

Biologisches Centralblatt

unter Mitwirkung von

Dr. M. Reess und **Dr. E. Selenka**

Prof. der Botanik

Prof. der Zoologie

herausgegeben von

Dr. J. Rosenthal

Prof. der Physiologie in Erlangen.

Jährlich 24 Nummern von je 2 Bogen. Preis des Jahrgangs 16 Mark.
Zu beziehen durch alle Buchhandlungen und Postanstalten.

I. Jahrg.

16. Mai 1881.

Nr. 3.

Inhalt: **Pringsheim**, I Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunktion in der Pflanze. II. Untersuchungen über das Chlorophyll. — **Gruber**, Der Teilungsvorgang bei *Englypha alveolata*. — **Bütschli**, Kleine Beiträge zur Kenntniss der Gregarinen. — **Flehsig**, Zur Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Leitungsbahnen im Grosshirn des Measchen. — **Dansky** und **Kostenitsch**, Ueber die Entwicklungsgeschichte der Keimblätter und des Wolff'schen Ganges im Hühnerlei. — **Rosenthal**, Altes und Neues über Atembewegungen. — **Weyl**, Das Chlorophyll. — **Landois**, Brütapparat mit elektromagnetischer Vorrichtung zur Regulirung eines constanten Temperaturgrades.

I. N. Pringsheim, Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunktion in der Pflanze.

(Jahrb. f. wiss. Bot. XII. Bd. 3. Heft S. 288—437, Taf. XI—XXVI. Auch separat erschienen Leipzig, Engelmann 1881.)

II. N. Pringsheim, Untersuchungen über das Chlorophyll.

V. Abt.: Zur Kritik der bisherigen Grundlagen der Assimilationstheorie der Pflanzen. (Monatsber. d. K. Akademie d. W. zu Berlin vom Febr. 1881. 21 S.).

Was der Verfasser während der letzten drei Jahre in den Monatsberichten der Berliner Akademie über die Chlorophyllfrage vorläufig mitgeteilt hat, das liegt nun, in umfassender Bearbeitung vereinigt, vor in der erstgenannten, von ebenso vorzüglichen als lehrreichen Abbildungen begleiteten Abhandlung. Die an zweiter Stelle erwähnte Mitteilung fasst die für die Lehre von der pflanzlichen Assimilation und Atmung wichtigsten Ergebnisse der erstgenannten zusammen und discutirt die dadurch angeregten hochinteressanten physiologischen Fragen. Diese Abhandlung glauben wir, von einigen unwesentlichen Kürzungen abgesehen, wörtlich wiedergeben zu sollen, eingeführt durch einen zu ihrem Verständniss nötigen kurzen Auszug speciell aus dem histologisch-mikrochemischen Inhalte der ersterwähnten Arbeit.

In dieser erfährt zunächst unsre histologische und mikrochemische Kenntniss des Chlorophyllkörpers maßgebende

Erweiterung und Verfeinerung. Bisher war wesentlich von einer homogenen protoplasmatischen Grundsubstanz dieser Gebilde die Rede, aus welcher man den Farbstoff mit bekannten Lösungsmitteln ausziehen, in welcher man ferner meist Amylumeinschlüsse nachweisen konnte. Durch eindringendes Studium der Erscheinungen, welche durch feuchte Wärme und durch verdünnte Säuren (insbesondere Salzsäure) hervorgerufen werden, gelangt P. erheblich weiter. Er stellt den Chlorophyllkörper dar als einen Hohlkörper mit netzartig durchbrochener Hülle, die Hohlräume erfüllt von Tropfen einer ölähnlichen Masse, die ihrerseits den Chlorophyllfarbstoff enthält. Erwärmung bewirkt den Austritt der farbstoffführenden Oeltropfen, die sich neben die entfärbte Grundmasse lagern. — Die feinporöse Struktur der öldurchtränkten Chlorophyllkörper passt vorzüglich zu deren Funktion als Organe für die Aufnahme von Gasen und speciell die Condensirung und Bindung des Sauerstoffs.

