feuchtes Filtrirpapier eingelegt. Das Beschlagen der Wände mit Wasserdampf und die oft starke Bildung von Wurzelhaaren bei den Keimpflanzen während der Versuchsdauer sprechen wohl dafür, dass die im Apparate vorhandene Luft mit Wasserdampf gesättigt war. Was dagegen die Temperatur betrifft, so war ein Gleichbleiben derselben während der Versuche nicht zu erzielen. Wenngleich die Arbeitsräume eine ziemlich gleichmässige Temperatur boten (im Dunkelzimmer war die grösste Differenz während mehrerer Wochen 3° C., die höchste am Tage ca. 1,5° C., im andern Zimmer ging dies bis zu 5,0° C. während mehrerer Tage; bis zu durchschnittlich 2,0° C. während der Versuchsdauer) so waren doch diese geringen Temperaturschwankungen für die Messung der Athmung wegen der grossen Abhängigkeit der letzteren von der Temperatur als Quellen grosser Versuchsfehler anzusehen und daher zu eliminiren. Ich habe dies durch Anwendung einer Methode erzielt, welche bei derartigen Versuchen, wo äussere einwirkende Umstände in grösserer Anzahl auszuschliessen sind, sich überhaupt immer empfiehlt, nämlich

---

1) Annal. des sciences nat. 6. sér. Bot. T. 17. p. 210.

durch eine normale Kontroll-Athmung. Von zwei möglichst gleichmässigen Mengen des Untersuchungsmaterials wurde das gegenseitige Verhältniss der Athmungsgrösse festgestellt und dann die eine Menge weiter in normaler Athmung belassen, während die andere zur Bestimmung der intramolekularen Athmung verwendet wurde. Der Unterschied bei der normalen Athmung während der zweiten Versuchshälfte wurde dann zur Korrektur des Resultats bei der intramolekularen verwendet. Vorausgesetzt ist dabei (natürlich bei genügendem Feuchtigkeitsgehalt und Ausschluss von Licht) dass die intramolekulare Athmung in gleicher Weise wie die normale vom Temperaturwechsel beeinflusst wird. Ich glaube durch dies Verfahren die erhaltenen Resultate wesentlich zuverlässiger gemacht zu haben.

Ich gehe jetzt zu den Versuchen über, die ich in der Reihenfolge anführe, in welcher ich sie angestellt habe, wobei ich noch vorweg bemerken will, dass ich bei Durchprüfung der Methoden nur *Vicia Faba* und *Phaseolus multiflorus* verwandt habe. Diese Versuche ergaben die Uebereinstimmung mit denen Wortmann's. Die intramolekulare Athmung war im Vacuum geprüft.

### 1. *Helianthus annuus*.

Je 250 Stück im Apparat I.

Von 5<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> Abends bis 7<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> Morgens normale Athmung.

19,8° C. bis 18,5° C.

11,84 cc d. i. 0,846 pr. Std.

11,64 cc d. i. 0,831 pr. Std.

N<sub>2</sub>O eingeleitet bis 8<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>.

Von 10<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> bis 4<sup>h</sup> 40<sup>m</sup>.

18,9° C. bis 19,7° C.

intramolekulare Athmung

1,54 cc (4,71) = 0,257 pr. Std.

normale Athmung

4,63 cc = 1,156 pr. Std.

Je 60 g *Helianthus* im Apparat III.

6 Stunden normale Athmung

177,5 mg

186,5 mg

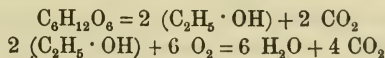
6 Std. in Wasserstoff intram. Athm.

norm. Athm.

62,0 mg (187,9)

197,5 mg

Beide Versuche ergeben in schöner Uebereinstimmung, dass die bei der intramolekularen Athmung ausgeschiedene Kohlensäure genau  $\frac{1}{3}$  der bei normaler Athmung ist, was also gegen Wortmann's Hypothese und für Pfeffer's Ansicht sprechen würde, nach welchem der Athmungsprozess entsprechend den folgenden Formeln verlaufen soll.



