



16. Juni. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Hr. Pringsheim las:

Über die primären Wirkungen des Lichtes auf die Vegetation.

Im Anschluss an frühere Mittheilungen erlaube ich mir hier der Akademie die Anschauungen darzulegen, zu welchen ich bei der Fortführung meiner Untersuchungen über die unmittelbaren oder primären Wirkungen des Lichtes auf die Vegetation gelangt bin.

Der Einfluss des Tageslichts und namentlich der Sonnenstrahlung auf die Vegetation macht sich bekanntlich in den Pflanzen an den verschiedenartigsten biologischen Phänomenen geltend.

Allein schon die äussere Betrachtung der hierher gehörigen Erscheinungen, soweit dieselben bis jetzt verfolgt sind, zeigt, dass es sich bei den Beobachtungen bisher nirgends um einfache Phänomene handelt, die in einer unmittelbaren und directen Beziehung zur Lichtwirkung stehen, sondern um äusserst complicirte Vorgänge, deren Zustandekommen auf einer verwickelten Combination der Lichtwirkungen mit den übrigen, vom Licht unabhängigen, physiologischen Processen in den Geweben beruht. Je nach der Organisation der Pflanze und nach der anatomischen Verschiedenheit der betreffenden Gewebe kann daher in einzelnen Fällen, wie zum Beispiel bei den Erscheinungen des sogenannten positiven und negativen Heliotropismus, die Lichtwirkung in der Pflanze zu scheinbar von einander abweichenden und sogar zu ganz entgegengesetzten Endresultaten führen.

Für das richtige Verständniss dieser noch dunklen Vorgänge und namentlich für die Erkenntniss des Antheils, den das Licht hierbei nimmt, kommt es daher vor Allem darauf an, die unmittelbaren Lichtwirkungen in der Pflanzenzelle selbst unter einfachen und klaren Bedingungen sicher festzustellen, um so die primären Wirkungen des Lichtes auf die Vegetation von den übrigen ursächlichen Momenten, die bei den heliotropischen und überhaupt im weitesten Sinne bei allen vom Lichte beeinflussten Erscheinungen

des Pflanzenlebens mitwirken, zu sondern und isolirt und in ihrer Reinheit hervortreten zu lassen.

Namentlich wird hierbei von wesentlicher Bedeutung, Wärmewirkung und Lichtwirkung in der Pflanze schärfer, als dies bisher in der botanischen Literatur geschah, in ihren unmittelbaren Effecten auf die Zelle zu unterscheiden und sich durch die Veränderungen, die sie in der Pflanzenzelle hervorrufen, klar zu machen, in wie weit besondere, von der Wärmeregung verschiedene, Lichtwirkungen der Strahlung auf die Vegetation vorhanden sind und worin diese thatsächlich bestehen.

Bei der einen, grossen Reihe von Erscheinungen des Pflanzenlebens, welche eine nachweisbare Abhängigkeit vom Lichte zeigen, liegt es nun von vornherein nahe, eine chemische Einwirkung des Lichtes auf die Pflanzensubstanz anzunehmen.

Für den Vorgang der Assimilation des Kohlenstoffes in den grünen Zellen ist dies von jeher geschehen.

Dies gilt jedoch auch für die Erscheinungen, die einen Einfluss des Lichtes auf die Transpiration, den Turgor, die Wachstumsgrösse der Gewebe und den Beginn der Entwicklung ruhender Organe andeuten.

Ferner gehören aber hierher auch unbedingt alle diejenigen Fälle, in welchen man eine Einwirkung des Lichtes auf die äussere morphologische Gestaltung der Pflanze wahrgenommen hat; zum Beispiel auf die symmetrische oder asymmetrische Ausbildung von Pflanzentheilen und auf den Ort der Neubildung von Seitenorganen.

Die Beziehung des Lichtes zu den bisher genannten Vorgängen pflegt man je nach dem äusseren Eindrücke, den das Resultat in der normalen Entwicklung der Pflanze hervorruft, bald als eine hemmende, bald als eine beschleunigende Wirkung des Lichtes auf den Stoffwechsel und das Wachstum der Gewebe zu bezeichnen. Diese kann ihrer Natur nach gewiss nur in einer chemischen Veränderung der Pflanzensubstanz gesucht werden; allein das, was eben fehlt, ist die klare Darlegung und Unterscheidung jener ersten, durch die Lichtstrahlung in den Zellen hervorgerufenen, chemischen Veränderungen und Prozesse, aus welchen die beobachteten Erscheinungen im Wachstum und Stoffwechsel als secundäre Folgen sich ableiten lassen.

Man unterscheidet aber gewöhnlich noch eine zweite, besondere Reihe von Lichtwirkungen an der Pflanze, die einen auf-

fallenden gemeinsamen Charakter zeigen. Der Einfluss des Lichtes äussert sich hier in mechanischen Effecten, deren bewirkende Ursache in ihrer Beziehung zum Lichte zum Theil noch ganz undurchsichtig ist.

Bei den hierher gehörigen heliotropischen Krümmungen und Bewegungen der Organe hat man allerdings, wenn auch noch ohne durchschlagenden Erfolg, die eintretenden Richtungs- und Lageveränderungen der Theile auf Wachstums- und Stoffwechselforgänge bestimmter Gewebe bezogen und hierdurch ist ohne Zweifel schon eine Einsicht in den äusseren Mechanismus des Vorganges angebahnt; allein auch hier blieben die Beziehungen der ursprünglichen Lichtwirkung zu den primären Veränderungen der Gewebszellen unerörtert.

Und in der ganz vagen und allgemeinen Form, in der sie ausgesprochen wird, kann, wie man festhalten muss, die Annahme einer retardirenden und in anderen Fällen wieder die einer beschleunigenden Wirkung des Lichtes auf Stoffwechsel, Wachstum und Turgor der Gewebe unmöglich als eine befriedigende Erklärung der heliotropischen Erscheinungen gelten. Denn Förderung der Entwicklung in dem einen und Hemmniss in dem anderen Falle sind ja eben die Thatsachen, welche erst aus den primären Lichtwirkungen, die in allen Fällen die gleichen sind, ihre Erklärung finden sollen. Das verschiedene Endresultat folgt nur aus der verschiedenen Organisation der Theile, welche der Lichtwirkung unterliegen.

Immerhin liegt in den vorhandenen Erklärungsversuchen das stillschweigende Zugeständniss, dass der beobachtete Effect nur eine secundäre Folge von unbekanntem chemischen Processen ist, die durch das Licht in den Geweben hervorgerufen werden.

Schwieriger noch liegt das Verhältniss, wenigstens scheinbar, bei jenen locomotorischen Bewegungen ganzer Pflanzen oder ihrer Fortpflanzungskörper, die, wie zum Beispiel die freien Bewegungen der Schwärmosporen der Algen, sichtlich vom Lichte beeinflusst werden und ebenso bei jenen regelmässigen Bewegungen, welche das Protoplasma und seine Einschlüsse, namentlich die Chlorophyllkörper, bei wechselnder Belichtung ausführen, und die, wie bekannt, ein in den Zellen viel verbreitetes Phänomen darstellen.

Für diese auffallenden Wirkungen des Lichtes, die man als „mechanische“ zu bezeichnen pflegt, fehlt es nicht nur an jeder

befriedigenden Erklärung, sondern auch an einer verständlichen Auffassung ihrer Beziehung zur Lichtwirkung.

Sieht man von ganz unzureichenden Erklärungsversuchen ab, so hat man sich bei ihnen ganz und gar mit der Feststellung der Thatsache begnügt und nur den unbegreiflichen Zusammenhang der Lichtwirkung mit der bewirkenden Ursache constatirt.

Auf die primären, durch das Licht in der Pflanzenzelle erregten Veränderungen, als auf die eigentliche Ursache der Erscheinung, ist man auch bei diesen sogenannten mechanischen Wirkungen des Lichtes nicht zurückgegangen.

Gehen wir nun aber näher auf die Quellen unserer Vorstellungen über den Einfluss des Lichtes auf die Vegetation ein, so hat, wie man sagen darf, bisher nur die gasanalytische Methode einen Schritt vorwärts zur Kenntniss der ursprünglichen Lichtwirkungen in der Pflanze geführt.

Ihr verdankt man bekanntlich die Kenntniss der von Licht und Kohlensäure abhängigen Sauerstoffabgabe grüner Zellen und Gewebe.

Allein über die Entdeckung dieser Thatsache ist die Forschung mit dieser Methode trotz der bewundernswerthen Ausdauer, welche während eines ganzen Jahrhunderts auf sie verwandt wurde, nicht hinausgekommen.

Ich habe bereits in einem früheren Aufsatz¹⁾ auf die Gründe dieses auffallenden Stillstandes in den Erfolgen dieser mühevollen Untersuchungsreihen hingewiesen. Sie liegen in der Unzulänglichkeit der geübten gasanalytischen Methode.

Zunächst darin, dass die quantitativen Bestimmungen des Gaswechsels an Pflanzen oder Pflanzentheilen, Blättern und beblätterten Stengeln ausgeführt werden, die gleichzeitig aus assimilatorischen und nicht assimilatorischen Geweben bestehen.

Während die letzteren der umgebenden Atmosphäre unter Abgabe von Kohlensäure Sauerstoff entziehen, entnehmen ihr die ersteren, sofern sie genügend grün sind und genügend stark beleuchtet werden, vorzugsweise Kohlensäure und athmen dafür Sauerstoff aus.

Diese beiden Vorgänge sind aber, jeder für sich seiner abso-

¹⁾ Zur Kritik der bisherigen Grundlagen der Assimilationstheorie der Pflanzen. Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. v. Febr. 1881.

luten Grösse und seinen relativen Verhältnissen nach, nur ungenügend bekannt und beeinflussen zugleich das Gesamtergebniss in entgegengesetztem Sinne.

Das Endresultat des Gaswechsels, wie sich dasselbe im abgeschlossenen Versuchsraume in der Grösse und Beschaffenheit des vorhandenen Gasvolumens ausspricht, kann daher über die Grössenverhältnisse jedes einzelnen der beiden Vorgänge, die hier zusammenwirken, quantitativ nichts Sicheres aussagen, denn es drückt nur die Differenz der Veränderungen aus, welche beide in ihrem physiologischen Verhalten zur Atmosphäre einander entgegenwirkenden Gewebearten hervorgerufen haben.