Fast alle darauf untersuchten Chlorophyllkörper höherer wie niederer Pflanzen zeigen auf Einwirkung verdünnter Salzsäure die Abscheidung von Hypochlorin, im ausgeprägtesten Falle in Form von rostbraunen, krystalloidischen Nadeln oder Stäbchen. Hypochlorin nennt Pringsheim einen von ihm entdeckten vorläufig nur mikrochemisch gekennzeichneten Körper, dessen mikrochemisches Verhalten seine Verwandtschaft mit den kohlenstoffreichen Gruppen der Harz- und Fettkörper dartut, während die besondere Art seines Vorkommens auf eine nahe genetische Beziehung zu den Amylumeinschlüssen der Chlorophyllkörper hinweist. Ueberall nämlich, wo die Einlagerung von Stärke im Chlorophyllkörper auf histologisch bestimmte Teile des letzteren, die sog. Amylumherde beschränkt ist, fällt die Stelle der Amylumbildung und der Hypochlorinausscheidung zusammen. Da aber die Hypochlorinreaction schon vor der Amylumbildung an fraglichen Orten hervorgerufen werden kann, so scheint das Hypochlorin dem Amylum im Chlorophyllkörper voranzugehen. Das Hypochlorin kann in gleichartigen Chlorophyllkörpern in wechselnder Menge vorkommen oder auch ganz fehlen, muss also bald erzeugt, bald verbraucht werden. Seine Präexistenz im unversehrten Chlorophyllkörper, vor der Säureeinwirkung, hält P. für sicher. Die Entstehung des Hypochlorins in der lebenden Pflanze ist im Wesentlichen an die gleichen Bedingungen geknüpft, wie diejenige des Chlorophyllfarbstoffs. Wärme von etwa 45—50° zerstört das Hypochlorin, ohne den Chlorophyllkörper sonst anzugreifen.

Um photochemische Wirkungen auf Pflanzenzellen, sowie die Erscheinungen des pflanzlichen Gaswechsels im weissen und farbigen Licht unmittelbar unterm Mikroskop zu studiren, hat P. eine ausführlich beschriebene Methode directer mikroskopischer Photochemie erdacht. „Die Berechtigung dieser Methode, so fremdartig sie auf den ersten Blick gegenüber der gewöhnlichen Weise mikroskopischer Be-

obachtung erscheint, ergibt sich aus ihren Resultaten und ist an sich klar, sobald man, wie es auch die Versuche nachweisen, voraussetzt, dass photochemisch empfindliche Substanzen im Zellinhalte vorhanden sind.“ Verlangt werden unmittelbar augenfällige Wirkungen der gewählten Versuchsbedingungen und dem entsprechend höhere Lichtintensitäten, als sie bisher bei den Versuchen über die Wirkung verschiedener Spectralfarben auf Wachstum und Gaswechsel allgemein zur Anwendung gelangt sind. Für alle technischen und methodischen Einzelheiten sei auf das Original der ersten Abhandlung verwiesen; hinsichtlich der Ergebnisse dagegen auf den unten folgenden Abdruck der zweiten.

M. Reess.

Die gegenwärtige Lehre von der Bedeutung der grünen Farbe der Vegetation für das organische Leben auf unsrer Erde sieht bekanntlich in dem Chlorophyllfarbstoff den directen Träger der Kohlensäure-Zersetzung der Atmosphäre und stützt sich bei dieser Ansicht auf die übereinstimmenden Erfahrungen über den Gaswechsel grüner Gewebe im Lichte. Auch nach meiner Vorstellung hat allerdings die grüne Farbe zweifellos eine maßgebende Bedeutung für die Organisation und Ansammlung des Kohlenstoffs im Gewächsreiche, allein ihr Nutzen liegt in einer physikalischen Beziehung des Farbstoffs zur Sauerstoffwirkung der Atmosphäre auf die Pflanze, während er nach der bisherigen Vorstellung in einer chemischen Beziehung zur Kohlensäure-Aufnahme gesucht wird.

Wir wollen deshalb die Grundlagen der gegenwärtigen Assimilationslehre vom Standpunkte meiner Theorie der Chlorophyllfunktion näher beleuchten.