Während also bei der normalen Athmung 6 Moleküle Kohlensäure gebildet werden, so dürfen nach Ausschluss des Sauerstoff gemäss der



ersten Formel, nur 2 Moleküle, also ein Drittel der Kohlensäure ausgeschieden werden, wie es der obige Versuch bestätigt.

## 2. *Polygonum Fagopyrum.*

Je 10 g im Apparat I.

Normale Athmung von 7<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> Abends bis 8<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> Morgens  
20,2° C. bis 19,4° C.

12,44 cc = 0,957 pr. Std.

7,67 cc = 0,590 pr. Std.

N<sub>2</sub>O eingeleitet bis 9<sup>h</sup> 25<sup>m</sup>.

Von 10<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> bis 4<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>.  
19,9° C. bis 21,8° C.

intramolekulare Athmung in N<sub>2</sub>O

1,89 cc (9,05) = 0,472 pr. Std.

normale Athmung in Luft

5,58 cc = 1,395 pr. Std.

Je 25 g im Apparat III.

6 Stunden in Luft normal

127,0 mg

136,0 mg

6 Std. in H intramolekular

41,5 mg (118,3 mg)

normal in Luft

125,5 mg

Während bei dem Buchweizen der Versuch im Apparat III beweist, dass auch hier genau  $\frac{1}{3}$  Kohlensäure intramolekular ausgeschieden wird, zeigt zum ersten Mal der Versuch im Apparat I eine erheblich geringere Kohlensäuremenge, ein Faktum, welches in den folgenden Versuchen noch mehr zu Tage tritt, und die gasometrische Untersuchungsmethode für sich allein ganz unzuverlässig macht. Ich komme auf diesen durch Absorption veranlassten Versuchsfehler weiter unten zurück. Von besonderer Bedeutung ist zunächst noch, dass mit dem Buchweizen ein Vertreter der stärkeführenden Samen, in der Sonnenblume ein ölhaltiger Same gegeben ist, welche beide gleiche intramolekulare Athmung zeigen, womit zunächst bewiesen ist, dass die letztere nicht von der verschiedenen Beschaffenheit des Reservematerials abhängt.

## 3. *Zea Mais.*

Je 30 Stück im Apparat I.

Normale Athmung von 7<sup>h</sup> 15<sup>m</sup> Abends bis 8<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> Morgens.  
20,5° C. bis 19,5° C.

12,13 cc = 0,899 pr. Std.

14,12 cc = 1,045 pr. Std.

N<sub>2</sub>O eingeleitet bis 9<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>.

Von 10<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> bis 4<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>.  
19,8° C. bis 20,6° C.

intram. Athmung in N<sub>2</sub>O

1,91 cc (4,71) = 0,318 pr. Std.

normale Athmung

5,49 cc = 0,915 pr. Std.

Je 95 Stück im Apparat III.

6 Stunden normal

130,0 mg

136,5 mg

6 Std. intram. in H

87,0 mg (141,9)

normal

149,0 mg



Je 80 Stück in Apparat II.

6 Std. normale Athmung.

124,0 mg		129,0 mg
intram.	6 Stunden	normal
29,0 mg (42,3)		44,0 mg

### 6. *Lepidium sativum*.

Je 35 g in Apparat III.

Normale Athmung 6 Std.

124,5 mg		202,5 mg
intram. in H	6 Stunden	normal
23,5 mg (69,4)		113,0 mg

15 g in Apparat Ia (Versuch in Ib verunglückt).

Von 7<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> Abends bis 7<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> Morgens normale Athmung.

22,1° C. bis 21,8° C.

14,65 cc = 1,172 pr. Std.

Mit N<sub>2</sub>O gefüllt um 8<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>.

Intramolekulare Athmung von 10<sup>h</sup> bis 4<sup>h</sup>

22,2° C. bis 24,4° C.