Auch ändert sich dies Verhältniss wenigstens nicht wesentlich und diese Betrachtung behält noch ihre volle Geltung, wenn man, was gewiss vorzuziehen wäre, mit assimilatorischen Geweben allein — z. B. mit Conferven, oder Characeen, oder entsprechenden Thal lonien anderer niederen Gewächse — experimentiren wollte, da auch in den grünen Geweben allein schon beide, einander entgegenwirkenden Prozesse der Athmung und Assimilation bestehen und meine Versuche überdies nachweisen, dass die Sauerstoffaufnahme der grünen Zelle im Lichte mit der wachsenden Intensität desselben zunimmt.

Schon dieser Umstand allein hebt die Schlüsse aus den Resultaten der gasanalytischen Methode auf, soweit sie über die Angabe hinausgehen, dass im hellen Tageslicht die Grösse der Assimilation der grünen Gewebe eines Pflanzentheils die Gesamtgrösse der Athmung aller seiner Gewebe übertrifft.

Man hat sich aber mit diesem Schlusse nicht begnügt, sondern aus den Verhältnissen und der Zusammensetzung der Gasvolumina vor und nach dem Versuche Schlüsse über den näheren Vorgang bei der sogenannten Kohlensäurezersetzung der grünen Gewächse und über die hierbei entstehenden Körper gezogen, die aus den gefundenen Thatsachen keineswegs mit Nothwendigkeit folgen.

Hierzu treten dann noch: theils die falsche Anwendung farbiger Beleuchtung in den Versuchen und die unrichtigen Schlüsse, die man daraus auf die Wirkung der Lichtfarben gezogen hat, theils die Fehlerquellen, welche namentlich auch die Binnenluft innerhalb der Gewebe der Versuchsobjecte in die Versuche hineinträgt. Diese letztere lässt sich aber nicht ausschliessen, wenn man die Versuche an gesunden, und nicht an asphyxirten, Pflanzentheilen ausführen will.

Aus diesen und anderen schon besprochenen Mängeln der Methode erklären sich die zahlreichen Widersprüche, welche bei jeder speciellen Frage: nach den Grössenverhältnissen des Gaswechsels; nach der relativen Energie der Farben im Assimilationsvorgange; nach der chemischen Beschaffenheit des primären Assimilationsproductes; u. s. w. in den Resultaten derjenigen Forscher, die sich der gasanalytischen Methode bedient haben, immer wiederkehren. Sie liegen nicht in der Ungenauigkeit der Experimentatoren, sondern vorwiegend in den Fehlern, die der Methode anhaften; dann aber auch in dem nirgends berücksichtigten Umstande, den ich hier noch besonders hervorheben muss, dass die grünen Gewebe verschiedener Pflanzen, je nach ihrer anatomischen Beschaffenheit, nach der Tiefe ihrer Farbe und nach dem relativen Verhältniss ihrer assimilatorischen und nicht assimilatorischen Gewebe in dem Endresultat ihres Gaswechsels nothwendig verschiedene Werthe ergeben müssen.

Eine absolute Gleichartigkeit in den Resultaten und der Grösse des Gaswechsels, wie sie theoretisch immer stillschweigend postulirt wurde, ist bei den verschiedenen Gewächsen gar nicht zu erwarten und ist, wenn man die exacter ausgeführten Versuche kritisch scharf beleuchtet, auch gar nicht vorhanden. Wo sie beobachtet wurde, da liegen die wirklichen Differenzen nur innerhalb der Fehlergrenzen der Beobachtung.

Diese hier kurz angedeuteten Bedenken, welche dem Experimentator bei gasanalytischen Versuchen an lebenden Pflanzen auf jedem Schritte entgegentreten, haben mich veranlasst, für die Entscheidung der fundamentalen Fragen nach den primären Lichtwirkungen in der Pflanze mich einer anderen Methode zuzuwenden, welche unzweideutige und sichere Resultate liefert.

Die Kenntniss der Lichtwirkungen auf die Vegetation muss, wie ich annahm, gewonnen werden können aus der directen Beobachtung der sichtbaren Veränderungen, welche das Licht in kurzer Zeit, unmittelbar unter dem Auge des Beobachters, in der einzelnen Zelle und namentlich in der grünen Zelle hervorruft.

Nach den vorhandenen mikroskopischen Erfahrungen, bei welchen derartige Veränderungen nicht beobachtet werden, war es nur denkbar, dieselben im intensiven Lichte herbeizuführen. Ich griff daher, um die Wirkung des intensiven Lichtes in den Geweben unter dem Mikroskope direct beobachten zu können, zu der An-

wendung von concentrirten, weissen und farbigen Sonnenbildern.

Bei diesen Untersuchungen ergab sich nun die bemerkenswerthe Thatsache,

dass die leicht constatirbaren Wirkungen des intensiven Lichtes auf die Pflanzenzelle an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden sind.

Hierin tritt meiner Auffassung nach ein fundamentaler Unterschied zwischen Lichtwirkung und Wärmewirkung auf die Pflanze hervor, der bei allen Fragen maassgebend wird, welche den Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Vegetation berühren, und den ich hier näher ausführen muss.

Die Abhängigkeit der chemischen Vorgänge in den Geweben der Pflanze von der Temperatur ist bekannt; man weiss, dass es für jede Pflanze eine bestimmte Temperatur gibt, welche ohne Schaden für dieselbe nicht überschritten werden darf. Diese Temperatur ist nicht für alle Pflanzen genau dieselbe. Man pflegt sie als das Temperatur-Optimum für die bestimmte Pflanze zu bezeichnen.

Steigt die Temperatur höher, so kann die Erwärmung schon in kurzer Zeit tödtlich werden, und ich will den Temperaturgrad, bei welchem eine Pflanze stirbt, wenn sie derselben auch nur eine kurze Zeit — 10 bis 15 Minuten — ausgesetzt wird, die kritische Temperatur für die betreffende Pflanze nennen.

Auch die kritische Temperatur ist für verschiedene Pflanzen eine verschiedene. Es giebt Pflanzen, die nach einer 10—15 Minuten dauernden Erwärmung auf 40° Cels. und selbst unter 40° Cels. nothwendig zu Grunde gehen, während andere diese und eine etwas höhere Temperatur ohne nachhaltigen Schaden vertragen und erst etwa bei 42° Cels. den schädlichen Folgen der Erwärmung erliegen.

Diese kritische Temperatur für die Pflanze kann leichter und genauer mit Sicherheit festgestellt werden, als das Temperatur-Optimum; ich habe daher mit Rücksicht auf den oben angedeuteten Unterschied zwischen Licht- und Wärmewirkung die Abhängigkeit der kritischen Temperatur vom Vorhandensein von Sauerstoff für einige Pflanzen geprüft. Es wäre ja denkbar — eine Möglichkeit, die bisher noch nicht ins Auge gefasst wurde — dass der Wärmetod der Zelle, der schon bei dem so auffallend niederen Tempera-

turgrade von 40—42° Cels. eintritt, ebenso wie der Lichttod, nur eine übermässig erhöhte Oxydation des Protoplasma, mit anderen Worten eine schädliche Steigerung der Athmung wäre.

Aus meinen diesbezüglichen Untersuchungen, die ich an anderer Stelle im Einzelnen näher ausführen werde, geht aber mit Sicherheit hervor, dass dies nicht der Fall ist und dass der Ausschluss von Sauerstoff in der Atmosphäre der Pflanze für die kritische Temperatur ohne Belang ist.

Der Wärmetod tritt mit und ohne Gegenwart von Sauerstoff für die untersuchte Pflanze bei derselben Temperatur ein.

Der Wärmetod ist daher jedenfalls kein durch die höhere Temperatur geförderter Verbrennungsvorgang bestimmter Bestandtheile im Protoplasma, sondern erfolgt, wie man dies wohl auch ohne nähere Prüfung bisher angenommen hat, durch eine noch unbekannte moleculare Umwandlung desselben, welche durch die Wärme veranlasst wird und die, was hier die Hauptsache ist, ganz unabhängig von dem Medium erfolgt, in welchem die Zelle sich befindet. Man kann sich denken, dass jene unbekannte moleculare Umwandlung in der Zerstörung gewisser Bestandtheile des Protoplasma, die zur Erhaltung des Lebens nöthig sind, durch die Wärme besteht.

Dagegen ist die Beschädigung und der Tod der Zelle durch Licht, wie meine Versuche in den intensiven Sonnenbildern nachweisen, nothwendig an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden, und man kann daher den Lichttod geradezu als einen durch das Licht veranlassten Sauerstofftod bezeichnen.

Dieser wesentliche Unterschied zwischen Licht- und Wärmewirkung folgt übrigens schon mit Evidenz auch aus den Erscheinungen, welche die Pflanzenzellen in den concentrirten Sonnenbildern darbieten.

Bei dieser intensiven Beleuchtung, bei welcher die Wirkungen der Strahlung, welcher Art sie immer sein mögen, zur Geltung kommen, lassen sich durch eine geeignete Anstellung der Versuche in der Pflanzenzelle zwei von einander verschiedene Effecte der Strahlung sicher und leicht bei der Beobachtung wahrnehmen und unterscheiden:

- 1) thermische, die von dem umgebenden Medium unabhängig sind und von allen Lichtstrahlen, sichtbaren und unsichtbaren, hervorgerufen werden können, und

- 2) photochemische Effecte oder Lichtwirkungen im engeren Sinne, die nur von den leuchtenden und vielleicht auch von den ultravioletten Strahlen angeregt werden, zu deren Zustandekommen in der Pflanze aber, wie ich gefunden habe, die Gegenwart von freiem Sauerstoff in der Umgebung der Zelle absolut nothwendig ist.

Die reinen Wärmewirkungen treten unvermischt mit photochemischen Effecten bei der Bestrahlung der Zellen in indifferenten Gasen, bei völligem Abschluss von Sauerstoff ein.

