

XX.

Über die Beziehungen der intramolecularen zur normalen Athmung der Pflanzen¹⁾.

Von

Julius Wortmann.

Die Thatsache, dass die Pflanze ebenso wie das Thier den Sauerstoff aus der sie umgebenden Luft in ihre Gewebe aufnimmt und dafür Kohlensäure der Atmosphäre zurückgibt, mit anderen Worten, dass die Pflanze athmet, muss als eine der neueren Entdeckungen der Pflanzen-Physiologie angesehen werden.

MALPIGHI und HALES erkannten zwar, dass zwischen der Pflanze und der atmosphärischen Luft ein Gasaustausch vor sich gehen müsse, indem sie constatirten, dass in den Blättern die Nahrung der Pflanze bereitet würde, auch fand PRIESTLEY, dass die Pflanzen die durch thierische Athmung verdorbene Luft wieder reinigen konnten, allein der directe experimentelle Nachweis gerade für die Athmung der Pflanzen wurde erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts durch INGENHOUS²⁾ auf qualitativem Wege, später 1804 durch die einfachen, aber unübertrefflichen Experimente TH. DE SAËS-SURE's auch quantitativ gebracht.

Indem INGENHOUS seine Versuche mit verschiedenen Pflanzentheilen anstellte, fand er sehr bald, dass nicht alle die Luft verbesserten, also Sauerstoff ausschieden, sondern er überzeugte sich, dass nur den Blättern, überhaupt nur den grün gefärbten Organen jene Fähigkeit inne wohnt. Weiter fand er, dass dieser Process nur dann vor sich geht, wenn jene grünen Pflanzentheile von hinreichend intensivem Licht getroffen werden. In der Finsterniss oder auch schon im Schatten verhielten sie sich ebenso wie alle anderen Pflanzentheile, von denen er constatirte, dass sie in analoger Weise wie das Thier stets den Sauerstoffgehalt der Luft verringern, den Gehalt an Kohlensäure aber vermehren. INGENHOUS hat also schon jene beiden vollständig von einander unabhängigen Prozesse der Assimila-

1) Als Dissertation der philosophischen Facultät in Würzburg vorgelegt 1879.

2) INGENHOUS, Über die Ernährung und Fruchtbarkeit des Bodens. 1796.

tion und der Athmung unterschieden, daher gebührt ihm auch das Verdienst, der Begründer der Athmungslehre zu sein.

Eine wirkliche Einsicht jedoch in die Natur dieser Thatsachen gewann man durch die von SAUSSURE angestellten zahlreichen quantitativen Untersuchungen, welche er in den im Jahre 1804 erschienenen: »recherches chimiques sur la végétation« veröffentlichte.

Durch genaue Vergleichung der Menge des eingeathmeten Sauerstoffs mit der in gleicher Zeit ausgeschiedenen Kohlensäure gelangte SAUSSURE zu dem Resultate, dass jene Mengen gleich sind, dass also für ein Volumen aufgenommenen Sauerstoffs ein gleiches Volumen Kohlensäure von der Pflanze zurückgegeben wird¹⁾. Ferner zeigte er, dass bei Abwesenheit von Sauerstoff das Wachstum überall, auch bei Keimpflanzen, sofort sistirt wird.

SAUSSURE ging noch weiter und wies nach, dass die Energie der Athmung in engster Beziehung zur Wachstumsenergie stände; er zeigte, dass in rasch sich entfaltenden Pflanzentheilen, in Knospen, Blüten u. s. w., der Athmungsprocess viel energischer ist als in langsam wachsenden oder schon ausgewachsenen Organen.

Aus der von LAVOISIER gemachten Entdeckung, dass im thierischen Organismus durch Vereinigung von Sauerstoff und Kohlenstoff zu Kohlensäure die thierische Eigenwärme erzeugt wird, schloss SAUSSURE, dass demnach bei der Athmung in der Pflanze ebenfalls Wärme entstehen müsse. Durch im Jahre 1822 mit aufbrechenden Blüten angestellte Untersuchungen gelangte SAUSSURE denn auch zu dem Resultate, dass die Erwärmung der Blüten als infolge der Athmung entstanden angesehen werden müsse.

Hiermit war also die Eigenwärme der Pflanzen erkannt und nachgewiesen, und dadurch auch in Bezug auf die Athmung der bis dahin noch bestandene Gegensatz zwischen Pflanze und Thier vollständig aufgehoben.

Hätte SAUSSURE die ganze aus seinen Versuchen sich ergebende Theorie der Athmung zusammenhängend ausgesprochen, so würde wahrscheinlich die gesammte Lehre von der Ernährung der Pflanzen nicht so ins Stocken gerathen sein, wie es thatsächlich während des Zeitraums der darauf folgenden 30 Jahre der Fall war, indem man nicht allein die Versuche SAUSSURE'S nicht zu würdigen wusste, sondern immer wieder darauf zurückkam, jene Vorgänge als Wirkungen der sogenannten Lebenskraft aufzufassen.

Es war DUTROCHET vorbehalten, durch seine im Jahre 1873 angestellten Versuche theils die von SAUSSURE aufgefundenen Thatsachen zu bestätigen, theils neues Licht in die bis dahin allgemein noch nicht verstandenen

1) Fettthaltige Samen verhalten sich in dieser Beziehung anders. SAUSSURE zeigte, dass dieselben eine geringere Quantität Kohlensäure ausathmen, als der des eingeathmeten Sauerstoffs entspricht.

Athmungsvorgänge zu bringen. Obwohl SAUSSURE die Eigenwärme der Pflanzen entdeckt hatte, hatte man dennoch kein großes Gewicht hierauf gelegt, weil man vergeblich versucht hatte, außer in Blüten irgend eine Temperaturerhöhung in einem Pflanzengewebe, z. B. in einem Stengel, in einer Wurzel etc. nachzuweisen.

DUTROCHET fand jedoch mit Hilfe des von ihm angewendeten thermo-electrischen Apparates, dass alle wachsenden Pflanzentheile Wärme, wenn auch nur in geringeren Quantitäten, erzeugen. Sein Verdienst ist es auch, den Gegensatz zwischen Assimilation und Athmung scharf hervorgehoben zu haben, indem er die vollständige Unabhängigkeit dieser beiden nebeneinander verlaufenden Processe nachwies.

Von einigem Nachtheil für die Entwicklung der Athmungslehre aber war jetzt die von LIEBIG¹⁾ aufgestellte Behauptung, die Pflanze athme überhaupt nicht. Zu dieser Negation der Athmung gelangte LIEBIG durch die Vorstellung, dass die von den Blättern an die atmosphärische Luft abgegebene Kohlensäure vorher in dem in den Geweben sich befindenden Wasser gelöst gewesen und durch die Verdunstung desselben erst an die Atmosphäre gelangt sei. Demnach wurde nach ihm diese Kohlensäure nicht in der Pflanze erzeugt, sondern sie entstammte dem Boden, in welchem sie durch das von den Wurzeln aufgenommene Wasser gelöst und so den Blättern zugeführt werden sollte. Diese, den schon früher gemachten Beobachtungen widersprechende Ansicht LIEBIG's wurde von GARREAU²⁾ vollständig beseitigt, welcher durch zahlreich angestellte Versuche aufs Neue die schon von INGENHOUS und seinen Nachfolgern aufgefundenen Thatsachen begründete.