2,76 cc (ein Drittel verlangt 4,88 cc).

15 g in Apparat Ia.

Normale Athmung von 9<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> bis 12<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> (24,1° C. bis 24,7° C.)

5,08 cc = 1,693 pr. Std.

Intram. Athm. in CO<sub>2</sub> von 2<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> bis 5<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> (29,6° C. bis 24,8° C.)

1,35 cc (1,69 =  $\frac{1}{3}$ )

Die Kresse giebt also nach dem ersten Versuche gleichfalls  $\frac{1}{3}$  Kohlensäure bei intramolekularer Athmung. Bei den übrigen Versuchen wird wieder die Absorption bemerkbar, welche bei den Papilionaceen und Cruciferen ganz besonders stark zu sein scheint. Ich habe diese Versuche im Apparat I wie die späteren, auch wo es die einzigsten waren, mit aufgeführt, um die Stärke der Absorption zu zeigen, dann aber auch, weil dieselben trotz dieser starken Absorption vergleichsweise erkennen lassen, dass in den meisten Fällen die ausgeathmete Kohlensäure viel geringer ist, als sie nach Wortmann's Hypothese sein müsste.

Die lange Dauer der Absorptionsfähigkeit einzelner Samen geht aus dem letzten Versuche hervor, wo Kresse selbst in einer Kohlensäureatmosphäre nach mehreren Stunden noch davon absorbirte, und so ein zu geringes Volumen intramolekularer Kohlensäure 1,35 statt 1,69 gefunden wurde.

### 7. *Carthamus tinctorius*.

190 Stück im Apparat I.

Normale Athmung von 9<sup>h</sup> 15<sup>m</sup> bis 12<sup>h</sup> 15<sup>m</sup> (23,9° C. bis 24,4° C.)

6,73 cc = 2,243 pr. Std.

N<sub>2</sub>O eingeleitet bis 1<sup>h</sup>.



Intram. Athmung von 1<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> bis 4<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>.  
24,5° C. bis 24,3° C.  
1,75 cc (2,24 = 1/3).

### 8. *Cucurbita Pepo.*

25 Stück ohne Samenschale im Apparat I.  
Normale Athmung von 8<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> bis 11<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> (23,7° C. bis 24,1° C.)  
6,38 cc = 2,126 pr. Std.

N<sub>2</sub>O eingeleitet bis 12<sup>h</sup> 28<sup>m</sup>.  
Intram. Athmung von 12<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> bis 3<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> (24,3° C. bis 25,1° C.)  
1,61 cc  
von 3<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> bis 5<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> (25,1° C. bis 25,7° C.)  
1,63 cc (2,44 cc in 3 Stunden).

25 Stück im Apparat I.  
Normale Athmung von 8<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> bis 11<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> (25,4° C. bis 25,9° C.)  
9,32 cc = 3,106 pr. Std.  
Intram. Athmung in N<sub>2</sub>O von 3<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> bis 4<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> (26,5° C. bis 26,3° C.)  
0,88 cc (1,14 in 3 Stunden)  
von 4<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> bis 7<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> (26,3° C. bis 26,5° C.)  
3,75 cc.

### 9. *Ricinus communis.*

15 g (20 Stück) in Apparat I.  
Normale Athmung von 9<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> bis 12<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> (24,4° C. bis 24,7° C.)  
6,62 cc = 2,206 pr. Std.  
Intram. Athmung in CO<sub>2</sub> von 12<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>,  
1<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> bis 3<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> (25,0° C. bis 26,0° C.)  
1,26 cc = 1,89 cc in 3 Stunden  
3<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> bis 6<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> (26,0° C. bis 25,6° C.)  
1,16 cc.

40 Stück (25 g) im Apparat II.  
Normale Athmung 4 Stunden.  
28,0 mg.  
Intram. Athmung in N<sub>2</sub>O 4 Stunden  
22,0 mg.