So lange unter solchen Umständen die Wärmeerregung der Bestrahlung im Versuchstropfen und im Objecte keine hohe Temperatur erzeugt, so lange nämlich die Erwärmung des Objectes unter der kritischen Temperatur für die bestimmte Pflanze bleibt, so lange werden keinerlei ins Auge fallenden Veränderungen am bestrahlten Objecte wahrgenommen. Steigt aber die Temperatur höher und hält diese höhere Temperatur eine Zeit lang an, so können die Merkmale der Wärmestarre und des Wärmetodes, wie sie bei einer entsprechenden Erwärmung der Objecte in Wasser von höherer Temperatur beobachtet werden, zur Erscheinung kommen.

Bei meinen Bestrahlungsversuchen in intensiven Sonnenbildern, die von einer Linse von 60^{mm} Durchmesser erzeugt werden, kann diese extreme Wirkung der Strahlung, die zum Wärmetod der Zelle führt, in weissen Sonnenbildern schon in 1 bis 2 Minuten erreicht werden, wenn sämtliche Strahlen, auch die dunklen Wärmestrahlen, bei der Entstehung des Sonnenbildes mitwirken.

Viel länger dagegen — schon etwa 5 bis 9 Minuten — kann es selbst im weissen Sonnenbilde dauern, bis der Wärmetod des bestrahlten Objectes eintritt, wenn die dunklen Wärmestrahlen durch Vorschieben geeigneter Schichten von Wasser und Alaunlösung abgehalten werden.

Bei farbigen Sonnenbildern erfolgt Wärmestarre und Wärmetod natürlich bedeutend später und unter gleichen Umständen um so später, je geringer die Wärmeerregung des farbigen Sonnenbildes ist, d. h. je mehr das Bild ausschliesslich von Strahlen grösserer Brechbarkeit gebildet wird, je weniger ferner die farbigen Strahlen des Sonnenbildes nach der Beschaffenheit der Farbe des Objectes von demselben absorbiert werden können, und je vollständiger endlich die dunklen Wärmestrahlen im Versuche abgehalten werden.

Man kann daher, wie ich bereits früher gezeigt habe, namentlich wenn für gleichzeitige Abkühlung des Versuchstropfens genügende Sorge getragen wird, auch solche Objecte, die gegen Wärme äusserst empfindlich sind, eine verhältnissmässig sehr lange Zeit — 15 bis 20 Minuten und länger — ohne jede schädliche Wärmewirkung von intensiven grünen und blauen Sonnenbildern bestrahlen lassen.

Die Veränderungen, welche der Wärmetod in der Zelle hervorruft, sind übrigens selbstverständlich dieselben, gleichgültig ob der Wärmetod durch Bestrahlung mit weissem oder irgend welchem farbigen Sonnenbilde erzeugt ist, und hängen in ihrer Erscheinung nur von der erreichten Temperatur ab. Es bedarf auch kaum der Erwähnung, dass sie den Erscheinungen gleichen, welche die tödtliche Erwärmung derselben Pflanzenzellen in heissem Wasser hervorruft.

Wo Bewegung im Protoplasma besteht, wird dieselbe sistirt; das Protoplasma zeigt Gerinnungserscheinungen, die durch körnige Niederschläge in der Hautschicht erkennbar werden; die Inhaltskörper der Zelle, wie namentlich die Chlorophyllkörper und ihre Einschlüsse, erleiden die für Wärmewirkung charakteristischen Quellungen und Zerstörungen, und der protoplasmatische Wandbeleg zieht sich früher oder später von der Zellwand zurück.

Besonders sei aber hier noch erwähnt und hervorgehoben, dass der Chlorophyllfarbstoff beim Tode der Zelle durch Wärme in niederen Temperaturen seinen Farbton gar nicht verändert. Nur bei sehr hohen Temperaturen nimmt er einen schmutzig braunen Ton an; niemals aber bleiben die Chlorophyllkörper in der durch Wärme getödteten Zelle so rein blass und völlig entfärbt zurück, wie dies in so ausgezeichnete und rascher Weise beim photochemischen Tode der Zelle geschieht.

Eine durch reine Wärmestrahlung bei nicht zu hoher Temperatur getödtete Nitellazelle macht etwa den Eindruck, welchen die Zelle *b* Fig. 9 von einer in Kohlensäure getödteten Zelle darstellt.

Wie ich bereits in meinem ersten Aufsätze¹⁾ über Lichtwirkung in der Pflanze angab, lassen sich durch diese Methode der Bestrahlung die Wirkungen der Wärme auf die Zelle leichter und bequemer

¹⁾ Monatsberichte vom Juli 1879.

zur Anschauung bringen, als mit Hülfe der heizbaren Objecttische. Doch will ich hier auf die nach dieser Richtung gewonnenen Resultate nicht weiter eingehen.

Die reinen photochemischen Effecte der Strahlung können in den Versuchen im intensiven Lichte ebenso deutlich und scharf, wie die thermischen beobachtet werden. Allerdings lassen sich in dem Effecte der Strahlung die thermischen Wirkungen nicht so leicht ausschliessen, als die photochemischen, da ja auch grüne und blaue Sonnenbilder eine, wenn auch verhältnissmässig nur geringe, Erwärmung im Versuchstropfen und im Objecte hervorrufen. Allein es handelt sich hier wesentlich ja nur darum, die Temperatur im Versuchstropfen nicht bis zu einer für das Object schädlichen Temperaturhöhe ansteigen zu lassen; also nur darum, dieselbe während des Versuches unterhalb der kritischen Temperatur für die untersuchte Pflanze zu erhalten. Dies ist aber leicht möglich, und bei diesen niederen Temperaturen treten, wie jede mikroskopische Erfahrung lehrt, in der kurzen Dauer der Versuchszeit durch die Wärme keinerlei unmittelbar wahrnehmbare Veränderungen in der Zelle ein.

Die unter diesen Umständen sichtbaren Veränderungen sind daher von der Wärmeerregung in der Zelle unabhängige Effecte der Lichtstrahlung, oder mit anderen Worten Lichtwirkungen im engeren Sinne.

Ebenso, wie die photochemischen Wirkungen auf lichtempfindliche unorganische Substanzen, zeigen auch diese photochemischen Wirkungen auf den organischen Inhalt der Zelle in ihrer Grösse eine Abhängigkeit von der Farbe, zugleich aber sind sie, wie bereits bemerkt, noch dadurch besonders charakterisirt, dass sie vom Vorhandensein von Sauerstoff in der Umgebung der Zelle abhängig sind.

Sie treten daher in den Versuchen im Wasserstoff nicht ein. Wird z. B. an einem beliebigen Stücke einer *Nitella mucronata* (Fig. 1 der beiliegenden Tafel), welche in der mikroskopischen Gaskammer im Tropfen am Deckglase hängt, eine Zelle (*B*) — auch wenn sie so klein ist, dass sie mit ihrer ganzen Länge im Sonnenbilde liegt — in reinem Wasserstoff, aber zugleich unter Bedingungen, welche eine schädliche Temperaturerhöhung ausschliessen, einem intensiven farbigen Sonnenbilde ausgesetzt, so kann man den Versuch bei klarster Sonne ununterbrochen andauern lassen —

ich will beispielsweise sagen 15 bis 20 Minuten lang — ohne dass irgend eine Veränderung an der Zelle bemerkbar wird.

Trotz der intensiven Beleuchtung im Sonnenbilde bleibt, wie es die Figur zeigt, die Strömung und die Ordnung in der Zelle bestehen; das bewegliche Protoplasma, seine Wandschicht und seine Bestandtheile zeigen keine Veränderung, und die Chlorophyllkörper behalten ihre Farbe, Form, Lage und Anordnung unverändert bei; kurz die Zelle verhält sich während und nach dem Versuche ganz so wie vorher, und wie jede andere ihrer nicht belichteten Schwesterzellen im Präparate. Sie lebt ferner, ebenso wie diese, auch nach dem Versuche in normaler Weise unverändert weiter, vorausgesetzt immer, dass dafür gesorgt wird, dass während des Versuches keine das Temperatur-Optimum übersteigende Erwärmung in der Zelle und im Versuchstropfen, in welchem das Präparat liegt, eintreten kann.

Wiederholt man jetzt aber den Versuch an einer ihrer Schwesterzellen im Präparate (*A. C.* Fig. 1) bei Vorhandensein von Sauerstoff — z. B. nach bloss momentanem Hindurchziehen von atmosphärischer Luft durch die uneröffnete Gaskammer — so finden jetzt bei der gleichen Bestrahlung durch dasselbe Sonnenbild, also unter sonst unveränderten Umständen, in kürzester Frist eingreifende Zerstörungen in der Zelle statt.

Umfang, Grösse und Schnelligkeit der Zerstörungen hängen hierbei natürlich von den Dimensionen der belichteten Zelle, von ihrer Dicke und ihrer Länge ab, namentlich von der relativen Grösse des Sonnenbildes zur Zellenlänge.

Sind die Zellen — wie *A* und *C* Fig. 1 — so kurz, dass sie ganz oder fast ganz im Sonnenbilde liegen, so erfolgt der Tod der Zelle auch in dunklen grünen und blauen Sonnenbildern schon nach einer Bestrahlung von 1 bis 3 Minuten, und zwar erfolgt hier der Tod nachweislich ganz allein durch die Zerstörungen, welche die photochemische Wirkung der Bestrahlung in dem sogenannten farblosen Protoplasma hervorruft.

Sind die Zellen grösser als das Sonnenbild, so dauert es länger — 4, 5, 6 Minuten — bis die Zelle in Folge der photochemischen Wirkung zu Grunde geht. Bei sehr kräftigen, dicken und langen Internodien, bei denen — wie z. B. in Fig. 10 — der Durchmesser des Sonnenbildes im Verhältniss zur Länge der Zelle sehr klein ist, kann es 8 bis 10 Minuten und länger dauern, ehe

der Tod der ganzen Zelle durch die chemische Wirkung an der kleinen Insulationsstelle erreicht wird.

Es ist nun von besonderem Interesse die allerfrühesten photochemischen Effecte der Bestrahlung festzustellen, wie dieselben z. B. in kurzen Zellen schon nach einer Insolation von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Minuten in dunklen, grünen und blauen, Sonnenbildern eintreten.