Trotzdem die Vorgänge der Assimilation und der Athmung soweit erfolgt waren, war es den meisten Pflanzen-Physiologen immer noch nicht möglich, beide Processe von einander getrennt aufzufassen. Die Gesamtwirkung beider Processe unterschied man als Tages- und Nachtathmung, wodurch man bezeichnen wollte, dass die mit grünen Blättern versehene Pflanze am Tage Kohlensäure ein- und Sauerstoff ausathmete, dass in der Nacht dagegen ein umgekehrter Process vor sich ginge. Die wichtige Thatsache, dass jene sogenannte Nachtathmung auch am Tage stattfindet, aber nur von der Assimilation (der Tagesathmung) verdeckt wird, wurde gar nicht weiter beachtet.

Auch GARREAU's Darstellung der thatsächlichen Verhältnisse schlug nicht durch, und erst seit dem Erscheinen der Experimental-Physiologie von SAEUS, wo alle die Athmung betreffenden Thatsachen bis 1865 zusammengestellt und theoretisch verwerthet wurden, konnte die wahre Athmung

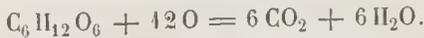
1) LIEBIG, Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 1842. IV. Aufl. pag. 29.

2) GARREAU, Ann. des sc. nat. 1854.

der Pflanzen wieder als ein wohlbegründeter Theil der Pflanzen-Physiologie gelten.

Den ganzen Athmungsprocess, den Vorgang, durch welchen von der lebenden Pflanze, der lebenden Zelle, stets Sauerstoff aufgenommen und dafür ein gleiches Volumen Kohlensäure der Atmosphäre zurückgegeben wurde, fasste man als eine vollständige Oxydation auf und erklärte ihn auf folgende Weise: Indem der durch die Zellhaut diffundirte Sauerstoff der atmosphärischen Luft einen Bestandtheil der Zelle, also etwa ein Zuckermolecül trifft, verbrennt er dasselbe vollständig zu Kohlensäure und Wasser.

Der ehemische Process, wie man ihn sich abspielen dachte, würde z. B. durch folgende Formel ausgedrückt werden können:



Die ausgeschiedenen 12 Volumina Kohlensäure entweichen in die umgebende Luft und nehmen dort den Platz der 12 verbrauchten Sauerstoffvolumina ein.

Durch den Athmungsprocess ist also nothwendigerweise für die Pflanze ein Substanzverlust bedingt, der aber durch die assimilirende Thätigkeit stets wieder ersetzt wird, während derselbe allerdings bei im Finstern keimenden Samen und wachsenden Pflanzen bis zur Hälfte des ursprünglichen Trockengewichtes anwachsen kann.

Wird die lebende Pflanze oder Zelle der Einwirkung des Sauerstoffs entzogen, so hören alle sichtbaren Bewegungen derselben auf; jede Empfindlichkeit für Reiz geht verloren, die Strömungen des Protoplasmas werden sistirt. Doch tritt nicht augenblicklicher Tod ein, sondern die Pflanze hat die Fähigkeit, einige Zeit lang, unter Umständen sogar Wochen lang, in einer sauerstofffreien Luft existiren zu können, ohne ihr Verweilen darin mit dem Leben zu büßen. Bei erneuerter Zufuhr von Sauerstoff erwachen die eingeschlummerten Thätigkeiten wieder, die reizbaren Organe erlangen von Neuem ihre Empfindlichkeit, das Protoplasma setzt sich nach und nach wieder in Bewegung, überhaupt alle Organe functioniren wieder wie zuvor.

Hier würde nun allerdings die Vermuthung gerechtfertigt erscheinen, dass während dieses bei Abwesenheit von Sauerstoff entstandenen Starrezustandes, während dieses gewissermaßen eingetretenen Scheintodes der Pflanze, jeglicher Gasaustausch zwischen ihr und der sie umgebenden Luft unterdrückt würde, vor allen Dingen aber, dass keine Bildung von Kohlensäure stattfände, da ja die durch den Athmungsprocess unterhaltene Oxydation vernichtet ist.

Allein PFLÜGER¹⁾ wies im Jahre 1875 nach, dass vom lebenden Organismus trotz der Abwesenheit von Sauerstoff dennoch einige Zeit lang Gas, und zwar Kohlensäure ausgeschieden würde. Sein Versuchsobject bestand

1) PFLÜGER, Archiv für Physiologie. 1875. Bd. 10.

in einem Frosche, der unter einer mit Quecksilber abgesperrten Glasglocke in vollständig sauerstofffrei gemachter atmosphärischer Luft ungefähr 44 Stunden lang noch am Leben blieb und während dieser Zeit Kohlensäure abgab, welche also ohne Vermittlung des atmosphärischen Sauerstoffs entstanden sein musste. Diesen Vorgang der Kohlensäureabgabe bei Abschluss von Sauerstoff bezeichnete PFLÜGER mit dem Ausdrucke der »intramolecularen Athmung«.

Schon vorher war jener Vorgang der Kohlensäureausscheidung bei Abwesenheit von Sauerstoff im Würzburger bot. Institute als auch bei Pflanzen vor sich gehend aufgefunden worden. PFEFFER¹⁾ beobachtete nämlich, dass von Pflanzentheilen, welche sich in reinem Wasserstoffgase aufhielten, Kohlensäure fortdauernd abgegeben wurde. Ferner entdeckte man ebendasselbst, dass reife Früchte, z. B. Weinbeeren, welche man in einem ganz mit Quecksilber gefüllten Reagensgläschen hatte aufsteigen lassen, nach und nach Gas ausschieden, welches als Kohlensäure erkannt wurde. Diese Thatsache wurde an verschiedenen Früchten constatirt.

Das Wesen dieser intramolecularen Vorgänge wurde indessen von verschiedenen Forschern ganz verschieden aufgefasst und gedeutet. So sieht BORODIN die intramoleculare Athmung als in gar keinem oder doch nur sehr geringem Zusammenhange mit der normalen Athmung stehend an. Pag. 7 seiner Abhandlung²⁾ sagt er z. B.: »Dès que la combustion interne entre en jeu, le développement des organes de la plante s'arrête tout court et ne recommence qu'aux dépens de l'oxygène libre. Donc le phénomène de combustion interne ne peut être envisagé que comme un signe d'altération de plus en plus prononcée«. Und weiter: »En tout cas la combustion interne et la respiration normale sont deux phénomènes parfaitement distincts. n'offrant qu'une faible analogie entre eux«.

BORODIN nennt jenen erwähnten Vorgang also nicht »Athmung«, sondern er bezeichnet ihn als »innere Verbrennung«.

PFEFFER³⁾ dagegen misst der intramolecularen Athmung eine bei Weitem größere Bedeutung in Bezug auf die normale Athmung bei; er betrachtet sie grade als in engstem Zusammenhange mit der normalen Athmung stehend und sucht in ihr die Ursache, durch welche die Sauerstoffathmung ins Leben gerufen wird.

Diese verschiedenen Auffassungen über die Bedeutung der intramolecularen Athmung, als auch der Mangel hinreichenden empirischen Beweismaterials, ausreichender experimenteller Untersuchungen für die Richtigkeit der einen oder der anderen Erklärung waren es, welche mich veran-

1) Arbeiten des bot. Instituts zu Würzburg. 1874. Bd. I.

2) BORODIN, Sur la respiration des plantes pendant leur germination. (Communication préliminaire.)

3) PFEFFER, Das Wesen und die Bedeutung der Athmung in der Pflanze. Separat-Abdruck aus: Landwirthschaftliche Jahrbücher. 1878.

lassten, einige neue Versuche über die Erscheinungen der Athmung, besonders über die der intramolecularen Athmung anzustellen. Die nachfolgend mitgetheilten Untersuchungen führte ich im Winter 1879 im bot. physiologischen Institute zu Würzburg aus.