*Ricinus* scheint somit zu den Samen zu gehören, welche betreffs der Athmung der Wortmann'schen Hypothese folgen. Bemerkenswerth ist auch hier die ausserordentlich grosse und lang andauernde Absorptionsfähigkeit selbst in Kohlensäureatmosphäre.

Zum Schluss füge ich noch einige Versuche an, welche mit Blüten gemacht wurden.

### 10. *Tulipa.*

Perigonblätter von 30 Blüten in zwei Theile getheilt in Apparat II.  
Normale Athmung von 7<sup>h</sup> 25<sup>m</sup> Abends bis 9<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> Morgens.  
120,5 mg  
122,5 mg  
Intram. Athmung in N<sub>2</sub>O 6 Std. normal  
28,5 mg (46,2) 47,0 mg

11. Blüten der gefüllten *Levcoye* (*Matthiola annua* DC.)  
 Je 10 g im Apparat III.

	Normale Athmung von 11—2 <sup>h</sup>	
	17,0 mg	18,5 mg
Intram. Athmung in H		
	6,0 (15,9)	17,5

Obige Versuche machen keinen Anspruch auf Vollständigkeit, aber sie genügen, um zu zeigen, dass die Wortmann'sche Hypothese über die Athmung keine allgemeine Gültigkeit hat, und damit fallen zu lassen ist. Von den untersuchten Keimpflanzen scheinen *Helianthus annuus*, *Polygonum Fagopyrum*, *Lepidium sativum* und wahrscheinlich *Carthamus tinctorius* die Pfeffer'sche Theorie der Athmung zu bestätigen, während *Mais*, *Lupinus*, *Pisum*, Blüten bei der intramolekularen Athmung Abweichungen zeigen, welche auch der allgemeinen Gültigkeit der Pfeffer'sche Ansicht widersprechen. Es wird weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, die Ursache dieser Abweichung von der Athmungsregel festzustellen, wenn es überhaupt eine solche giebt, und der Athmungsprozess so einfach verläuft, wie das von Pfeffer dafür aufgestellte Schema zeigt. Ich glaube vorab, und diese Ansicht dürfte in den vorliegenden Versuchen Bestätigung finden, dass verschiedene Prozesse der Oxydation des Kohlenstoffs gleichzeitig und von einander unabhängig im Protoplasma vor sich gehen und in der Gesamtheit die Kohlensäuremengen der normalen Athmung ergeben. Es sind dies einerseits Oxydationen, welche bei Zutritt des Sauerstoffs von aussen stattfinden. Dieselben hören natürlich auf, sobald der letztere ausgeschlossen ist; andererseits können Oxydationen von Kohlenstoff durch chemische Umlagerungen eintreten, wie solche z. B. von O. Kellner<sup>1)</sup> nachgewiesen sind: dass nämlich sauerstoffreiche Säuren in Keimlingen unter Kohlensäureentwicklung reducirt werden. Diese Prozesse finden auch nach Ausschluss von Sauerstoff noch längere Zeit unbeeinflusst statt. Ein Zusammenhang zwischen normaler und intramolekularer Athmung ist deshalb nicht nothwendig anzunehmen.

Es sei mir gestattet, hier noch einige Beobachtungen über die Intensität der intramolekularen Athmung und ihre Beziehungen zur Absorption mitzuthellen. In Versuch 1 mit *Helianthus* hatte die intramolekulare Athmung 1,59 ccm in 6 Stunden gegeben (verlangt wurden 1,52 ccm); beim weiteren Athmen wurden erhalten in den nächsten 17 Stunden 7,01 ccm, in den darauf folgenden 12 Stunden 5,83 ccm, das ist pro Stunde in den drei Zeiträumen 0,257; 0,112; 0,486. Es erhellt also daraus eine Zunahme der intramolekularen Athmung. Das Gleiche fand ich bei *Mais* in einem zu diesem Zweck besonders angestellten Versuche. 50 Stück *Mais* wurden in N<sub>2</sub>O gebracht und eine

1) Landwirthschaftl. Versuchsst. Bd. 17. p. 408.

halbe Stunde nach der Entfernung des Sauerstoff mit der Ablesung begonnen.