Man bemerkt sofort beim Lichteinfall, oder doch schon während der kurzen Dauer der Bestrahlung Störungen im Protoplastastrome. Die Bewegung wird unregelmässig; an einzelnen Stellen bilden sich grössere, unregelmässige Ansammlungen im strömenden Protoplasma (Fig. 6) — bei längeren Zellen, bei denen die Insolation länger andauern kann ohne den Tod hervorzurufen, zeigen diese häufig eine eigenthümliche, streifige Structur — und die Bewegung kann endlich unter Umständen selbst schon nach $1\frac{1}{2}$ Minuten ganz zum Stillstand kommen.

Wird die Insolation jetzt unterbrochen, so kehrt die Bewegung wieder und die Zelle zeigt kurz nach dem Versuche (Fig. 4) keine eingreifenden Veränderungen. Aber nach einiger Zeit, oft schon nach wenigen Stunden, bemerkt man, obgleich die Bewegung besteht, und obgleich die Zelle auf den ersten Blick scheinbar intact ist, dass durch die kurz andauernde Beleuchtung ihre Organisation schwer gelitten hat. Die Unregelmässigkeiten in der Bewegung des Protoplastastromes haben sich, wie die unregelmässigen Ansammlungen des Plasma zeigen, nicht ausgeglichen, sondern meist noch gemehrt und das wandständige Protoplasma, in welchem die Chlorophyllkörper eingebettet sind, vorzugsweise die äussere Schicht derselben, die ich die Hautschicht der Zelle genannt habe, zeigt bereits eingreifende Beschädigungen und hat eine partielle Zerstörung erlitten¹⁾.

In Folge dieser Zerstörung gerathen die Chlorophyllkörper, die bekanntlich in der normalen Zelle vor der Belichtung in ganz regelmässigen, unter einander parallelen Reihen (Fig. 4.5) angeordnet sind, sofern die Bewegung in der Zelle, wie dies bei so kurzer Insolation gewöhnlich der Fall ist, wiederkehrt und erhalten

¹⁾ Auch an den Spirogyren habe ich schon in meiner Schrift über Lichtwirkung und Chlorophyllfunction S. 362 u. f. (S. 77 der Separatausgabe) die Zerstörungen in der Hautschicht durch die oxydirenden Wirkungen des Lichtes nachgewiesen.

bleibt, völlig in Unordnung. Nicht mehr von der wandständigen Protoplasmaschicht in ihrer normalen Lage und Richtung festgehalten, werden sie durch die ununterbrochenen Stösse des sich fortbewegenden Plasmastromes aus ihrer ursprünglichen Stellung verrückt und man findet sie bald (Fig. 6 *a, b*) in ganz unregelmässiger Weise und ohne jede gesetzmässige Anordnung über die Fläche der Zellwand zerstreut und verbreitet.

Bei so kurzer Dauer der Insolation, wenn dieselbe nur 1 bis $1\frac{1}{2}$ Minuten anhält, findet sich die hier beschriebene Veränderung nur an der unteren, der Strahlung während des Versuchs zugekehrten Fläche der Zellwand (Fig. 6); an der oberen, im Versuche dem Beobachter zugekehrten, mehr geschützten Fläche derselben Zelle (Fig. 5) findet man dagegen Chlorophyllkörper und wandständiges Protoplasma noch in gesetzmässiger Anordnung und Beschaffenheit.

In diesem Zustande kann sich die Zelle mit Bewegung und mit ganz normaler Beschaffenheit der Chlorophyllkörper, die in Form und Farbe während der kurzen Insolation nicht gelitten haben, noch lange Zeit nachher erhalten.

Dauert die Insolation schon länger, etwa 2 bis 3 Minuten, so erfolgt häufig die Sistirung der Bewegung des Protoplasma in der Zelle schon während des Versuches und die Bewegung kehrt auch später gewöhnlich nicht mehr zurück.

Die Zerstörungen im Protoplasma sind jetzt schon eingreifender und dehnen sich, wie ich dies gleichfalls schon bei den Spirogyren nachwies, auch auf die tiefer gelegenen Schichten des Plasma aus. In Folge davon geht dann die Zelle auch gewöhnlich schon in kurzer Zeit nach dem Versuche gänzlich zu Grunde.

Schon nach mehreren Stunden, spätestens nach einem bis zwei Tagen findet man die Zelle jetzt todt (*A. Fig. 1* und *a. Fig. 2. 3*); das Plasma ist zum Theil verschwunden; der Plasmaschlauch contrahirt; aber die Chlorophyllkörper sind auch nach dieser längeren Insolation, abgesehen von ihrer veränderten Lage, meist sogar noch in ihrer Form, namentlich aber in ihrer Farbe noch ganz unverändert geblieben.

Bei einer noch längeren Insolation von etwa 5 bis 6 Minuten sieht man bei diesen kurzen Zellen (*C. Fig. 1*) schon während des Versuches und unter den Augen des Beobachters den Tod der Zelle unter weitgehenden Zerstörungen eintreten.

Der Zerstörung der Hautschicht und dem Schwinden eines

Theiles des Plasma folgt nun rasch die Contraction des Plasma-schlauches, soweit derselbe vom Lichte nicht getroffen seine Contractilität nicht verloren hat. Die Zerstörungen dehnen sich ferner jetzt auch auf die Inhaltskörper des Plasma und auf die Chlorophyllkörper aus, die nun nach und nach nicht nur in ihrer Organisation und Gestalt beeinträchtigt werden, sondern zuletzt auch durch Zerstörung des Farbstoffes völlig entfärbt und rein blass zurückbleiben.

Sind die Zellen bedeutend länger als der Durchmesser des Sonnenbildes, so können sie meist so kurze Insolationen ohne nachtheiligen Schaden für ihr Leben ertragen.

Veränderungen treten dann nur an der Insolationsstelle ein und sie bleiben auf diese beschränkt.

Nur soweit ungefähr das Sonnenbild reichte, findet man dann eine locale Zerstörung des wandständigen Protoplasma und nur hier sieht man nach einiger Zeit, sofern die Bewegung des Plasma-stromes bestehen blieb, die Chlorophyllkörper aus ihren Reihen gerückt und in Unordnung gerathen (*b.* Fig. 3 und 6). Da solche lange Zellen später aber vollkommen ungestört leben bleiben, so werden hier nachträglich die in Unordnung gerathenen Chlorophyllkörper, die keinen Halt im wandständigen Plasma mehr finden, durch die fortdauernde Strömung aus ihrer Lage an der Wand der Zelle weggeschwemmt und fallen in den Strom hinein, in welchem sie sich Tage, Wochen, ja Monate lang fortbewegen können und allmählich auch ihre Farbe verlieren.

So entstehen (Fig. 10*a*; 11. 12. 13) die nackten Stellen oder Blößen an der Insolationsstelle, die ich bereits früher¹⁾ beschrieb. Ich habe dort zugleich angegeben, dass diese Stellen später auch Monate lang in der fortvegetirenden Zelle nackt bleiben.

Dies ist richtig, wenn sämtliche Chlorophyllkörper, die an der Insolationsstelle lagen, vom Strome weggeschwemmt worden sind.

Bei sehr kurzer Insolation sehr kräftiger Zellen (*a.* Fig. 10) sind aber die Zerstörungen an der Insolationsstelle oft nur sehr unvollständig, und es können dann eine Anzahl Chlorophyllkörper an der Insolationsstelle in ihrer Lage erhalten bleiben, wie dies z. B. Fig. 11. 3 Tage nach der Insolation an der Inso-

¹⁾ a. a. O. S. 333 u. f. (S. 48 der Separatausgabe).

lationsstelle *a*. Fig. 10 bei genügender Vergrößerung zeigt. In solchen Fällen kann dann noch später, nach und nach und in langer Zeit, durch Theilung der stehen gebliebenen Chlorophyllkörper eine ansehnliche Vermehrung der Chlorophyllkörperanzahl an der Inso-lationsstelle erfolgen (Fig. 12). Diese neuen Chlorophyllkörper vermögen sich aber nicht in regelmässigen Reihen anzuordnen.

Ich übergehe hier die weiteren Veränderungen, welche die photochemische Wirkung des Lichtes an den verschiedenen Bestandtheilen des Zelleninhaltes hervorruft. Sie sind von mir in der angeführten Schrift ausführlich beschrieben worden. Ebenso habe ich dort schon die eigentlich lichtempfindlichen Bestandtheile der Zelle und Elemente des Plasmas von den nicht lichtempfindlichen zu unterscheiden versucht.

Hier kommt es mir nur darauf an, die Erscheinungen der Lichtwirkung in ihren wesentlichen Bedingungen und primären Angriffspunkten auf die Pflanzenzelle zu verfolgen und zu zeigen, dass die ursprünglichen photochemischen Wirkungen des Lichtes, obgleich sie von den leuchtenden Strahlen ausgehen, doch das sogenannte farblose Protoplasma der Zelle treffen.

Das Protoplasma der Pflanzenzelle absorbirt daher, wie man an den photochemischen Effecten erkennt, nicht nur die dunklen, sondern im hohen Grade auch die leuchtenden Sonnenstrahlen und auf dieser Absorption der leuchtenden Strahlen im Protoplasma — nicht auf ihrer Absorption in den Farbstoffen der Zelle — beruht in erster Linie die photochemische Wirkung, welche die Sonne auf die Vegetation ausübt.

Durch die Versuche an Pflanzen in den concentrirten Sonnenbildern ist somit ein besonderer, von der Wärmeerregung des Lichtes verschiedener, photochemischer Effect der Sonne auf die Pflanze nachgewiesen, welcher darin besteht, dass die leuchtenden Strahlen die Oxydation der Bestandtheile der Zelle durch den Sauerstoff der Atmosphäre befördern.

Man kann dies Verhältniss, wie ich es in meiner ersten Veröffentlichung gethan habe, auch als eine Steigerung der Athmung durch das Licht bezeichnen.

Die gasanalytische Methode hat dies Verhältniss des Lichtes zur Sauerstoffaufnahme bisher weder aufgefunden noch nachgewiesen.