Da die Jahreszeit es nicht erlaubte, mit Blatt- oder Blütenknospen, rasch wachsenden Internodien etc. zu operiren, so bediente ich mich für meine Versuche fast ausschließlich keimender Samen von *Phaseolus multiflorus*, *Phaseolus vulgaris* und *Vicia Faba*. Es wurden nur ausgelesene, gute Samen verwendet. Dieselben wurden jedesmal gut gewaschen, blieben darauf 24 Stunden lang in Wasser liegen und wurden so vollständig imbibirt in Töpfe mit feuchtem Sägemehl gebracht. Die Töpfe befanden sich in einem aus Zink gefertigten, geräumigen Wärmkasten, in welchem durch oft wiederholtes Einbringen von heissem Wasser eine während des Tages und während der Nacht ziemlich constant erhaltene Temperatur von ungefähr 20° C. herrschte.

Da es für mich zunächst darauf ankam, die in Betreff der intramolecularen Athmung anderweitig schon gemachten Versuche durch eigene zu prüfen, so mussten mithin folgende Fragen erledigt werden:

1. Wird durch Abschluss von Sauerstoff das Leben der Pflanze vernichtet?

2. Ist die durch intramoleculare Athmung bedingte Kohlensäureausscheidung an die lebende Zelle gebunden?

3. Wird, nachdem sämmtlicher Sauerstoff eines abgeschlossenen Luftvolumens verbraucht ist, ausser Kohlensäure noch ein anderes Gas ausgeschieden?

4. Findet die Kohlensäureausscheidung nur in wachsenden Organen statt, und wenn nicht, wird von einem im Wachsthum begriffenen Pflanzentheile in derselben Zeit mehr Kohlensäure entbunden als von einem bereits ausgewachsenen?

5. Findet bei Sauerstoffabschluss Wachstum statt?

Zur Erledigung der ersten Frage brachte ich die aus dem Sägemehl genommenen, abermals gewaschenen, keimenden Samen in lange, 400 cm fassende Absorptionsröhren, in deren unteres offenes Ende Quecksilber, das von einer 2—3 mm hohen Wasserschicht bedeckt war, ungefähr 20 bis 30 mm weit hineinragte. Durch ein in die Röhre geschobenes Korkstückchen wurden die Samen von der Berührung mit dem Quecksilber abgehalten. Die auf dem Quecksilber liegende Wasserschicht diente einerseits dazu, die Samen vor den sonst sich entwickelnden Quecksilberdämpfen zu schützen, andererseits aber wurde die eingeschlossene Luft stets feucht erhalten. Die Samen verweilten nun mehrere Tage lang in dieser abgesperrten Luft und zwar stets so lange, bis eine deutliche Volumenzunahme (von 20—25 mm), dem entsprechend ein Sinken des Quecksilbers stattgefunden hatte. Man war also jetzt sicher, dass sämmtlicher vorher in der

Luft enthalten gewesener Sauerstoff vollständig verbraucht war. Wurden die Samen jetzt herausgenommen und wieder in feuchtes Sägemehl gebracht, so keimten fast alle, bis auf wenige Ausnahmen, weiter.

Für die Versuche, welche über die zweite Frage entscheiden sollten, ob also die getödtete Zelle im Stande ist, analog der lebenden bei Abwesenheit von Sauerstoff noch Kohlensäure auszuschcheiden, wurden die auf obige Weise behandelten Samen ungefähr 25 Minuten in Wasser getaucht, welches eine Temperatur von 75° R. besass, so dass man vollständig sicher war, dass das Leben in ihnen erloschen sei. Um durch nachherige Berührung mit der atmosphärischen Luft die Ausiedelung von Bacterien auf den Samen zu vermeiden, so wurden dieselben in noch ganz heißem Zustande schnell unter Quecksilber und von da aus ins Vacuum gebracht.

Dieses stellte ich mir auf folgende Weise her: Eine etwa 95 bis 400 cm lange, 4,5 cm weite, an dem einen Ende zugeschmolzene, ziemlich starkwandige Glasröhre wurde mit gereinigtem, ganz trockenem Quecksilber gefüllt und umgekehrt in ein weites, flaches, theilweise ebenfalls mit Quecksilber angefülltes Glasgefäß gestellt. Der auf diese Weise construirte Apparat war also ein Barometer mit ziemlich großer Torricelli'scher Leere. Um bei der Füllung der Barometerröhre das Adhären von Luftblasen an den Wänden derselben zu verhindern, ließ ich das Quecksilber durch einen mit ziemlich feiner Spitze endigenden Trichter und von hier aus durch eine dünne Glasröhre, welche bis auf den Boden der Barometerröhre reichte, laufen. Durch diese Manipulation war das Quecksilber gezwungen, nur ganz allmählich bis zum oberen Rande der Röhre zu steigen¹⁾.

Brachte ich die getödteten Samen schnell, in noch ganz heißem Zustande, so dass sie mit der atmosphärischen Luft nur ganz kurze Zeit in Contact gewesen waren, ins Vacuum, so konnte ich nicht die geringste Ausscheidung von Kohlensäure beobachten, während ebenfalls getödtete Samen, die aber einige Zeit an der Luft verweilt hatten, in einem zweiten Vacuum in derselben Zeit ziemliche Quantitäten von Kohlensäure producirten. Bei nachheriger mikroskopischer Untersuchung dieser Samen aber stellte sich heraus, dass auf ihnen zahlreiche Bacterien sich angesiedelt hatten, die gebildete Kohlensäure also kein Product der intramolecularen Athmung war.

Diese Versuche zeigen mithin, dass die molecularen Umlagerungen in der Zelle, als deren äußeres wahrnehmbares Zeichen eben die Kohlensäure auftritt, streng an den lebenden Organismus gebunden sind.

1) Bemerken will ich noch, dass nach beendigtem Versuche das ganze Quecksilber jedesmal von Neuem gereinigt und getrocknet wurde. Die Reinigung geschah in der Weise, dass man das Quecksilber in sehr dünnen, feinen Strahlen durch eine lange Glasröhre, ein Gemisch von Alkohol mit sehr verdünnter Salpetersäure enthaltend, laufen ließ. Hierauf wurde dasselbe auf ein fein durchlöcheres Filter gebracht, von wo aus es durch eine lange, heiße Glasröhre in ein untergestelltes trocknes Glasgefäß tropfte.

Behufs qualitativer Untersuchung des durch den intramolecularen Athmungsprocess ausgeschiedenen Gases ließ ich Keimpflanzen sowohl von *Vicia Faba* als auch von *Phaseolus multiflorus* in ganz mit Quecksilber gefüllten, graduirten, mit der Mündung unter Quecksilber sich befindenden Reagenscylindern aufsteigen. Nach 2 bis 3 Tagen war jedesmal ein ziemliches Gasvolumen ausgeschieden worden, welches aber von in geringer Menge eingebrachter, stark concentrirter Kalilösung vollständig absorbirt wurde, sich demnach als nur aus Kohlensäure bestehend erwies. Diese Versuche wurden im Vacuum wiederholt; allein auch hier war es mir unmöglich, selbst bei längerer Versuchsdauer und unter Anwendung größerer Quantitäten von Samen, irgend ein anderes Gas nachzuweisen als Kohlensäure. Ich lasse es jedoch dahingestellt, ob nicht bei verschiedenen anderen Versuchsobjecten dennoch geringe Quantitäten von Alcohol nachzuweisen sind. Jedenfalls aber treten andere gasförmige Producte bei Keimpflanzen nicht auf, und ich habe infolge dessen die bei den Versuchen ausgeschiedenen Gasmengen immer als reine Kohlensäure betrachtet.