A. Die Funktion der Chlorophyllkörper.

Der leitende Gesichtspunkt für die richtige Auffassung der Erscheinungen, die in erster Linie bei der vegetabilischen Stoffbildung aus den Bestandteilen der Atmosphäre in Frage kommen, ergibt sich aus dem Verhalten der Chlorophyllkörper unter verschiedenen Bedingungen im intensiven Lichte. Er liegt in der Erkenntniss, dass die Chlorophyllkörper im Gaswechsel der grünen Gewebe eine doppelte Function zu erfüllen haben.

Schon nach der Erweiterung, welche unsre anatomischen Kenntnisse über den Bau und die Zusammensetzung der Chlorophyllkörper erfahren haben, lassen sich diese nicht mehr wie bisher als bloße Reduktionsapparate betrachten. Sie vermitteln vielmehr in den grünen Geweben, wie ihr Verhalten zum Sauerstoff im Lichte nachweist, die Gasaufnahme überhaupt und eignen sich nicht nur die Kohlensäure, sondern auch den Sauerstoff der Luft an. Sie sind daher nicht bloß

Kohlensäure-Zerleger in der Pflanze, sondern auch Sauerstoff-Condensatoren und dienen so gleichzeitig der Atmung und Assimilation.

B. Die Funktion des grünen Farbstoffs.

Meine Versuche im intensiven Licht haben den Nachweis geliefert, dass das Licht bei Gegenwart von Sauerstoff einen oxydirenden Einfluss auf bestimmte Bestandteile des Zelleninhalts ausübt und dass diese chemische Wirkung des Lichts nicht nur von seiner Intensität sondern auch von seiner Farbe abhängt. Wie bei anderen chemischen Lichtwirkungen auch, nimmt hierbei die Intensität der Wirkung nach dem brechbareren Ende des Spektrums zu. Die stärker brechbare Hälfte des Spektrums, welche aber bekanntlich vom Chlorophyllfarbstoff absorbiert wird, ist daher auch bei dieser Lichtwirkung auf die Pflanze wirksamer, als die schwächer brechbare.

Es hat sich ferner bei meinen Versuchen ergeben, dass grüne Gewebe und Zellen diese oxydirende Wirkung des Lichts in höherem Grade erleiden, als nicht grüne. Die Ursache dieser größeren Empfindlichkeit grüner Gewebe liegt aber nicht in ihrer Farbe, sondern in dem Vorhandensein leicht oxydirbarer Assimilationsprodukte im Inhalte der Chlorophyllkörper, deren Existenz man bisher übersehen hat; und die Zerstörungen, welche die verstärkte Sauerstoffaufnahme im intensiven Licht hervorruft, werden nicht durch die Lichtabsorptionen im Chlorophyllfarbstoff verursacht, sondern kommen durch die Absorptionen derjenigen leuchtenden Strahlen zu Stande, welche von dem sogenannten farblosen Zellinhalte, den geformten Bestandteilen des Zellinhalts und dem Protoplasma verschluckt werden. Denn die Lichtwirkungen in der grünen Zelle sind, wie es Versuche zeigen, die an solchen Stellen der Zelle ausgeführt werden, die kein Chlorophyll besitzen, vom Chlorophyllfarbstoff unabhängige Lichteffekte und der Farbstoff steigert auch dort, wo er vorhanden ist, die Wirkung nicht, sondern setzt dieselbe vielmehr herab, indem er den für die Hervorbringung der Erscheinung wirksamsten Theil des Spektrums absorbiert.

Die unmittelbar nützliche Wirkung der grünen Farbe für die Pflanze liegt daher nach meinen Versuchen darin, dass sie die Atmungsgröße im Lichte herabsetzt. Ihre eigentliche Bedeutung für die Assimilation ergibt sich dann aus folgender Betrachtung.