Für die nicht assimilatorischen Gewebe, die allein oder doch vorwiegend die Versuchsobjecte in den Experimenten über Ath-

mung der Pflanze bildeten, wurde ein Einfluss des Lichtes auf die Athmung überhaupt entweder gänzlich negirt, oder doch bezweifelt. Für die grünen Gewebe ist die Abhängigkeit der Grösse der Athmung von der Intensität des Lichtes vor meinen Untersuchungen im intensiven Licht gar nicht in Frage gekommen.

Aber die Steigerung der Sauerstoffaufnahme durch die Beleuchtung kann schon nach den gegenwärtigen Anschauungen kaum die einzige photochemische Wirkung der Lichtstrahlung auf die Pflanze sein. Vielmehr hat man bisher den entgegengesetzten Vorgang, die Sauerstoffabgabe grüner Gewebe im Lichte, ja als den eigentlichen, und sogar als den einzigen chemischen Lichteffect in der Pflanze bezeichnet.

Da diese Abgabe von Sauerstoff, welche bei den gasanalytischen Untersuchungen als Lichteffect auf die grünen Gewebe zur Erscheinung kommt, nachweislich immer mit der Aufnahme von Kohlensäure verknüpft ist, so hat man sich gewöhnt, den hierbei stattfindenden Vorgang als eine Dissociation der Kohlensäure durch Licht zu deuten.

Es wird aber jetzt wohl allgemein zugegeben, dass diese Auffassung zwar dem Endergebnisse des Gaswechsels entspricht, dass aber die gasanalytischen Untersuchungen allein hierüber keinen Aufschluss bringen, da ja die verschiedensten intermediären Prozesse zwischen der Aufnahme der Kohlensäure und der Abgabe von Sauerstoff denkbar sind.

Es fragt sich somit auch hier, welcher primäre Lichteffect in der Zelle schliesslich zur Sauerstoffabgabe führt, und ob derselbe nicht etwa — was an sich nicht undenkbar wäre — mit der hier nachgewiesenen Oxydation im Lichte zusammenfällt.

Unter den bisherigen Versuchen, welche nach der gasanalytischen Methode ausgeführt sind, treten dieser Frage nur die wenigen näher, welche die Unabhängigkeit der Kohlenstoffassimilation von der Athmung nachweisen wollen, und unter diesen verdienen vor allen Anderen und in erster Linie die musterhaften Versuche von Boussingault Berücksichtigung¹⁾, welche sich auf die Sauerstoffabgabe grüner Gewebe in sauerstofffreien, kohlen säurehaltigen Gasgemengen beziehen.

¹⁾ Étude sur les fonctions des feuilles. Ann. de Chimie et de Physique IV^{ième} Série. Tome XIII (1868) und Comptes rendus Vol. 60 und 61.

Darf man die Bedenken in Bezug auf den völligen Abschluss von Sauerstoff und die absolute Unterdrückung der Athmung, die auch diesen Versuchen noch anhaften, fallen lassen, so gestatten sie allerdings den Schluss, dass Kohlenstoffassimilation und Sauerstoffabgabe in den grünen Geweben auch bei unterdrückter Athmung stattfinden können. Hieraus würde sich dann mit Nothwendigkeit ergeben, dass noch ein zweiter, von der Sauerstoffaufnahme im Licht unabhängiger, chemischer Lichteffect auf die Pflanzensubstanz existirt, welcher in einer unmittelbaren Beziehung der Lichtwirkung zur Aufnahme und Assimilation der Kohlensäure durch die Zelle bestehen müsse.

Ich kann aus der Reihe meiner Untersuchungen an belichteten Zellen, die ich in reiner Kohlensäure und in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff ausgeführt habe, Beobachtungen mittheilen, welche für diese Vorstellung sprechen und in directer Weise den Einfluss des Lichtes auf die Absorption der Kohlensäure durch die Zelle zur Anschauung bringen.

Diese müssen, obgleich sie nach dieser Richtung hin noch nicht völlig abschlussreif sind, hier schon deshalb erwähnt werden, weil sie zugleich über das Verhalten von Zellen bei Insolation in Kohlensäure und kohlenensäurehaltigen Gasgemengen Auskunft geben.

Die Schädlichkeit der Kohlensäure für die Entwicklung der Pflanzen, wenn diese in reiner Kohlensäure oder in einer Atmosphäre mit höherem Kohlensäuregehalt vegetiren, ist seit Saussure bekannt. Dann hat Kühne¹⁾ bei seinen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Bewegungen des Protoplasma vom Sauerstoff gezeigt, dass auch die Bewegungserscheinungen im vegetabilischen Protoplasma — die der Myxomyceten und die in den Zellen der Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica* — durch Aufenthalt der Pflanzen in Kohlensäure zum Stillstand gebracht werden können. Diese Schädlichkeit der Kohlensäure auf die Pflanze beruht offenbar nicht bloss auf der Unterdrückung der Athmung in der irrespirablen Atmosphäre, sondern auf einer positiv schädlichen Einwirkung derselben auf das Protoplasma, und man kann sich hiervon leicht durch die Unterbrechung der Kohlensäurewirkung vor eingetretenem Tode des Versuchsobjectes und ferner auch durch die specifischen Veränderungen überzeugen, die das strömende Proto-

¹⁾ Untersuchungen über das Protoplasma. Leipzig 1864.

plasma einer Nitellazelle unter dem Einflusse der Kohlensäure erleidet.

Leitet man durch die mikroskopische Gaskammer, in welcher ein Stück eines Nitellaspores, wie gewöhnlich, hängend im Tropfen am Deckglase, beobachtet wird, einen ununterbrochenen Strom von reiner Kohlensäure hindurch, so lässt sich leicht der Zeitpunkt fixiren, bei welchem die Bewegung des Protoplasma zum Stillstand kommt.

Die Zeitdauer hängt zwar von dem Entwicklungszustande der beobachteten Zelle ab, schwankt aber doch im Ganzen nur in geringen, leicht zu bestimmenden Grenzen.

Der bewegungslose Zustand, in welchen das Protoplasma geräth — die Kohlensäurestarre — kann in den ersten Stadien der Kohlensäurewirkung noch leicht wieder aufgehoben werden, und man sieht die Bewegungsfähigkeit des Protoplasma fast momentan oder doch in kürzester Zeit wiederkehren, wenn der Kohlensäurestrom unterbrochen und die Kohlensäure durch ein unschädliches Gas oder Gasgemenge ersetzt wird.

Nun geschieht dies aber — und dies ist von besonderem Interesse — auch ohne Zufuhr von Sauerstoff, nämlich auch dann, wenn der Kohlensäurestrom durch einen Strom eines indifferenten, wenn auch irrespirablen Gases, z. B. durch einen Strom von Wasserstoff ersetzt wird, was ja leicht ohne Öffnen der Gaskammer geschehen kann, und ohne dass gleichzeitig Sauerstoff zutreten vermag.

Die Starre des Protoplasma, die in Kohlensäure eintritt, ist daher, da sie durch Wasserstoff aufgehoben werden kann, nicht dem Mangel von Sauerstoff zuzuschreiben, sondern wird durch eine positiv schädliche Wirkung der Kohlensäure auf das Protoplasma hervorgerufen.

Ferner sieht man nach längerer Dauer der Kohlensäurewirkung, wenn dieselbe noch vor dem Tode der Zelle unterbrochen wird, und diese sich daher später wieder erholen kann, nachträglich im strömenden Protoplasma überaus häufig eigenthümliche, isolirte, mehr oder weniger rundliche Plasmaballen (*a. a.* Fig. 8) auftreten, die sich von dem zusammenhängenden Plasmastrome abgetrennt haben und nunmehr, so lange die Zelle besteht, ohne wieder mit demselben zusammenzuziessen, sich als selbständige Plasmakugeln mit und in dem Strom fortbewegen. Bei der Häufigkeit ihres Vor-

kommens unter Einfluss der Kohlensäure können sie als charakteristische Merkmale einer Kohlensäurewirkung auf das Protoplasma gelten.

Endlich geht die Kohlensäurestarre aber bei anhaltender, ununterbrochener Wirkung der Kohlensäure in Kohlensäuretod über und auch die Zeit, bis zu welcher in einem Strome von reiner Kohlensäure der Tod eintritt, lässt sich mit genügender Genauigkeit für die untersuchten Zellen feststellen.

Wenn nun, wie es die gasanalytischen Versuche von Bous-singault zum Mindesten wahrscheinlich machen, das Licht wirklich einen directen Einfluss auf die Kohlenstoffassimilation ausübt, so muss, wie man vermuthen darf, dieser Einfluss sich auch bei dem Eintritt der Kohlensäurestarre und des Kohlensäuretodes geltend machen.

Die vergleichenden Untersuchungen, die ich über diesen Punkt bisher mit belichteten und nicht belichteten Zellen im Kohlensäure-strome angestellt habe, gestatten nun zwar noch keine sicheren Zahlenangaben, da hierbei verschiedene Nebenumstände eintreten, welche das Resultat compliciren und verschleiern, und ich behalte mir deshalb hierüber noch genauere Mittheilungen vor; nichtsdestoweniger erlauben sie schon den Schluss, dass ein solcher Einfluss vorhanden ist.

Es scheint durchweg Kohlensäurestarre und Kohlensäuretod bei starker Beleuchtung früher einzutreten, als im Finstern, und die Temperatur erscheint hierbei ohne wesentlichen Einfluss.

Man kann daher im concentrirten Sonnenlichte in reiner Kohlensäure eine Nitellazelle auch ohne Gegenwart von Sauerstoff in kurzer Zeit und unter Umständen tödten, unter welchen auch der Wärmetod der Zelle ausgeschlossen ist.

Der Tod erfolgt dann unter dem Einflusse der Kohlensäure durch dieselben Veränderungen, die wir im Zellinhalte auch wahrnehmen, wenn die Zelle im Finstern durch eine längere Aussetzung in der Kohlensäure getödtet wird. Die intensive Beleuchtung beschleunigt nur die Wirkung, und die im intensiven Licht und Kohlensäure getödtete Zelle zeigt daher nur (Fig. 9) die gewöhnlichen Erscheinungen der durch Kohlensäure im Finstern getödteten Zellen: Plasmastarre und Contraction des Zellinhaltes ohne die geringsten sichtbaren Veränderungen in der Beschaffenheit und der Farbe der Chlorophyllkörper.