Da der normale Athmungsprocess in den im Wachstum begriffenen oder sich entfaltenden Organen energischer ist als in den bereits ausgewachsenen, so lag es nahe, diese Organe auch hinsichtlich ihres Verhaltens bei Sauerstoffabschluss zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke ließ ich Samen verschieden lange Zeit keimen, bis sich in der Länge ihrer Keimwurzeln eine ziemliche Differenz bemerkbar machte. Diese Samen wurden nun ihrer Samenschale entkleidet, und darauf die Cotyledonen mittelst eines scharfen Messers vorsichtig von den Keimen abgelöst. Diejenigen Keime, welche in der Länge ihrer Keimwurzeln übereinstimmten, wurden immer in gleicher Anzahl zusammengebracht. Nachdem sowohl das Gewicht der Samenschalen, als auch das der Cotyledonen und Keime ermittelt war, wurden sie in die schon beschriebenen Absorptionsröhren gebracht. Für die genaue Temperaturablesung hing an jeder Absorptionsröhre ein Thermometer, welches noch Zehntel-Grade abzulesen gestattete.

Die Pflanzen blieben nun gleiche Zeit, etwa 2, 3 oder 4 Tage lang, in dem abgeschlossenen Luftvolumen, bis ein guter Überschuss an Kohlensäure producirt war, welche nun mittelst eingebrachter concentrirter Kalilösung absorbirt wurde. Die Differenz der Volumina¹⁾ vor und nach der Absorption bezeichnete die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure, welche aber noch um das Volumen der für eingeathmeten Sauerstoff in gleichem Verhältniss ausgeathmeten Kohlensäure vermindert werden musste, um nur die durch intramoleculare Athmung entstandene Kohlensäuremenge zu ergeben.

1) Die Volumina wurden natürlich immer auf dieselbe Temperatur und gleichen Barometerstand reducirt. (Siehe pag. 540.)

Eine Reihe von Versuchen dieser Art wurde auch im Vacuum angestellt, wo natürlich die Volumvermehrung direct die Menge der intramoleculär erzeugten Kohlensäure angab.

Ich will hier auf die Art und Weise, wie die in den Absorptionsröhren und der Barometerröhre eingeschlossenen Gasvolumina abgelesen und berechnet wurden, nicht näher eingehen, da ich hierauf später, wo es sich um die Vergleichung der durch normale und intramoleculäre Athmung ausgeschiedenen Kohlensäuremengen handelt, noch ausführlich zurückkommen muss. Zur Übersicht führe ich hier nur einige der erhaltenen Resultate an:

	Anzahl der Samen und Keime.	Gewicht in Gramm.	Versuchsdauer in Stunden.	Ausgeschied. CO ₂ in cem.	Ausgeschied. CO ₂ von 1 Gr. in 24 St.	Länge der Keimwurzeln in mm.
Cotyledonen von <i>Vicia Faba</i>	8	2,92	24	2,98	4,02	400
Cotyledonen von <i>Vicia Faba</i>	40	2,86	24	3,08	4,07	5
Cotyledonen von <i>Phaseolus multiflorus</i>	43	14,9	24	43,49	4,4	5
Keime von <i>Phaseolus multiflorus</i>	2	0,44	24	0,55	4,25	25
Keime von <i>Phaseolus multiflorus</i>	4	0,54	24	0,629	4,23	70
Keime von <i>Phaseolus multiflorus</i>	5	4,72	48	4,48	4,2	40

Aus obiger Tabelle ersieht man zwar, dass die Keime (also die wachsenden Organe) verhältnissmäßig mehr Kohlensäure auszusecheiden im Stande sind als die Cotyledonen (die ausgewachsenen Organe), doch macht sich nur eine geringe Differenz bemerkbar¹⁾. Ich habe daher später mit aufbrechenden Compositenblüthen, bei denen also der normale Athmungsprocess energischer war, Versuche angestellt und gefunden, dass bei denselben die durch intramoleculäre Athmung erzeugte Kohlensäurequantität in gleicher Proportion zunimmt. Blütenköpfe von *Doronicum eucasiense* lieferten bei normaler Athmung in 24 Stunden pro Gramm 4,08 cem Kohlensäure, während gleiche Mengen in derselben Zeit bei Sauerstoff-Abwesenheit 3,38 cem producirten. In raschem Wachsthum begriffene Stengeltheile von *Paeonia peregrina* verhielten sich ebenso.

Bei den Samenschalen gelang es mir niemals, irgend eine Spur von ausgeschiedener Kohlensäure nachzuweisen, so dass dieselben als vollständig inactiv betrachtet werden mussten. Ich habe daher späterhin sämmtliche für die Versuche hergerichteten Samen ihrer Schale entkleidet.

1) Da die Zimmertemperatur am Tage nur 16—18° betrug, in der Nacht aber noch niedriger war, so war offenbar das Wachsthum der Keimwurzeln vorher nicht energisch genug gewesen.

Um über die Thätigkeit des Wachstums im sauerstofffreien Raume zu entscheiden, wurden sowohl eben in Keimung begriffene Samen, deren Keimwurzel also höchstens 5 mm lang war, als auch solche mit schon 60 bis 100 mm langer Keimwurzel verwendet. Auf den längeren Keimwurzeln wurden mittelst chinesischer Tusche Marken von 5 zu 5 mm aufgetragen. Die Zeitdauer der Versuche war eine verschiedenen lange; es ist mir indessen niemals gelungen, auch nur das geringste Wachstum constatiren zu können. Auch habe ich verschiedene Male beobachtet, dass auf zufällig in horizontaler Lage sich befindende Keimwurzeln der Geotropismus durchaus keinen Einfluss geltend machte, was doeh offenbar bei erfolgtem Wachstum der Fall gewesen wäre. Dieselben negativen Resultate erhielt ich später bei Anwendung von Stengeltheileu. Während z. B. ein 5 cm langes Stück eines Stengels von *Paeonia peregrina* in gewöhnlicher atmosphärischer Luft sich in 24 Stunden um 0,83 cm verlängerte, hatten während dieser Zeit im Vacuum sich befindende, ebenso lange Stengel derselben Pflanze die ursprüngliche Länge nicht um das Geringste überschritten. Zu Hilfe genommene Stengel von *Isatis tinctoria* zeigten dasselbe Verhalten.

Wenn man eine Anzahl Samen, Stengel, Wurzeln, Früchte etc. in gewöhnlicher atmosphärischer Luft athmen lässt, eine andere Anzahl aber bei Abschluss von Sauerstoff eine gleich lange Zeit, etwa 24 oder 48 Stunden, sich überlässt, so beobachtet man, dass diejenigen Pflanzentheile, denen der Zutritt von Sauerstoff gestattet war, ein größeres Volumen Kohlensäure producirt haben. Ich habe diese Versuche mehrfach nachgemacht, bin aber immer zu denselben Resultaten gelangt. Als ich jedoch die in ganz kurzen Zeiträumen — nach der ersten, zweiten und dritten Stunde — ausgeschiedenen Kohlensäuremengen mit einander verglich, so fand ich jedesmal, »dass das in dieser Zeit durch intramoleculare Athmung ausgeschiedene Kohlensäurevolumen dem durch normale Athmung erzeugten gleich ist«.

Da durch dieses aufgefundene Gesetz, wie wir später sehen werden, der Athmungsvorgang von einem anderen Gesichtspunkte aus aufgefasst werden kann, so will ich die Versuche, durch welche ich zu demselben gelangte, hier ganz ausführlich mittheilen.