In den ersten zwei Stunden betrug die Volumenzunahme 1,17 *ccm*; in den folgenden zwei Stunden 1,16 *ccm*. In den nächsten 16 Stunden 1,15 pro 2 Stunden. Dann aber in den folgenden 10 Stunden 1,39 *ccm* pro 2 Stunden bei ganz gleich bleibender Temperatur. Also auch hier trat später eine Vermehrung der intramolekular ausgeschiedenen Kohlensäure ein. Aber nicht nur bei *Helianthus* und *Mais*, auch bei den Bohnen (*Vicia Faba*) habe ich dasselbe Resultat bei verschiedener Versuchsanstellung erhalten. 30 *Vicia Faba* (41,4 *g*) athmeten im Apparat Ia normal 4,75 *ccm*. In dem Apparate wurde dann durch Kohlensäure die Luft ausgetrieben und dann die Quecksilbersäule mit der Luftpumpe ein wenig in die Höhe gesogen. 1<sup>h</sup> 25<sup>m</sup> wurde der Apparat so aufgestellt. Anfangs trat ein schwaches Steigen des Quecksilbers ein; 1<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> war deutlich das Fallen desselben zu bemerken. Die Ablesung fand 1<sup>h</sup> 58<sup>m</sup> statt. In 3 Stunden wurden 4,83 *ccm* Kohlensäure ausgeathmet, in der ersten Stunde 1,38 *ccm*; also weniger als ein Drittel der obigen Menge (1,61). Auch bei diesem Versuch fand die Kohlensäure-Absorption noch längere Zeit nach Beginn des Einleitens statt, da ja in den 3 Stunden intramolekularer Athmung ungefähr nur die Hälfte der Kohlensäure der normalen Athmung zu messen war. Es könnte bei diesem Versuche eingewendet werden, dass die Absorptionsfähigkeit während des Versuches in Folge Sättigung erloschen sei, und daraus die Vergrößerung der später ausgeschiedenen Volumina folge. Dem widerspricht der zweite gleichzeitig angestellte Versuch mit Athmung im Vacuum. 10 Stück *Vicia* (13,8 *g*) athmeten normal im Apparat Ic 3,08 *ccm* Kohlensäure. Es wurden dieselben dann ins Vacuum gebracht, dadurch, dass der ganze Apparat bis zum Hahn voll Quecksilber gesogen und dann aufgestellt wurde. Die Messung ergab in 3 Stunden 2,96 *ccm*; in der ersten Stunde 0,48 *ccm* Kohlensäure, also auch hier in der zweiten und dritten Stunde eine bedeutende Zunahme der intramolekular ausgeschiedenen Kohlensäure; während doch die Absorption hier, wenn sie zur Wirkung käme, eine Verringerung der nach und nach ausgeschiedenen Volumina veranlassen würde, da mit zunehmendem Druck auch sicher der Absorptionscoefficient wächst. Dass übrigens das Verhältniss der intramolekularen Kohlensäure zur normalen in diesem Versuche richtig gemessen ist, ergibt folgende Bestimmung.

### *Vicia Faba.*

Je 50 Stück in Apparat III (63,75 *g* und 63,44 *g*).

Normale Athmung in 6 Stunden.

76,5 <i>mg</i>		67,0 <i>mg</i>
intram. in H	6 Stunden	normal
67,0 <i>mg</i> (77.7)		68,0 <i>mg</i>



Das Verhältniss der intramolekularen Kohlensäure zur normalen ist in den beiden Bestimmungen fast das gleiche.