In Gasgemengen, welche aus einer Mischung von Kohlensäure und Wasserstoff bestehen, hängen nun die Erscheinungen, welche im intensiven Lichte eintreten (Fig. 8) von dem relativen Verhältniss beider Gasarten im Gemenge ab.

Bei grossem Kohlensäuregehalt treten die schädlichen Wirkungen, wie in reiner Kohlensäure ein. Bei geringerem Kohlensäuregehalt macht sich die schädliche Wirkung der Kohlensäure nicht bemerkbar, oder es kommt doch in der kurzen Zeit der Versuche nur bis zur Kohlensäurestarre und bis zum Auftreten der früher beschriebenen, isolirten Plasmaballen (*a. a.* Fig. 8), welche die Merkmale der Kohlensäurewirkung sind.

Niemals treten, wie ich dies schon in meiner Abhandlung über Lichtwirkung und Chlorophyllfunction mitgetheilt habe, in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff bei den Versuchen in den Sonnenbildern jene tief eingreifenden Zerstörungen ein, welche ich als Sauerstoffwirkungen im Lichte nachwies und auch hier in Zelle C Fig. 1 veranschaulicht habe.

Dieser Umstand bedarf noch einer weiteren kurzen Darlegung. Nach der Insolation in Kohlensäure und Wasserstoff bleibt die Zelle, vorausgesetzt immer, dass kein schädlicher Wärmeeffect eingetreten ist, in ihren Lebensfunctionen völlig intact zurück; ganz ebenso, als wenn sie in reinem Wasserstoff dem intensiven Lichte ausgesetzt worden wäre. Sie lebt nicht nur ungestört weiter, sondern führt auch ihre physiologischen Functionen in normaler Weise fort. Namentlich habe ich mich durch besondere, directe Versuche noch eigens davon überzeugt, dass die belichtete Zelle später auch noch in normaler Weise Kohlensäure assimilirt.

Man kann dies am einfachsten, leicht und bequem, nachweisen, wenn man die Präparate nach der Insolation in Lösungen von saurem kohlensauren Kalk legt.

Unter Ausscheidung von Gasblasen schlägt sich dann der kohlensaure Kalk im Lichte in Form von mikroskopischen, leicht kenntlichen, krystallinischen Concretionen äusserlich auf der Wand der Zelle nieder, als Beweis, dass die Zelle der Flüssigkeit im Lichte Kohlensäure entzogen hat¹⁾.

¹⁾ Durch eine besondere Reihe höchst einfacher Versuche, über die ich mir vorbehalte später genauer zu berichten, lässt sich leicht zeigen, dass der Niederschlag von kohlensaurem Kalk, welcher so häufig unsere Wasserpflanzen

Das Verhalten der in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff insolirten Zelle nach der Insolation zeigt demnach gerade so, wie das der im reinen Wasserstoff insolirten Zellen, dass die Zelle durch die Insolation und während derselben ihre Functionen nicht verloren hat.

Man ist somit auch zu der Annahme berechtigt, dass die Zelle während des Versuches Sauerstoff abgibt, unter der Voraussetzung nämlich, dass die oben angeführten Versuche von Boussingault über Sauerstoffabgabe von Pflanzen in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff als vollkommen vorwurfsfrei zu betrachten sind und daher schon an sich den Beweis liefern, dass die Assimilation des Kohlenstoffes in der That unabhängig von der Athmung besteht.

Allein eine quantitative Bestimmung der unter diesen Umständen möglichen Intensität der Assimilation zeigt schon, wenn man jene Versuche von Boussingault über die Grösse der Sauerstoffabgabe unter diesen Verhältnissen hier zu Grunde legt, dass in meinen Insolationsversuchen, bei der geringen Grösse der beleuchteten Fläche und bei der kurzen Dauer der Versuchszeit, nur äusserst geringe Spuren von freiem Sauerstoff von der beleuchteten Zelle gebildet werden können; und diese werden ihr überdies, was gleichfalls zu beachten ist, noch fortwährend durch den ununterbrochenen Strom von Kohlensäure und Wasserstoff, so wie sie entstehen, wieder entzogen und fortgeführt. Es können daher auch nur äusserst schwache Spuren von Sauerstoffwirkungen in den Ver-

bekleidet, in der That eine causale Folge der Assimilation ist. Man kann denselben in wenigen Stunden beliebig hervorrufen und schrittweise unter dem Mikroskope beobachten, wie der Panzer von kohlen-saurem Kalk allmählich entsteht und sich verbreitet, wenn man die betreffenden Pflanzen, Charen, Nitellen, Conferven, Moose, verschiedene Phanerogamen, Wasserpflanzen namentlich etc. auf Objectträgern in Lösungen von sog. saurem kohlen-sauren Kalk bringt. Die bekleidenden Niederschläge von kohlen-saurem Kalk entstehen bei solchen Versuchen, wenn Verdunstung und Diffusion der Kohlen-säure verhindert sind, nur im Lichte, nicht im Finstern, im Lichte aber entstehen sie immer unter gleichzeitiger Ausscheidung von Sauerstoffblasen. Man darf daher umgekehrt die Entstehung der Niederschläge im Lichte, wie ich es oben im Texte gethan habe, als Probe und Beweis für die Assimilation benutzen.

suchen auftreten, und auch diese nur unter günstigen Umständen und bei längerer Dauer der Versuche.

Dies erklärt, warum die insolirten Zellen bei meinen Versuchen in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff gewöhnlich und der Regel nach ebenso intact aus dem Versuche hervorgehen, wie aus den Versuchen in dem indifferenten, nicht assimilirbaren Wasserstoff.

Nun aber entstehen in der That in selteneren Fällen bei der Insolation in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff, namentlich wenn die Insolation länger andauert, an der Insolationsstelle jene geringen Störungen in der Anordnung der Chlorophyllkörper, die ich in anderen Fällen, bei vorhandenem freien Sauerstoff, als die ersten Spuren einer Sauerstoffwirkung im Lichte habe nachweisen können (*b.* Fig. 3 und 6).

Die Verrückung der Chlorophyllkörper aus ihren normalen Reihen ist freilich auch dann gewöhnlich nur schwach angedeutet und zeigt sich nur an wenigen Chlorophyllkörpern in der Mitte der Insolationsstelle. Sie ist daher schwer zu erkennen, wenn man nicht absichtlich nach ihr sucht; allein schon nach Tagen, hin und wieder auch erst nach Wochen, sieht man in diesen Fällen als Beweis, dass hier durch die längere Insolation doch eine Wirkung auf das wandständige Protoplasma stattgefunden hat, an der belichteten Stelle einen nackten Fleck von geringem Umfange (Fig. 13) auftreten, der auch hier in der auf S. 518 beschriebenen Weise entsteht.

Da diese Erscheinung somit den Anfängen schädlicher Sauerstoffwirkung im Lichte entspricht, so bin ich geneigt anzunehmen, dass in den betreffenden Fällen durch kräftige Assimilation sich Mengen von Sauerstoff entwickeln konnten, welche für die Hervorrufung der Sauerstoffreaction auf das Protoplasma schon genügten.

Beliebig und constant lässt sich jedoch diese Reaction bei der Insolation in Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff nicht hervorrufen, was wie gesagt vielleicht von der Assimilationsenergie der belichteten Zelle abhängen mag. Der gewöhnliche Fall ist immer der, dass die Zellen bei der Insolation in Gemengen von Wasserstoff mit sehr wenig Kohlensäure intact aus dem Versuche hervorgehen, wenn keine schädliche Erwärmung stattgefunden hat.

Es mag daher dieses Verhalten vorläufig auch nur als eine bedingte Bestätigung der Annahme gelten, dass die Kohlenstoffassimi-

lation im intensiven Lichte, unabhängig von der Athmung, durch einen besonderen photochemischen Lichteffect auf das Protoplasma zu Stande kommt.

Von weiteren Abänderungen der Insulationsversuche, die ja nahe liegen, kann ich hier absehen. Die bereits mitgetheilten in atmosphärischer Luft, in Wasserstoff, in reiner Kohlensäure und in Gemengen von Wasserstoff und Kohlensäure genügen für den Zweck des vorliegenden Aufsatzes, denn sie legen bereits die primären Wirkungen des Lichtes auf die Vegetation offen dar und weisen deren constante Beziehungen zu dem Verhältniss der Pflanze zur Atmosphäre nach.

Sie zeigen durch die unmittelbaren Vorgänge in der beleuchteten Zelle, dass neben thermischen direct nachweisbare photochemische Effecte der Strahlung auf die Vegetation bestehen. Diese letzteren kann man als Lichtwirkungen im engeren Sinne bezeichnen. Es sind dies die Wirkungen, welche allein oder doch wesentlich die Erscheinungen hervorrufen, die man gewöhnlich im Auge hat, wenn man von Lichtwirkung auf die Pflanze im Gegensatze zur Wärmewirkung redet.

Zugleich aber zeigen meine Untersuchungen, dass diese Lichtwirkungen im engeren Sinne im Gegensatze zum Wärmeeffect der Strahlung nicht unmittelbare, vom Medium unabhängige Veränderungen im Protoplasma der Zelle hervorrufen, sondern nur das Verhältniss der Zelle zu den beiden für die Pflanze unentbehrlichen Bestandtheilen der Atmosphäre, zum Sauerstoff und zur Kohlensäure, berühren. Das heisst mit anderen Worten, die photochemischen Wirkungen der Strahlung bestimmen und verändern nur die Grösse des Absorptionscoefficienten der Zelle für Sauerstoff und Kohlensäure.

Man kann daher sagen, dass die leuchtenden Strahlen, wenn man sie ihres Wärmeeffectes entkleidet, oder vielmehr diesen unwirksam macht und aufhebt, auf das Protoplasma der Zelle völlig wirkungslos sind, sofern nicht freier Sauerstoff oder Kohlensäure sich in der Umgebung der Zelle befindet.

Dies beweisen die Insolationen in indifferenten Gasen, wie z. B. im Wasserstoff, mit Evidenz.

Die volle und richtige Würdigung dieses Verhältnisses scheint mir geeignet zur Klärung der verbreiteten Vorstellungen über die Lichtwirkung auf die Vegetation beizutragen, zugleich aber auch die

Bedeutung der Pflanzenfarben, d. h. ihre physiologische Function, die sie im Gaswechsel der Pflanze erfüllen, aufzuhellen.