Die Keimpflanzen, denen der Zutritt von Sauerstoff nicht gestattet werden sollte, brachte ich stets in das Vacuum. Dies hatte, außer dass die intramoleculare Thätigkeit sofort ungetrübt und ganz allein zum Vorschein kam, noch den großen Vortheil, dass die gebildete Kohlensäure sich in einem bedeutend größeren Raume verbreiten konnte, als es im luftefüllten Raume der Fall gewesen sein würde. Hierdurch aber waren die Ablesungsfehler auf ein Minimum beschränkt.

Nachdem die Samen abgesehält, mit Fließpapier getrocknet und gewogen waren, ließ ich dieselben in dem Quecksilber der Barometerröhre einzeln nach einander aufsteigen. Um sie während der Versuchsdauer

immer feucht zu erhalten, ließ ich ein mit ausgekochtem, luftfreiem Wasser durchtränktes Fließpapierkügelchen ebenfalls mit aufsteigen. Da die zu den Versuchen dienenden Barometerröhren nicht calibriert waren, so wurde nun der obere Stand des Quecksilbers in der Röhre durch eine in derselben Höhe angebrachte Papiermarke fixirt. Der untere Stand des Quecksilbers, also die Stelle, an welcher die Barometerröhre das in dem untergestellten Glasgefäß befindliche Quecksilber berührte, wurde ebenfalls durch eine Papiermarke bezeichnet¹⁾.

Sowie nach dem Einbringen der Samen das Quecksilber in der Röhre zur Ruhe gekommen war, wurden die Marken angeklebt, Zeit, Temperatur und Barometerstand bestimmt. Sollte ein Versuch beendigt werden, so wurde der nunmehrige obere Stand des Quecksilbers markirt und abermals Zeit, Temperatur und Barometerstand abgelesen. Die fixirten Quecksilberhöhen wurden sodann gemessen und die ihnen correspondirenden Volumina ermittelt. Letzteres geschah, indem man aus einer Bürette Quecksilber bis zu den die verschiedenen Volumina anzeigenden Marken fließen ließ. Bei sämtlichen Versuchen wurden die Volumina auf 0° C. und 1000 mm Hg. reducirt.

War z. B. bei Anfang des Versuchs

V_0 das Volumen,

h die Höhe des Quecksilbers in der Barometerröhre,

t die Temperatur und

b der Barometerstand,
bezeichnet ferner

ts die der Temperatur entsprechende Tension des Wasserdampfes
auf das Quecksilber der Röhre und

α den Ausdehnungscoefficienten der Luft,

so war das reducirt Volumen :

$$V = \frac{b - h + ts}{1000} \cdot \frac{V_0}{(1 + \alpha \cdot t)}$$

War V das Volumen beim Beginne des Versuches, V_1 das etwa nach einer Stunde berechnete Volumen, so war mithin $V_1 - V$ das in dieser Zeit ausgeschiedene Kohlensäurequantum. Da beim Vacuum das Anfangsvolumen gleich Null war, so bezeichnete V_1 direct die ausgeathmete Kohlensäuremenge.

Stets zu gleicher Zeit und gleich lange mit diesen bei Sauerstoffab-

1) Da diese untere Marke bei fortdauernder Gasausscheidung nach und nach vom Quecksilber bedeckt werden musste, so würde ich bei den weiteren Ablesungen jedesmal durch eine neu angeklebte Marke den unteren Quecksilberstand zu bezeichnen gehabt haben. Ich habe es jedoch vorgezogen, nur eine Marke zu benutzen, und habe daher vor jeder Ablesung das in das Gefäß ausgetretene Quecksilber bis zu dem Rand der Marke abgesehöpft. Hierdurch wurde zwar das Gasvolumen in der Röhre etwas ausgedehnt, aber die ganze Quecksilbersäule rückte ja dementsprechend auch mit herunter.

schluss angestellten Versuchen ließ ich Keimpflanzen in einem abgeschlossenen Volumen von gewöhnlicher atmosphärischer Luft athmen. Zu diesem Zwecke wurde eine Anzahl keimender Samen, welche fast das gleiche Gewicht mit den im Vaeuum sich befindenden hatten, in die schon beschriebenen Absorptionsröhren gebracht. Um das Heruntergleiten der Samen zu verhindern, wurde ihnen ein kleiner Pfropf reiner Baumwolle nachgeschoben, welcher der entstehenden Kohlensäure ungehinderten Durchgang gewährte. Die Absorptionsröhren wurden nun mit ihren unteren offenen Enden senkrecht in ein bis zur Hälfte mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß gestellt und ungefähr 20 bis 25 cem der in den Röhren enthaltenen atmosphärischen Luft durch Heraussaugen entfernt, wodurch natürlich das Quecksilber um ebenso viel emporstieg. Als Saugapparat bediente ich mich eines Glasballons, der mit einem Korke, durch welchen eine mit dünnem Kautschukschlauche versehene Glasröhre reichte, fest verschlossen war. Dieser Glasballon wurde nun erwärmt, bis ein guter Theil der in ihm enthaltenen Luft durch den Gummischlauch entwichen war. Der letztere wurde hierauf durch eine Klemme geschlossen und das Ende desselben eine Strecke weit in die Absorptionsröhre geschoben. Wurde nun die Klemme entfernt, so trat bei Abkühlung des Glasballons ein Theil der in der Absorptionsröhre enthaltenen Luft in den Glasballon ein¹⁾.

Das in der Röhre emporgestiegene Quecksilber wurde jetzt mit einer 2—3 mm dicken Wasserschicht bedeckt und hierauf das Volumen der eingeschlossenen Luft nach der angegebenen Methode berechnet. Dann ließ man ein kleines Stückchen von festem, kaustischem Kali in dem Quecksilber aufsteigen, welches sich in der über dem Quecksilber befindlichen Wasserschicht löste und jede Menge der ausgeathmeten Kohlensäure sofort absorbirte. Das Einbringen des Kalis gleich bei Beginn des Versuchs hatte den Vortheil, dass der Process der Kohlensäureausscheidung exacter verlief. Führt man nämlich im Anfang kein Kali ein, so beobachtet man jedesmal eine temporäre Verminderung des Volumens, die nur davon herrühren kann, dass eine geringere Menge Kohlensäure von dem Samen abgegeben wird, als der Menge des von ihnen aufgenommenen Sauerstoffs entspricht. Dass diese Volumverminderung nur in einem nach und nach mit Kohlensäure sich anfüllenden Raume stattfindet, hat schon BORODIN in seiner bereits eitirten Abhandlung ausgesprochen und hierfür auch den experimentellen Nachweis geliefert.

(BORODIN stellte zwei graduirte Absorptionsröhren nebeneinander, von denen jede einen keimenden Samen enthielt. In die eine der Absorptionsröhren brachte er gleich bei Beginn des Versuches Kali ein. Nach einigen Stunden erneuerte er schnell das in beiden Röhren enthaltene Luftvolumen

1) Durch Anwendung der Klemme hatte ich es natürlich in der Hand, ein beliebiges Luftvolumen aus der Röhre zu entfernen und dadurch das Quecksilber entsprechend steigen zu machen.

und beobachtete nun, dass in derjenigen Röhre, in welcher vorher das Alkali gewesen war, eine Volumverminderung eintrat, während in der anderen Röhre eine Volumvermehrung sich bemerkbar machte, die davon herrührte, dass die vorher in den Geweben des Samens festgehaltene Kohlensäure jetzt in die umgebende Luft diffundirte).

Das sofortige Einführen des Kalis hatte aber außerdem noch den Vortheil, dass der Versuch in jedem Augenblicke unterbrochen werden konnte, worauf es ja bei meinen vergleichenden Untersuchungen wesentlich ankam.