In den assimilirenden Geweben der Pflanze würde infolge der Beschaffenheit der Chlorophyllkörper, wie es die Versuche im intensiven Lichte zeigen, die Sauerstoffaufnahme im Tageslichte und somit die Verbrennung der kohlenstoffhaltigen Produkte der Pflanze mit steigender Helligkeit fortwährend zunehmen, während schon ältere Beobachtungen darauf hinweisen, dass die Assimilation im Lichte mit beginnender Helligkeit zwar rasch ansteigt, aber schon bei mittleren Tageshelligkeiten nahezu ihr Maximum erreicht. Es würde daher die

Atmung im Tageslichte bei allen Helligkeiten die Assimilation übertreffen, und die Ansammlung kohlenstoffhaltiger Bestandteile im Pflanzenkörper wäre unmöglich. Durch den Farbstoff wird die Atmungsgröße verringert und unter die Assimilationsgröße herabgedrückt und hierdurch das Verhältniss der beiden in gewissem Sinne antagonistischen Funktionen der Chlorophyllkörper zu Gunsten der Kohlenstoffansammlung geändert.

C. Die Atmung der Gewebe im Lichte.

Vergleichen wir nun diese Ergebnisse meiner Untersuchung mit den Resultaten der Versuche über den Gaswechsel der Pflanzen, so könnte bezüglich der Atmung zunächst schon auffallen, dass in den bisherigen analytischen Versuchen eine Steigerung derselben im Tageslichte kaum bemerkbar geworden ist, während sie doch bei meinen direkten photochemischen Versuchen sich in so entschiedener Weise durch die Zerstörungen im Zellinhalte ausspricht. Dies ist jedoch zum Teil schon aus den verschiedenen Lichtintensitäten erklärlich, die hier und dort wirksam werden, und folgt ferner aus den Neben Umständen der Versuche. Man muss hierbei grüne und nicht grüne Organe unterscheiden. Die Versuche über Atmung sind meist mit nicht grünen Organen angestellt. In diesen fehlen aber die Chlorophyllkörper, also gerade diejenigen Organe, welche den Sauerstoff im Lichte am begierigsten absorbieren, und dies ist ja, wie ich gezeigt habe, der Grund, warum grüne Gewebe im Lichte empfindlicher sind, als nicht grüne.

Man kann deshalb bei nicht grünen Organen und demzufolge auch bei phanerogamischen Schmarotzern, sofern sie keine Chlorophyllkörper besitzen, und bei Pilzen von vornherein schon eine bedeutendere Vermehrung der Kohlensäureabgabe im Lichte auch nicht erwarten. Es ist daher leicht erklärlich, dass die gefundenen Differenzen unter diesen Umständen bei nicht grünen Organen nur geringe waren. Solche sind aber schon in mehreren Fällen bei keimenden Samen und bei Schmarotzern wahrgenommen worden, und diese Fälle sind daher um so entscheidender, als sie Objecte betreffen, die für den Nachweis der Erscheinung ungünstig sind. Auch zweifle ich nicht, dass diese Beobachtungen sich jetzt mehren werden, nachdem die Thatsache selbst durch die direkten Versuche unter dem Mikroskope sicher gestellt und ihre Beziehung zu der Beschaffenheit des Inhaltes aufgeklärt ist.

Bei den Versuchen mit grünen Organen im Lichte wird wieder die Atmung durch die Wirkung des Farbstoffs abgeschwächt und durch die Assimilation verdeckt. Ihre Steigerung kann daher nicht direkt bemerkbar werden. Berücksichtigt man aber, dass die Gasabgabe grüner Gewebe im Lichte nur die Differenz zwischen Atmung und Assimilation ausdrückt, so lässt sich nicht verkennen, dass in ge-

wissen Assimilationsversuchen in direktem Sonnenlicht der vermehrte Sauerstoffbedarf schon entschieden zum Ausdruck gelangt ist, auffallender Weise aber, ohne seinem Werte nach erkannt worden zu sein.

Man hat nämlich schon mehrfach gefunden, dass die Sauerstoffabgabe grüner Gewächse im direkten Sonnenlicht im Verhältniss zu ihrer Größe im hellen diffusen Tageslicht nicht nur keine Steigerung, sondern sogar eine Verminderung erfährt. Diese Thatsache ist nach der gegenwärtigen Assimilationslehre mindestens auffällig. Sie ist ihrer Ursache nach verkannt worden, weil man die Atmung der Gewebe außer Betracht ließ. Man wollte sie erklären, indem man annahm, dass die Kohlensäure-Zersetzung schon bei der erhöhten Lichtintensität im ungeschwächten, direkten Sonnenlicht kleiner werde, als sie im hellen diffusen Tageslicht ist; allein die Erscheinung spricht, wenn man die Atmung berücksichtigt, offenbar nur für die unter diesen Umständen verringerte Differenz zwischen Assimilation und Atmung, die ebenso gut eine Folge des relativ vergrößerten Sauerstoffbedarfs, als der verringerten Kohlensäure-Zersetzung im direkten Sonnenlicht sein kann.