Es ergibt sich aus diesen Versuchen der praktische Wink, der volumetrischen Messung intramolekular ausgeschiedener Kohlensäure nicht zu grosses Gewicht beizulegen, bez. derartige Messungen im Vacuum und nur für kurze Zeiträume anzustellen. Dadurch, dass er (freilich aus andern Gründen) diese Messung im Vacuum vornahm, hat auch Wortmann den grössten Versuchsfehler dieser Untersuchungsmethode glücklich vermieden.

Zum Schluss sei mir gestattet, noch auf eine Frage einzugehen, mit deren Lösung ich noch beschäftigt bin. Ob nähere Beziehungen zwischen Wachstum und Athmung stattfinden, ist nicht bekannt, wie überhaupt nicht sicher ist, ob die auf Wachstum allein Bezug habenden Stoffwechselprozesse mit Kohlensäureausscheidung verbunden sind. Ist letzteres auch in hohem Grade wahrscheinlich, und lässt der Umstand, dass das Wachstum bei Sauerstoffausschluss sistirt wird, es als ziemlich sicher erscheinen, dass die normale Athmung hierbei mitwirkt, so kann doch auch innere Athmung dabei vorkommen und nothwendig sein. Ich hielt es desshalb für wünschenswerth, zu prüfen, ob dies Verhältniss der intramolekularen Athmung zur normalen bei Ausschluss des Wachstums ein unverändertes ist. Leider ist es mir bis jetzt trotz mannigfacher Bemühungen nicht gelungen, das Wachstum (durch Anästhesiren) zu unterdrücken, ohne dass gleichzeitig eine starke Schädigung der Keimpflanzen erfolgte, doch hoffe ich bei fortgesetzten Bemühungen dies Ziel noch zu erreichen und später Weiteres darüber mittheilen zu können.

Berlin, Pflanzenphysiologisches Institut  
d. Kgl. Landw. Hochschule.

---

### Erklärung der Abbildungen.

---

#### Tafel VI.

Figur 1. Apparat I für gasometrische Messung des  $\text{CO}_2$ .

*A* und *A*<sub>1</sub> graduirte Barometerröhren. *B* und *B*<sub>1</sub> Glocken zur Aufnahme des Untersuchungsmaterials. *C* und *D* Schliffstellen für Einsätze. *E*, *F*, *G* Hähne. *R* Glasstreifen mit Millimeterscala. *S* und *J* Spiegel. *T* Thermometer. *m* Gläschen zur Aufnahme von KOH. *n* Quecksilbergefäss.

Figur 2. Apparat II zur Bestimmung d.  $\text{CO}_2$  in einer Atmosphäre von  $\text{N}_2\text{O}$ .

*a* Glockenfuss. *b* Glocke. *f* Zuleitungsrohr *v* Vorlage mit Quecksilber. *g* Wäagegläschen mit Kalilauge.

#### Tafel VII.

Figur 1. Apparat III zur Bestimmung d.  $\text{CO}_2$  im Wasserstoffstrome

*a* und *b* Gefässe zur Aufnahme der Pflanzentheile. *l* Vorlage mit Bimsstein und Kalilauge. *A* Wasserstoffentwickler. *G* Glocke. *c* Chlorcalciumrohr. *i, h, k* Hähne. *α, β, γ* Sperrventile. *p, q* Absorptionsröhren mit Kalilauge. *m, n* Waschflaschen mit Barytwasser. *o* Waschflasche mit Kalilauge. *B* Aspirator.

Figur 2. Apparat zur quantitativen Bestimmung d.  $\text{CO}_2$ .

*a* Kölbchen zur Aufnahme der Absorptionskalilauge. *e* Trichterchen zum Einfüllen der Salzsäure. *l* Vorlage mit Bimsstein und Kalilauge. *m* Waschflasche mit Schwefelsäure. *n* Winkler'sche Schlange mit Schwefelsäure. *o* U-Rohr mit Kupfervitriolbimsstein. *p* U-Rohr mit Natronkalk und Chlorcalcium. *q* Chlorcalciumrohr. *B* Aspirator.