Sollte der Versuch sistirt werden, so wurde das in der Absorptionsröhre befindliche Volumen von Neuem gemessen. Die Differenz zwischen diesem letzteren Volumen und dem bei Anfang des Versuchs berechneten ergab demnach die Menge der in der gegebenen Zeit ausgeathmeten Kohlensäure.

Ich will jetzt zur Illustrirung des Gesagten einige der erhaltenen Resultate als Belege anführen.

Normale Athmung.

Anzahl der Samen.	Gewicht in Gramm.	Versuchsdauer in Stunden.	Ausgeschiedene CO ₂ in ccm.	Auf 1 Gramm in 1 Stunde reducirt.
5	3,66	5	2,4	0,13
7	5,07	14	6,35	0,089
7	5,34	14	6,87	0,092
8	4,545	8	3,53	0,096
7	5,135	7	3,495	0,097
10	5,0	23	10,694	0,093

Intramoleculare Athmung.

Anzahl der Samen.	Gewicht in Gramm.	Versuchsdauer in Stunden.	Ausgeschiedene CO ₂ in ccm.	Auf 1 Gramm in 1 Stunde reducirt.
5	3,52	7	2,73	0,14
5	3,57	7	4,99	0,079
7	4,99	7	3,518	0,100
6	4,3	7	2,807	0,093
8	5,0	8	2,594	0,065
10	5,45	7	2,528	0,066

Man sieht aus obigen Tabellen, dass die Zahlen, welche die von 1 Gramm in 1 Stunde ausgeschiedene Kohlensäuremenge angeben, nur um ein Geringes von einander abweichen. Der Grund dieser Differenz liegt darin, dass bei der intramolecularen Athmung schon während einer Versuchsdauer von 5 oder 7 Stunden die ausgeschiedenen Kohlensäurequanta nach

und nach geringer werden. Um zu erfahren, in welchem Maße die Energie der Kohlensäureausscheidung abnehmen würde, habe ich die im Vaeuum stündlich ausgeschiedenen Gasvolumina beobachtet, und führe hier einige Beispiele an:

I.

6 Samen von *Vicia Faba* wogen 4,3 Gramm. An Kohlensäure wurde von denselben producirt:

Während der ersten	Stunde:	0,534	ccm
»	» zweiten	»	0,504 »
»	» dritten	»	0,451 »
»	» vierten	»	0,422 »
»	» fünften	»	0,306 »
»	» sechsten	»	0,306 »
»	» siebenten	»	0,284 »

Mithin von 1 Gramm:

Während der ersten	Stunde:	0,424	ccm
»	» zweiten	»	0,417 »
»	» dritten	»	0,405 »
»	» vierten	»	0,098 »
»	» fünften	»	0,074 »
»	» sechsten	»	0,071 »
»	» siebenten	»	0,066 »

II.

5 Samen von *Vicia Faba* wogen 3,57 Gramm. An Kohlensäure wurde von denselben producirt:

Während der ersten	Stunde:	0,44	ccm
»	» zweiten	»	0,32 »
»	» dritten	»	0,27 »
»	» vierten	»	0,27 »
»	» fünften	»	0,25 »
»	» sechsten	»	0,22 »

Mithin von 1 Gramm:

Während der ersten	Stunde:	0,120	ccm
»	» zweiten	»	0,098 »
»	» dritten	»	0,075 »
»	» vierten	»	0,075 »
»	» fünften	»	0,070 »
»	» sechsten	»	0,064 »

Diese hier mitgetheilten Daten sollen nur zeigen, dass in den ersten Stunden der Versuchsdauer das Maximum der Kohlensäureausscheidung liegt, während in den folgenden Stunden sich schon eine allmähliche, aber

stetige Abnahme bemerkbar macht. Man ersieht aber klar, dass die in der ersten Zeit durch intramoleculare Athmung ausgeschiedene Kohlensäuremenge mit der in derselben Zeit durch normale Athmung hervorgebrachten identisch ist.

Die sub I und II angeführten Zahlen machen keineswegs Anspruch auf absolute Genauigkeit; die große Schwierigkeit, welche in einer genauen Ablesung und Ausmessung derartig kleiner Gasvolumina bei nicht einmal constanten Temperaturverhältnissen liegt, wird Jedem begreiflich erscheinen. Es muss hier eben mit der äußersten Sorgfalt operirt werden; jeder Beobachtungsfehler, und sei er noch so gering, wird schon einigen Einfluss auf das Resultat geltend machen. Handelt es sich darum, die täglich ausgeschiedenen Gasvolumina zu vergleichen, so ist einerseits die Ablesung leichter, andererseits wird ein gemachter Beobachtungsfehler 24mal geringer, so dass dem Resultate hierdurch weniger Abbruch geschieht.

Es könnte hier vielleicht den Anschein haben, als ob durch den Einwurf: die während der ersten Stunden von lebenden Samen im Vacuum ausgeschiedene Kohlensäure rühre von dem in den Samen noch enthaltenen Sauerstoff her, sei also ausschließlich ein Product normaler und nicht intramolecularer Athmung, die Gültigkeit des oben ausgesprochenen Gesetzes in Zweifel gezogen werden könnte. Eine Vergleichung jedoch der gesammten, während mehrerer Stunden hindurch im Vacuum ausgeschiedenen Kohlensäuremengen mit der in derselben Zeit durch normale Athmung hervorgebrachten, lässt jeden Zweifel schwinden. Wie man aus den pag. 512 mitgetheilten Tabellen sieht, ist die Differenz zwischen der in 5—7 Stunden intramolecular und normal ausgeschiedenen Kohlensäuremenge eine so minimale, dass der geringe Einfluss, welchen der anfänglich im Vacuum aus den Samen diffundirte Sauerstoff auf die Production der Kohlensäure ausübt, sofort einleuchtet. Noch weiter aber sehen wir, dass die Energie der Kohlensäureausscheidung sogar mehrere Tage lang, wo also die geringe Menge von Sauerstoff längst aufgebraucht ist, fast ungeschwächt erhalten bleibt und nur ganz allmählich abnimmt, wie folgende Versuche uns veranschaulichen mögen:

I.

8 Samen von *Vicia Faba* im Gewicht von 4,759 Gramm lieferten an Kohlensäure;

Am ersten	Tage:	5,704	cem
» zweiten	»	5,417	»
» dritten	»	5,045	»
» vierten	»	4,608	»
» fünften	»	4,553	»
» sechsten	»	4,329	»

1 Gramm demnach :

Am ersten	Tage:	4,18	ccm
» zweiten	»	4,13	»
» dritten	»	4,05	»
» vierten	»	0,96	»
» fünften	»	0,94	»
» sechsten	»	0,904	»

II.

40 Samen von *Vicia Faba* im Gewicht von 8,0 Gramm lieferten an Kohlensäure :

Am ersten	Tage:	40,73	ccm
» zweiten	»	8,52	»
» dritten	»	8,46	»
» vierten	»	7,80	»
» fünften	»	7,23	»
» sechsten	»	6,75	»

1 Gramm demnach :

Am ersten	Tage:	4,34	ccm
» zweiten	»	4,06	»
» dritten	»	4,02	»
» vierten	»	0,97	»
» fünften	»	0,90	»
» sechsten	»	0,84	»

III.

40 Samen von *Vicia Faba* im Gewicht von 7,95 Gramm lieferten an Kohlensäure :

Am ersten	Tage:	40,56	ccm
» zweiten	»	8,83	»
» dritten	»	7,95	»
» vierten	»	7,56	»
» fünften	»	7,48	»
» sechsten	»	6,69	»

1 Gramm demnach :

Am ersten	Tage:	4,32	ccm
» zweiten	»	4,41	»
» dritten	»	0,998	»
» vierten	»	0,95	»
» fünften	»	0,94	»
» sechsten	»	0,84	»

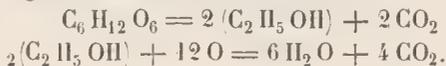
Theorien über die Athmung.