Die Steigerung des Sauerstoffbedarfs ist aber anderweitig erwiesen; die Verringerung der Kohlensäure-Zersetzung bei steigender Lichtintensität ist mindestens unwahrscheinlich. Die Versuche über den Gaswechsel bei der Atmung stehen daher keineswegs im Widerspruch mit meinen directen Beobachtungen der Lichtwirkung, und die Assimilationsversuche im directen Sonnenlichte können sogar schon als Bestätigungen derselben gelten.

D. Die Assimilation der grünen Gewebe.

Ich wende mich nun zu dem eigentlichen Reduktionsvorgange der Kohlensäure in der Pflanze und zu der Beziehung zwischen Farbe und Assimilation, welche man aus dem Gaswechsel grüner Gewebe erschlossen hat.

1) *Ist die grüne Farbe Bedingung der Kohlensäure-Zerlegung?*

Die Annahme, dass die Farbe die unerlässliche Bedingung der Kohlensäure-Zersetzung in der Pflanze ist, bildet gegenwärtig bekanntlich den Ausgangspunkt der Theorie der Assimilation. Prüfen wir sie genauer, so zeigt sich zunächst, dass die bestimmte Art und Weise in welcher der Farbstoff hier wirksam sein soll, eine noch unerledigte Frage ist.

Die nächstliegende Vorstellung, die neuerdings wieder mehr in den Vordergrund getreten ist, bildet hier die chemische Hypothese. Sie ist die einzige, welche Beachtung verdient, weil sie die einzige ist, die den Vorgang wenigstens in einer concreten, der experimentellen Lösung zugänglichen Form ausspricht. Sie geht davon aus,

dass der Chlorophyllfarbstoff mit seiner Substanz in die Zerlegung der Kohlensäure hineingezogen wird und unter Aneignung ihres Kohlenstoffs in die kohlenstoffreichen Bildungsprodukte der Pflanze übergeht.

Nach dieser Hypothese müsste demnach der Farbstoff bei der Bildung der kohlenstoffhaltigen näheren Bestandteile der Pflanze einer fortwährenden Zerstörung in den lebenden Geweben und bei gewöhnlichem Tageslichte unterliegen. Der Zerstörung müsste selbstverständlich seine Regeneration folgen oder zur Seite gehen. Man hat auch versucht, einige noch ungenügend gekannte Vorgänge beim Ergrünen der Gewächse, die aber sehr verschiedenartiger Deutung fähig sind, zu Gunsten dieser Hypothese heranzuziehen.

An sich schon ist aber die Zerstörung des Farbstoffs bei niedrigen Lichtintensitäten äußerst unwahrscheinlich. Meine direkten Versuche sie nachzuweisen haben stets negative Resultate ergeben. Ich habe Pflanzen, die gegen Licht sehr empfindlich sind, z. B. Conserven, Spirogyren, zarte Blätter von Moosen und Wasserphanerogamen u. s. w., auf einer flachen Scheibe in ein wenig Wasser ausgebreitet mehrere Tage lang im Hochsommer so liegen lassen, dass die einzelnen Objecte von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang 16 Stunden hindurch an wolkenfreien Tagen ohne jeden Schutz ununterbrochen von den directen Sonnenstrahlen getroffen und beschienen wurden. Sie erhielten sich nicht nur unverändert frisch und normal, sondern auch unverändert grün, sofern nur durch eine rasche und genügende Abkühlung dafür gesorgt wurde, dass die Scheibe, auf welcher die Objecte lagen, und das Wasser, welches sie umgab, sich nicht bis zu einer für die Pflanze schädlichen Temperatur erwärmen konnten. Nur wenn die Temperatur zu hoch wird, erbleichen unter diesen Umständen die Pflanzen und gehen zu Grunde.