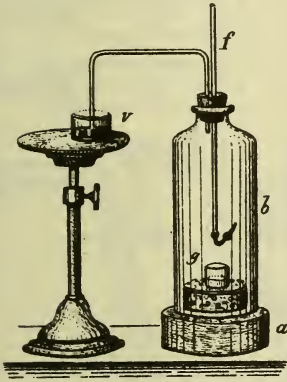
## 46. B. Frank: Ueber die Gummibildung im Holze und deren physiologische Bedeutung.

Eingegangen am 18. Juli 1884.

Das Gummi gehört zu denjenigen Pflanzenstoffen, welche einmal in der Pflanze gebildet, keinerlei weitere Umwandlung und Verwerthung zu anderen Stoffbildungen erfahren, also nicht als Uebergangs- sondern als Endproducte des Stoffwechsels auftreten und somit als Secrete betrachtet werden können. Es ist daher kaum zu bezweifeln, das wenn überhaupt dem Gummi ein bestimmter Dienst im Leben der Pflanze zufällt, derselbe auf den chemischen oder physikalischen Eigenschaften beruhen muss, welche dem Gummi als solchem eigen sind. Je nach dem verschiedenen anatomischen Vorkommen dieses Körpers, welches ja bekanntlich ein ziemlich mannichfaltiges ist, wird auch seine physiologische Bedeutung besonders geprüft werden müssen, und es soll hier nur von demjenigen Gummi die Rede sein, welches im Holze der Laubbäume entsteht, zu welchem ja auch die grösste Menge des von der Pflanzenwelt gelieferten Gummis, namentlich des Gummi arabicum und die ebenfalls von Mimosaceen abstammenden verwandten Gummiarten, sowie das Gummi des Kirschbaums und anderer Amygdalaceen gehören;

30 d. nat. Gr.

Fig. 2.



I b  
F 1

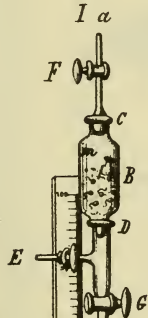
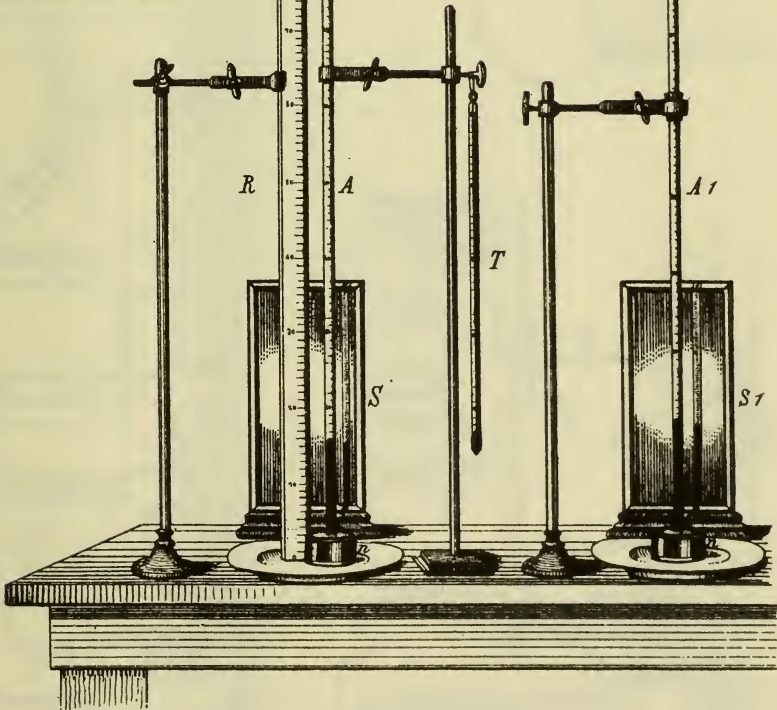


Fig. 7.



Gez. u. lith. A. Greiner.