Nach der von mir mitgetheilten Thatsache, dass sämtliche beim Athmungsprocess entstehende Kohlensäure einzig und allein das Product der intramolecularen Vorgänge ist, dass man also den Sauerstoff der Atmosphäre bei der Bildung der Kohlensäure als nicht mitwirkend betrachten muss, lassen unsere bisherigen Anschauungen über die Athmung sich einigermaßen modificiren.

Während man früher den ganzen Athmungsprocess einfach als eine vollständige Verbrennung auffasste, durch welche die zu verathmende Substanz, das Zucker- oder Stärkemolecül, gänzlich zu Kohlensäure und Wasser verbrannt wurde, sah man sich, nachdem man zur Kenntniss der intramolecularen Athmung gelangt war, veranlasst, dieser Theorie einige Beschränkung aufzuerlegen. Man fasste, und dieses ist die von PFEFFER in seiner Abhandlung »Über das Wesen und die Bedeutung der Athmung in der Pflanze« vertretene Ansicht, den Process der Athmung als gleichsam in zwei Phasen vor sich gehend auf. Man suchte die Vorgänge durch die Annahme zu erklären, dass durch die ununterbrochen in der Zelle vor sich gehenden molecularen Umlagerungen das Zuckermolecül, wie es bei der Gährung der Fall ist, in Alcohol und Kohlensäure zerlegt würde. Diese Kohlensäure ist das nach Außen tretende Product der intramolecularen Thätigkeit, der Alcohol indessen werde im status nascens durch den eingedrungenen atmosphärischen Sauerstoff jetzt weiter vollständig zu Kohlensäure und Wasser oxydirt. Pag. 848 der eben eitirten Abhandlung heisst es wörtlich: »Dann entstammt beispielsweise bei der Verathmung eines Zuckerkörnchens ein Theil der entstehenden Kohlensäure der bei der intramolecularen Athmung vor sich gehenden Umlagerung, und nur der übrige Theil entsteht durch die vom Eingriff des Sauerstoffs abhängige Oxydation«.

Ferner pag. 845: »Wenn wir nun die Thatsache beachten, dass die Entstehung von Alcohol und ebenso von anderen Producten der intramolecularen Thätigkeit unterbleibt, wenn Sauerstoff in genügendem Maße Zutritt findet, so bieten sich nur zwei principiell verschiedene Möglichkeiten. Entweder müssen erst in Folge des Sauerstoffmangels die molecularen Umlagerungen ins Leben treten, welchen die Producte der intramolecularen Athmung ihre Entstehung verdanken, oder jene molecularen Umlagerungen dauern auch während der Sauerstoffathmung fort, nur kommen die bisherigen Producte intramolecularer Athmung nicht mehr zum Vorschein, weil sie, wie sie entstehen wollen, schon weiter oxydirt werden.«

Der chemische Process, den man sich nach dieser Erklärungsweise in der Zelle vor sich gehend zu denken hätte, würde beispielsweise durch folgende Formel ausgedrückt werden können:



Allerdings findet die durch diese Formel veranschaulichte Vorstellung von dem Ineinandergreifen der intramolecularen und der normalen Athmung durch das Experiment seine Bestätigung, aber nur dann, wenn man die Versuchsdauer nicht auf kleine Zeiträume beschränkt. Man findet dann auch, dass von den angewendeten Versuchsobjecten ohne Zutritt von Sauerstoff eine geringere Quantität an Kohlensäure producirt worden ist, als dieses bei fortdauernder Gegenwart von Sauerstoff der Fall ist; ob aber, wie es obige Formel verlangt, die in beiden Fällen ausgeschiedenen Kohlensäurevolumina im Verhältniss wie 4:3 stehen, ist eine Thatsache, die, auch wenn man die vergleichenden Versuche mehrere Tage andauern ließe, wohl schwerlich constatirt werden dürfte.

Wie ich gezeigt habe, müssen wir aber sämtliche durch den Athmungsprocess hervorgebrachte Kohlensäure als das alleinige Product der intramolecularen Thätigkeit ansehen und dürfen demgemäß dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft keine Mitwirkung bei der Bildung der Kohlensäure zuschreiben. Von diesem Standpunkte aus betrachtet aber drängt sich uns sofort die Frage auf: wie ist denn das Eingreifen des Sauerstoffs, der doch, wie nicht geleugnet werden kann, eine hervorragende Rolle in dem ganzen Athmungsprocess spielt, zu erklären, welche Bestimmung hat derselbe und worauf macht er seine Affinitäten geltend?

Sehen wir uns zur Beantwortung dieser Frage einmal nach denjenigen Substanzen um, welche bei dem Athmungsprocess direct betheiligt sind. Wie BOUSSINGAULT ¹⁾ nachgewiesen hat, sind nur die Kohlehydrate das Material, welches verathmet wird; der Kohlenstoff der ausgeathmeten Kohlensäure gehörte also ursprünglich einem Zucker- oder Stärkemolekül an. Aber die Kohlehydrate an und für sich zerfallen nicht von selbst in Kohlensäure und Wasser; die Kohlehydrate allein athmen nicht.

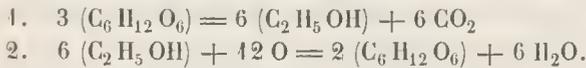
Auf der andern Seite sehen wir, dass der Körper, dem bei der Athmung die wichtigste Rolle zuertheilt ist, das Eiweiß, als solches ebenfalls passiv sich verhält. Reines Eiweiß athmet auch nicht. Nur das lebende Protoplasma ist es, welches im Stande ist, durch die fortwährend in ihm vor sich gehenden molecularen Verschiebungen diejenigen chemischen Processe anzuregen, deren Gesammtheit wir eben mit dem Ausdrücke der Athmung bezeichnen. Das lebende Protoplasma, das organisirte Eiweiß also, als welches wir uns ein inniges Gemenge von Eiweißmolekülen mit Molekülen der Kohlehydrate zu denken haben, ist im Stande zu athmen. Dieses ist die Basis, welche wir stets, wenn es sich um Erklärung der Athmungsvorgänge handelt, unseren Anschauungen zu Grunde legen müssen.

Nach den bis jetzt bekannten Thatsachen könnten wir uns von der Thätigkeit des Protoplasmas und der durch dieselbe hervorgerufenen Processe ungefähr folgende Vorstellung machen: Durch das fortwährend vor

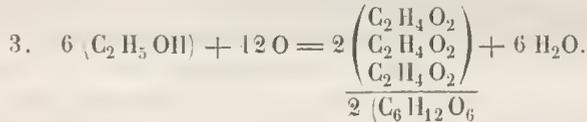
¹⁾ BOUSSINGAULT in Comptes rendus. 4864. pag. 58.

sich gehend gedachte Zerfallen der Protoplasmanmoleküle werden in der Zelle sich befindende Moleküle der Kohlehydrate dazu verwendet, jene Protoplasmanmoleküle sofort wieder zu restauriren, während andere Zuckermoleküle unter anderen als Producte jener stetigen Eiweißzersetzungen nun bei ihrem Entstehen fortdauernd in Alcohol und Kohlensäure zerfallen. Durch den in den Geweben sich aufhaltenden atmosphärischen Sauerstoff werden jetzt diese Alcoholmoleküle in statu nascendi oxydirt, aber nicht in dem Verhältniss, dass Kohlensäure und Wasser entsteht, sondern die Sauerstoffatome addiren sich in dem Maße zu den Alcoholmolekülen, dass dadurch Isomere der Essigsäure (natürlich unter entsprechendem Wasseraustritt) entstehen würden, deren Atome sich jedoch umlagern und wieder ein Zuckermolekül bilden ¹⁾.