Denn, wie ich bereits an anderer Stelle¹⁾ nachzuweisen bemüht war, müssen nothwendig die photochemischen, von den leuchtenden Strahlen abhängigen Wirkungen des Lichtes in den Pflanzenfarben, die einen Theil der leuchtenden Strahlen absorbiren und abhalten, die natürlichen Regulatoren für die Grösse ihres Effectes finden.

Bei allen vom Lichte abhängigen Erscheinungen des Pflanzenlebens kommen nun neben den thermischen, als Lichtwirkungen im engeren Sinne, nur die hier besprochenen, photochemischen Wirkungen der leuchtenden Strahlen in Betracht, welche in ihrer Äusserung nichts Anderes sind, als Intensitätsänderungen der Sauerstoff- und Kohlensäureaufnahme der Pflanze.

Ihre Effecte in der Zelle werden erkennbar an denjenigen Bestandtheilen der Zelle, die ich als lichtempfindliche nachwies.

Bisher hat man, soweit chemische Wirkungen des Lichtes in Betracht kommen, nur an das Verhältniss der Lichtwirkung zur Kohlenstoffassimilation gedacht.

Die vom Lichte abhängige Intensität der Sauerstoffaufnahme spielt aber hier eine maassgebende Rolle, zumal sie es vorzugsweise ist, die in dem Chlorophyllfarbstoff ihren Regulator findet.

Die Aufgabe der Einzelforschung muss daher sein, die an den Pflanzen im Grossen wahrgenommenen Lichtwirkungen nicht bloss nach ihrer äusseren Erscheinung, sondern nach ihren primären, thermischen und photochemischen, Effecten zu zergliedern und die Bedeutung, welche hierbei der besonderen Farbe der Theile zukommt, näher zu bestimmen.

Dies gilt nun aber nicht bloss für die dem Lichteinfluss unterliegenden Vorgänge, die man bisher ohne jede weitergehende Unterscheidung nur allgemein als Wirkungen des Lichtes auf den Stoffwechsel und das Wachsthum ansah — mit Einschluss natürlich der heliotropischen Erscheinungen —, sondern ebenso auch für die sogenannten mechanischen Wirkungen des Lichtes.

Eine directe mechanische Wirkung der Strahlung auf das Protoplasma könnte man höchstens bei der durch thermische Effecte

¹⁾ Untersuchungen über das Chlorophyll, dritte Abtheilung. Monatsberichte vom Juli 1879; und Untersuchungen über Lichtwirkung und Chlorophyllfunction in der Pflanze. Leipzig, bei Engelmann, 1881.

hervorgerufenen Störung der Bewegung — bei der Wärmestarre — annehmen. Aber diese Wärmeeffecte sind ja bei der Betrachtung der Lichtwirkungen im engeren Sinne stets ausgenommen.

Andere als thermische und photochemische Effecte des Lichtes sind bei der Pflanze nicht nachweisbar. Im Wasserstoff sehen wir im intensivsten Lichte jeder Farbe bei Ausschluss der thermischen Effecte die Bewegungserscheinungen in der Zelle völlig ungestört fortbestehen und verlaufen; die leuchtenden Strahlen zeigen daher, wenn ihr Wärmeeffect ausser Wirksamkeit gesetzt wird, an sich keinen mechanischen Effect auf die Bewegung; sie sind eben wirkungslos. Ganz anders, sobald Sauerstoff hinzutritt; dann erfolgt sofort oder in kürzester Frist eine Hemmung und Störung der Bewegung. Sie ist sichtlich mit einer Veränderung der Consistenz im Protoplasma oder des Zustandes seiner Zähigkeit verbunden, und diese ist offenbar die Folge der Oxydationen im Protoplasma, die unter der photochemischen Action der Strahlung stattfinden.

Hierin liegt der Schlüssel für die Erklärung der sogenannten mechanischen Wirkungen des Lichtes.

Soweit sie nicht von thermischen Effecten der Strahlung abhängen, werden sie durch die Intensitätsänderungen der Gasabsorption und Gasdiffusion veranlasst, welche unter dem Einflusse der photochemischen Wirkung des Lichtes stehen.

Für die Bewegungserscheinungen in dem Protoplasma der Zellen, aus denen die Stellungs- und Lageveränderungen der Körper im Protoplasma folgen, wird dies schon durch die unmittelbare Beobachtung veranschaulicht.

Die Geschwindigkeit, mit welcher jene Inhaltskörper im Protoplasma fortgeführt werden, hängt von der Consistenz desselben, oder, wie man sagen kann, von seiner Wegsamkeit ab. Diese aber ist an jedem Punkte des zusammenhängenden Protoplasmaleibes der Zelle eine Function der an diesem Punkte bestehenden Intensität der Sauerstoffaufnahme und der Temperatur.

Wenn durch eine einseitige oder partielle Beleuchtung eines Theiles der Zelle die Temperatur, oder die Grösse der Sauerstoffaufnahme, oder Beides an den verschiedenen Stellen des Protoplasmaleibes eine ungleiche wird, dann wird nothwendig, wie es die Insulationsversuche zeigen, auch die Bewegung sofort eine unregelmässige; ihre Geschwindigkeit ändert sich an der belichteten

Stelle und so wird sie an verschiedenen Stellen der Zelle eine verschiedene.

Hiernach bestimmt sich dann selbstverständlich die Anordnung und die Vertheilung der an sich unbeweglichen Bestandtheile des Protoplasma, *z. B. der Chlorophyllkörper, die sich nothwendig an den Orten ansammeln müssen, wo aus den obigen Gründen die geringere Wegsamkeit des Protoplasma der Bewegung des in sich zurückkehrenden Kreisstromes ein grösseres Hinderniss setzt.

Hierauf lassen sich die bei wechselnder Beleuchtung in den Zellen beobachteten Bewegungen leicht und verständlich zurückführen.

In gleicher Weise erklären sich aber aus den Intensitätsänderungen des Gaswechsels auch die Wirkungen des Lichtes auf die freien Bewegungen der Schwärmsporen, oder vielmehr der Einfluss, den die Beleuchtung, d. h. die Richtung des einfallenden Lichtstrahles auf die Richtung und Lage ihrer Achse gewinnt.

Die Analogien, welche die Schwärmsporen der Tallophyten mit den niedersten Thierformen, Amöben, Flagellaten u. s. w., aufweisen, verführen die Beobachter immer wieder, die Lichtwirkungen auf die Schwärmsporen wie Reize auf ein contractiles Protoplasma aufzufassen, und die mechanischen Effecte derselben den vitalen Reizbewegungen der thierischen Muskelsubstanz an die Seite zu stellen.

Selbst die neueste Literatur ist in der Auffassung und im Ausdrücke der Erscheinung nicht frei von dieser falschen Anwendung vorhandener Analogien.

Es ist aber nicht schwer, das nothwendige Zusammenfallen der Richtung der Sporenachse mit der Richtung des einfallenden Lichtstrahles auf rein mechanische Ursachen zurückzuführen.

Dass die Bewegung der Schwärmsporen durch die Contractilität ihrer Cilien erfolgt, ist zum Mindesten eine unerwiesene Hypothese.

Näher liegt es, dieselbe von den Diffusionsvorgängen abzuleiten, die an der Oberfläche der Schwärmspore wirksam sind.

Abgesehen von zufälligen und unwesentlichen Hindernissen, halten die Schwärmsporen bekanntlich bei unveränderter Beleuchtung stets eine constante Richtung ihrer Längsachse in der Bewegung fest.

Bei dem gewöhnlichen, eiförmigen und symmetrischen Bau der

Schwärmspore fällt die Richtung der Bewegung ausnahmslos in die Richtung der Längsachse.

Die Bewegung in der Richtung der Längsachse muss daher eine nothwendige Folge der Anordnung, Grösse und Richtung der Bewegungskräfte an der Spore sein.

Gehen wir hiervon aus und denken wir uns die Bewegungskräfte an der Oberfläche des symmetrischen und frei schwimmenden Rotationskörpers — den die Spore vorstellt — als senkrechte Zug- oder Druckkräfte wirksam, so wird ihre Resultante nur dann, so wie es geschieht, in die Rotationsachse fallen können, wenn diejenigen Kräfte, welche an den zur Rotationsachse symmetrisch gelegenen Flächenelementen wirksam sind, durchweg gleiche Werthe repräsentiren, d. h. gleich gross sind.

Dieses Verhältniss entspricht vollkommen den bei der Spore stattfindenden Diffusionsvorgängen.

Die bei der Athmung und Assimilation an ihrer Oberfläche eintretenden und austretenden Gasströme stellen Kräfte dar, die senkrecht zur Oberfläche der Schwärmspore wirksam und zugleich an den zur Rotationsachse symmetrisch gelegenen Punkten als gleich gross angenommen werden dürfen. Offenbar wirken aber diejenigen Gasströme, die an der vorderen Hälfte der Spore ein- und austreten, in ihrem mechanischen Moment den Gasströmen der hinteren Fläche entgegen.

Wäre die Resultirende der Gasströme der einen Hälfte ebenso gross, wie die der anderen — was bei functioneller Gleichheit beider Hälften eintreten müsste —, so wäre Gleichgewicht und Ruhe vorhanden und die Spore würde sich trotz Athmung und Assimilation nicht bewegen.

Die Erfahrung zeigt, dass dies nicht der Fall ist, und dass daher die Gasströme der einen Hälfte in ihrer Gesamtwirkung die der anderen Hälfte übertreffen müssen, wie dies schon in Folge der bekannten anatomischen Abweichung im Bau des vorderen Endes der Spore sich von vornherein als das nothwendige Resultat der verschiedenen Athmungs- und Assimilationsenergie der vorderen und hinteren Hälfte der Spore erschliessen lässt.

Der Einfluss des Lichtes auf die Bewegung, der den eigentlichen Gegenstand unserer Untersuchung bildet, macht sich nun, wie die Versuche zeigen, dadurch geltend, dass die Spore ihre Achse in die Richtung des einfallenden Lichtstrahles einstellt.