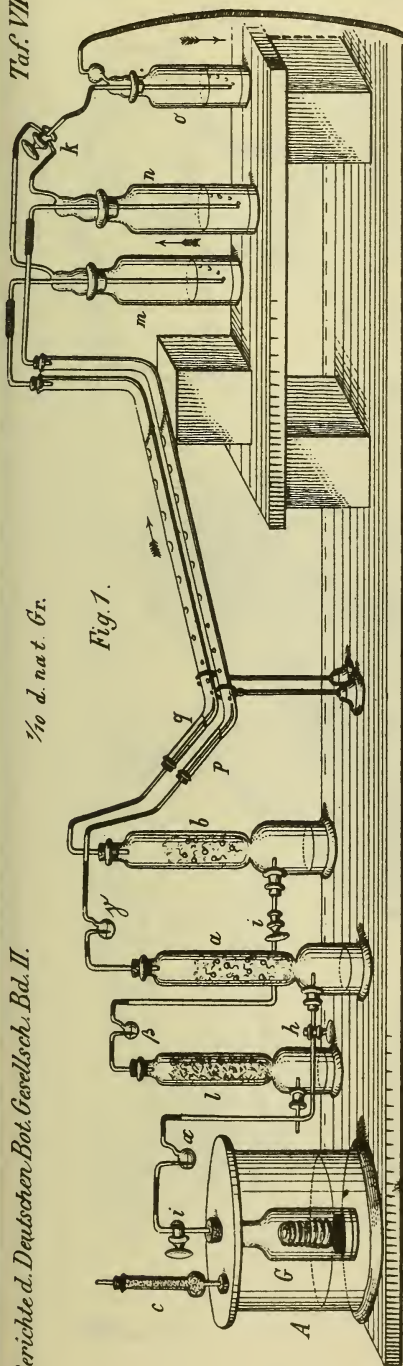
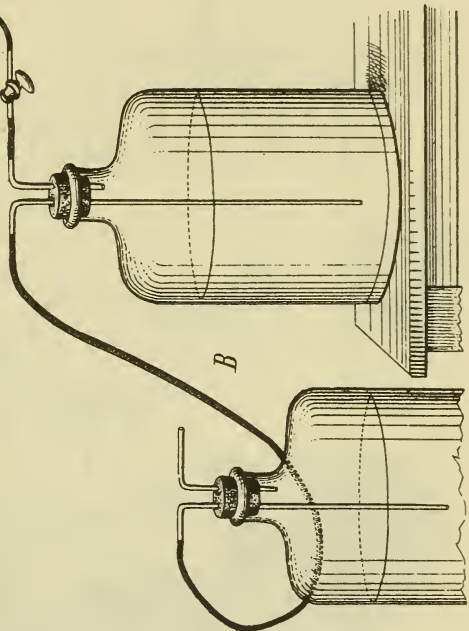
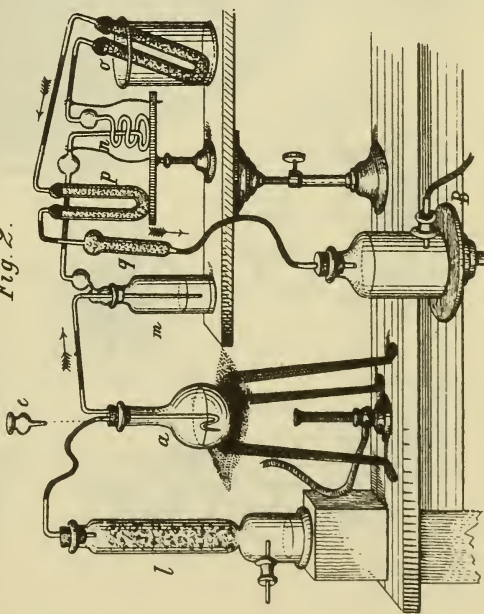


Fig. 1.

Fig. 2.



Gez. u. lith. A. Graener.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Moeller Hermann

Artikel/Article: [Ueber Pflanzenathmung. 306-321](#)