Zur Veranschaulichung dieser ineinandergreifenden chemischen Prozesse mögen folgende beiden Formeln dienen:



Die zweite Formel will ich noch einmal, aber etwas übersichtlicher, den vor sich gehend gedachten Process mehr andeutend, folgendermaßen hinschreiben:



Diese letzte Formel gibt uns ein klares Bild darüber, wie man sich unserer Auffassung gemäß die Thätigkeit des Sauerstoffs vorstellen müsste. Obwohl derselbe auf das Alcoholmolekül von oxydirendem Einfluss ist, so wirkt er dennoch im Ganzen zugleich reducirend, indem er immer wieder die Moleküle des Zuckers restituirt. Vergleichen wir die erste Gleichung mit der zweiten, so sehen wir, dass, obwohl durch den Sauerstoff immer wieder Zucker gebildet wird, diese Neubildung dennoch nicht in dem Maße vor sich geht, als die ursprünglichen Zuckermoleküle zerfallen; für je drei derselben werden nur zwei regenerirt, indem aber nebenbei Wasser entsteht. Hierauf basirt eben der mit der Athmung nothwendigerweise verbundene Substanzverlust. Weil nämlich der Sauerstoff nicht im Stande ist, die zerfallenen Zuckermoleküle in ihrer ganzen Anzahl wiederherzustellen, so ist dadurch für die athmende Pflanze ein langsam fortschreitender Gewichtsverlust an Trockensubstanz bedingt.

Aber auch den volumetrischen Verhältnissen tragen obige Formeln

1. Man muss sich hier den Sauerstoff in derselben Weise agirend denken, wie z. B. der Sauerstoff der Salpetersäure auf den Alcohol einwirkt. Die Kohlenstoffatome der entstehenden Producte, Glyoxal, Glycolsäure, Glyoxylsäure, lagern sich mit ihren freien Valenzen aneinander und erzeugen Zuckermoleküle.

Reelmung. Wir sehen, dass für die 12 durch intramoleculare Thätigkeit entstandenen Kohlensäurevolumina eine gleiche Anzahl Volumina Sauerstoff wieder verbraucht wird; eine Thatsache, die ja durch das Experiment hinlänglich festgestellt ist.

Obwohl, wie wir soeben gesehen haben, durch die gegebenen Formeln sämmtliche uns bis jetzt über die Athmungsvorgänge bekannten Thatsachen zusammengefasst ausgedrückt werden, so machen dieselben doch keineswegs Anspruch darauf, die nun wirklich in der Zelle sich vollziehenden Umsetzungen vollständig darzulegen, sondern ihr Zweck ist der, zu zeigen, dass die Vorgänge, wie wir sie uns bei der Athmung sich abspielen denken, auch wirklich ehemisch möglich sind, und in diesem Sinne haben sie ihre volle Berechtigung.

Dass bei fortgesetzter alleiniger Thätigkeit der intramolecularen Athmung die Kohlensäureausscheidung nach und nach immer geringer wird, ist der mitgetheilten Auffassung der Athmungsvorgänge durchaus nicht widersprechend, wenn man annimmt, dass die Zuckermoleküle, welche bei Gegenwart von Sauerstoff regenerirt werden würden, jetzt nicht mehr verathmet werden können. Es treten also bei andauerndem Sauerstoffabschluss immer weniger Zuckermoleküle in die in Zerfall begriffenen Protoplasmamoleküle ein, dadurch können sie aber nach und nach immer weniger Protoplasmamoleküle regeneriren, wodurch dann schließlich auch der Tod der Pflanze eintritt.

Fragen wir uns nun, durch welches Agens und in welcher Weise die Eiweißmoleküle zerfallen, so sind wir bei den gegenwärtigen Kenntnissen, welche wir von der Natur der protoplasmatischen Substanzen besitzen, nicht im Stande, uns eine genügende Erklärung hierüber zu verschaffen. Erst wenn die Chemie so weit vorgeschritten sein wird, dass sie uns vollständigen Aufschluss über die Structur des Eiweißmoleküls geben kann, erst dann wird man mit Erfolg daran gehen können, den ganzen Mechanismus der Athmung in befriedigender Weise zu erklären. Vorläufig aber müssen wir uns an die bekannten Erscheinungen halten, und diese in Auge habend, wird man unwillkürlich darauf hingeführt, den ganzen durch den Athmungsproceß hervorgebrachten Wirkungen eine der Gährung ähnliche Ursache zu Grunde zu legen. In derselben Weise, wie das Zuckermolekül durch das Ferment in Alcohol und Kohlensäure zerfällt, wird auch durch die molekularen Umlagerungen im Protoplasma aus Zucker Alcohol und Kohlensäure gebildet. Es ist deshalb wohl angebracht, wenn wir von der Ursache der Athmung als von einer den Fermentwirkungen ähnlichen reden.

Für die Ansicht, dass die Ursache der Athmung auf einer fermentähnlichen Wirkung im Protoplasma basire, spricht sich CLAUDE BERNARD mit großer Entschiedenheit aus. Ich führe hier einige Stellen aus seinen »Leçons sur les phénomènes de la vie etc.« wörtlich an.

Bd. II. pag. 213. »C'est à une fermentation que nous comparons le mécanisme de la respiration. Selon nous, on doit dire »fermentation respiratoire«. Nous sommes convaincus que plus on ira plus on verra intervenir dans toutes les réactions de l'organisme ces actions, qu'on commence à mieux connaître les fermentations«.

»Pour nous résumer et formuler en peu de mots notre manière de voir, nous disons que la respiration a essentiellement pour but de produire de chaleur nécessaire à la vie, et qu'elle a pour mécanisme une action du genre des fermentations«.

Pag. 214 ff. »Quant au mécanisme (de la respiration), nous avons dit que c'était une fermentation. Quelque imparfaite que soit encore cette notion, elle s'éclaire cependant par toutes les analogies que nous présente la science physiologique«.

»L'idée d'assimiler toutes les phénomènes vitaux à des fermentations prend de plus en plus des racines dans la science. C'est pour ainsi dire le problème à l'ordre du jour«.

Wenn wir geseheu haben, dass erst durch die intramoleculare Thätigkeit der Sauerstoff veranlasst wird, sich an der Bildung ueuer chemischer Verbindungen zu betheiligen, so lernen wir auf der anderen Seite doch wieder den großen Einfluss des Sauerstoffs auf das Fortbestehen jener molecularen Umlagerungen einsehen. Wengleich die Pflanze die Fähigkeit besitzt, den Sauerstoff eine Zeit lang entbehren zu können, so müssen wir doch diesen dadurch für die Pflanze bedingten Zustand als einen nicht normalen, sondern als einen pathologischen betrachten, da nicht nur alle sonst durch das Leben hervorgerufenen Effecte vernichtet sind, sondern vor allen Dingen die Bedingungen zum Wachsthum sistirt sind.

Sollte die oben aufgestellte Theorie den chemischen Vorgängen entsprechen, so sind die physiologischen Vorgänge durch dieselbe indess noch nicht gedeutet, da sie durchaus nicht erklärt, wesshalb die intramoleculare Athmung allein für die Pflanzen keine Kraftquelle ist, wesshalb nur durch das Eingreifen des atmosphärischen Sauerstoffs die Kräfte frei werden, welche das Wachsthum bewirken. Die Erklärung dieser Thatsache ist es, auf welche die weitere Forschung zunächst Rücksicht nehmen muss.