Es ist aber schon oben bemerkt, dass die constante Richtung der Bewegung in der Richtung der Rotationsachse ganz allein durch den Umstand bestimmt und festgehalten wird, dass die Kräfte, die an je zwei symmetrisch zur Rotationsachse gelegenen Flächenelementen wirksam sind, — d. h. die Intensitäten der hier ein- und austretenden Gasströme — gleich gross bleiben, denn nur, wenn diese gleich sind, fällt ihre Resultante in die Achse der Spore und die Richtung der Bewegung in die Richtung der Achse.

Die plötzlichen Bewegungen, welche die Schwärmosporen bei einseitiger Beleuchtung, oder bei nicht allseitig gleichbleibender Beleuchtung ausführen, erklären sich daher auch hier leicht und in einfacher Weise aus den Änderungen, welche die Athmungs- und Assimilationsgrösse bei wechselnder Beleuchtung erfährt.

Wird, wie dies ja bei einer ungleichartigen Beleuchtung der Schwärmspore immer eintreten muss, ein Flächenelement der Oberfläche auf der einen Seite der Schwärmspore stärker vom Lichte getroffen, als das ihm symmetrisch gelegene Flächenelement auf der anderen Seite der Schwärmspore, so sind die an diesen beiden Punkten ihrer Oberfläche ein- und austretenden Gasströme nicht mehr gleich und ihre Resultante fällt daher auch nicht mehr in die Richtung der Längsachse der Spore.

Dies muss sofort eine Drehung der Sporenachse und eine neue Lage derselben hervorrufen, bei welcher wieder neue symmetrische Flächenelemente ungleich beleuchtet werden. Die Drehung der Achse muss sich daher so lange fortsetzen und die Sporenachse kann nicht eher eine constante Lage annehmen, bis sämtliche, symmetrisch gelegenen Punkte der Oberfläche gleich stark vom Lichte beleuchtet werden.

Dies ist aber nur der Fall, wenn die Richtung der Rotationsachse der Spore mit der Richtung des einfallenden Lichtstrahles zusammenfällt.

Die experimentellen Erfahrungen über die Bewegung der Schwärmosporen bei Beleuchtungsänderungen stehen mit dieser Darlegung in voller Übereinstimmung und man begreift so, dass die Spore bei veränderter Beleuchtung nothwendig ihre Bewegungsaxe so lange drehen muss, bis sämtliche zur Achse symmetrische Punkte ihrer Oberfläche wieder gleich intensiv beleuchtet sind.

Hierbei ist es an sich unbestimmt ob die Spore sich dem einfallenden Lichte ZU- oder von demselben FORT-bewegt. Der Theo-

rie nach ist Beides möglich und es hängt dies lediglich davon ab, ob die einzelne Spore von dem einseitig einfallenden Lichtstrahl, der die ungleiche Beleuchtung ihrer Flächen bewirkt, zuerst an ihrer vorderen oder an ihrer hinteren Fläche getroffen wird.

Durch einfache geometrische Constructionen, die ich an dieser Stelle nicht erst auszuführen brauche, lassen sich die hier beschriebenen Verhältnisse bei der Bewegung der Schwärmsporen leicht veranschaulichen.

Auch diese mechanischen Wirkungen des Lichtes sind daher, wie alle Lichtwirkungen im engeren Sinne, nichts Anderes als durch Intensitätsänderungen der Athmung und Assimilation hervorgerufene Effecte.

Soll ich nun schliesslich noch kurz die Ergebnisse der vorgelegten Untersuchungen zusammenfassen, so sind es die folgenden:

Die primären Wirkungen der Sonnenstrahlung auf die Vegetation bestehen in thermischen und in photochemischen Effecten, deren Einfluss an den einzelnen Bestandtheilen der getroffenen Zelle im intensiven Lichte direct erkennbar wird.

Die photochemischen Effecte beziehen sich ausschliesslich auf das Verhältniss der Pflanze zum Sauerstoff und zur Kohlensäure der Atmosphäre; sie sind reine Intensitätsänderungen des Gaswechsels. Als solche sind sie sicher und vollständig von mir nachgewiesen für die Sauerstoffaufnahme, weniger vollständig für die Kohlensäureabsorption.

Andere als thermische und photochemische Wirkungen des Lichtes sind an der Pflanze nicht nachweisbar.

Alle Wirkungen des Lichtes auf die Erscheinungen des Pflanzenlebens — nicht bloss die auf das Wachsthum und den Stoffwechsel, sondern auch die sogenannten mechanischen und vitalen Reizbewegungen des Lichtes — lassen sich leicht auf rein thermische und photochemische Effecte zurückführen. Allein ihre genauere Kenntniss verlangt ein specielles Eingehen auf das Verhalten der lichtempfindlichen — d. h. photochemisch erregbaren — Bestandtheile der Zellen, deren Nachweis und Unterscheidung von den nicht photochemisch erregbaren ich in meiner bereits mehrfach citirten Abhandlung über Chlorophyllfunction und Lichtwirkung zu geben versucht habe.

Erklärung der Tafel.

Die Figuren auf dieser Tafel sind von meinem gegenwärtigen Assistenten, Hrn. Dr. Tschirch, der mich auch bei den betreffenden Untersuchungen mit grossem Eifer unterstützt hat, nach meinen Präparaten ausgeführt worden.

Alle Figuren dieser Tafel beziehen sich auf *Nitella mucronata* und die Versuche sind sämmtlich in concentrirten Sonnenbildern von derselben grünen Farbe ausgeführt worden, deren Spectra nur den mittleren Theil des Sonnenspectrums enthielten.

Fig. 1. Stück eines Sprosses, welches in der Gaskammer lag und zu 3 un mittelbar auf einander folgenden Versuchen (*A. B. C.*) in demselben grünen, concentrirten Sonnenbilde bei ungeöffneter Gaskammer benutzt wurde.

Im Versuche *A* dauerte die Insolation 2—3 Minuten und in der Gaskammer befand sich atmosphärische Luft.

Im Versuche *B* dauerte die Insolation 20 Minuten und durch die Gaskammer wurde ein Strom von reinem Wasserstoff geleitet.

Im Versuche *C* endlich dauerte die Insolation 5—6 Minuten und in der Gaskammer befand sich wieder atmosphärische Luft.

Fig. 2 u. 3 stellen die insolirten Theile aus dem Versuche *A* dar bei stärkerer Vergrösserung, einen Tag nach dem Versuche. Fig. 2 die im Versuche nach oben liegende, dem Beobachter zugekehrte Fläche der Zellen; Fig. 3 die dem einfallenden Lichte im Versuche zugekehrte Fläche derselben Zellen. Hier hat schon in dieser kurzen Insolation Zerstörung der Hautschicht und in Folge dessen Verrückung der Chlorophyllkörper aus ihren Reihen stattgefunden.

Fig. 4. 5. 6 stellen 2 Zellen (*a. b.*) eines andern Präparates dar nach einer Insolation von 1—1½ Minuten in atmosphärischer Luft.

Fig. 4 zeigt die Zellen kurz nach der Insolation, in dem Zustande, in welchem ihre Ober- und Unterseite noch keine Differenz aufweist.

Fig. 5 u. 6 zeigen die beiden Seiten derselben Zellen 24 Stunden später und zwar zeigt Fig. 5 wieder die dem Beobachter, Fig. 6 die dem einfallenden Lichte im Versuche zugekehrte Fläche.

Fig. 7. Zellen 20 Minuten im Wasserstoff insolirt; mehrere Tage nach der Insolation.

Fig. 8. Ähnliche Zellen 20 Minuten in einem Gemenge von Wasserstoff mit wenig Kohlensäure insolirt; mehrere Tage nach der Insolation, *a, a* durch die Kohlensäurewirkung veranlasste Plasmakugeln.

Fig. 9. Eine Zelle 15 Minuten in reiner Kohlensäure insolirt.

- Fig. 10. Ein längeres Internodium der Nitella an der Stelle bei α , 2 bis 3 Minuten in atmosphärischer Luft insolirt.
- Fig. 11. Das insolirte Stück (α) aus der Fig. 10. 3 Tage nach der Insolation.
- Fig. 12. Dasselbe insolirte Stück (α) aus der Fig. 10. 9 Wochen nach der Insolation.
- Fig. 13. Insulationsstelle einer längeren Zelle von Nitella, 20 Minuten in einem Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff insolirt 4 Wochen nach der Insolation.

Hr. Kronecker las:

Zur Theorie der Elimination einer Variablen aus zwei algebraischen Gleichungen.

In meinen der Akademie früher gemachten Mittheilungen¹⁾ über Sturm'sche Reihen, die zu zwei Functionen $f(x)$, $f_1(x)$ gehören, ist den Zielpunkten jener Untersuchungen gemäss die Voraussetzung festgehalten, dass die Wurzeln der Gleichung $f(x) = 0$ unter einander verschieden seien. Die Entwicklungen selbst bleiben aber im Wesentlichen, auch wenn die Voraussetzung fallen gelassen wird, bestehen; nur muss die Bedeutung der darin vorkommenden, a. a. O. mit s_h bezeichneten Summenausdrücke

$$\sum_{(\xi)} \frac{\xi^h}{f_1(\xi)f'(\xi)},$$

wenn Wurzeln ξ der Gleichung $f(x) = 0$ zusammenfallen, entsprechend modificirt werden, wie es schon von Jacobi in seiner Abhandlung im 30. Bande des Crelle'schen Journals S. 149 näher dargelegt worden ist. Indessen haben eben diese Grössen s_h noch die anderweite Bedeutung als Coëfficienten einer Reihenentwicklung, da

$$\frac{f_1(x)}{f(x)} = \sum_{k=0}^{k=\infty} s_k x^{-k-1}$$

wird, wenn man $f_1(x)$ als eine ganze Function niedrigsten Grades definiert, welche für alle Werthe von ξ die Bedingung $f_1(\xi)f_1'(\xi) = 1$ erfüllt. Nimmt man diese Bedeutung der Grössen s_h zum Ausgangspunkt, so hat man den Vortheil, dass jene Voraussetzung ungleicher Wurzeln dabei gar nicht in Frage kommt; doch muss alsdann

¹⁾ Monatsberichte vom Februar 1873 und vom Februar 1878.