Ich schließe hieraus, dass die höchsten Lichtintensitäten, welchen die Pflanze in unsern Breiten ausgesetzt ist, zu einer Zerstörung des Farbstoffs nicht genügen, und dass dieser daher unter den gewöhnlichen Verhältnissen einen völlig ausreichenden Schutz für die Assimilationsprodukte bildet. Es existirt in der That auch kein einziger vorwurfsfreier Versuch, welcher in unzweideutiger Weise die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffs in der lebenden Zelle bei niedrigen Lichtintensitäten und unter Erhaltung des Lebens der Zelle, worauf ja Alles ankommt, auch nur wahrscheinlich machen könnte. Allein auch abgesehen von dem fehlenden Nachweise, die Vorstellung, dass das Chlorophyll in der Pflanze durch die aufgenommene Kohlensäure und beim Akte ihrer Zerlegung in der Pflanze zerstört wird, konnte überhaupt nur so lange festgehalten werden, als die Bedingungen noch unbekannt waren, unter welchen derselbe in der lebenden Zelle wirklich im Lichte zerstört wird. Diese Bedingungen lassen sich aber jetzt feststellen, denn man hat es bei den Versuchen im intensiven Lichte, wie ich gezeigt habe, völlig in seiner

Hand, den Farbstoff in der Zelle und unter Erhaltung ihres Lebens nach Willkür zu zerstören oder seine Zerstörung zu verhindern, je nach den Umständen, unter denen man den Versuch anstellt.

Die experimentelle Prüfung zeigt auf diesem Wege die Unhaltbarkeit der ganzen Hypothese.

Demn die Versuche weisen nach:

1) Dass die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffs auch in der lebenden Zelle ein Oxydationsvorgang ist, der unabhängig vom Vorhandensein der Kohlensäure und von ihrer Spannung im Versuchsraume erfolgt.

2) Dass seine Zerstörung im Lichte nicht stattfindet in einem procentischen Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff, in welchem Assimilation und Kohlensäure-Zersetzung möglich ist.

3) Dass endlich die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffs in der lebenden Pflanzenzelle ein pathologischer Vorgang ist und dass der zerstörte Farbstoff nicht regenerirt wird.

Offenbar widerlegen diese Tatsachen die Theorien der Assimilation, die von einer Zerstörung des Farbstoffs im Reduktionsvorgange ausgehen. Muss man aber die chemische Theorie der Beteiligung des Farbstoffs an der Reduktion der Kohlensäure aufgeben, so steht man in Bezug auf die bestimmte Rolle, die er bei dem Vorgange noch spielen könnte, vor einem unentwirrbaren Rätsel. Demn auch für jede andere etwa noch denkbare oder mögliche Hypothese seiner direkten Beteiligung am Assimilationsvorgange fehlt es an jeder tatsächlichen Grundlage, da alle Bemühungen den Anteil des Farbstoffs an dem Vorgange nachzuweisen oder auch nur in Zusammenhang mit irgend einer seiner Qualitäten zu setzen, bisher völlig geseheitert sind. Ich erinnere nur daran, dass die Maxima der Assimilation im Spektrum nicht zusammenfallen mit den Maximis der Absorption im Chlorophyllspektrum, dass künstliche Chlorophylllösungen keine Kohlensäure zerlegen, und dass endlich auch die grüne Farbe der funktionirenden Blätter dasselbe Chlorophyllspektrum zeigt, wie die der nicht funktionirenden.

Allerdings hat man nirgends noch Kohlensäure-Zersetzung an nicht grünen Organen wahrgenommen, allein diese Tatsache genügt an sich keineswegs, um die Abhängigkeit der Zersetzung vom Farbstoffe zu begründen. Die Ursache der Erscheinung kann ebenso gut in dem Gerüste und in den übrigen Bestandteilen der Chlorophyllkörper als in ihrer Farbe liegen. Die positiven Nachweise für die Wirkung der Farbe sind, wie ich eben mitgeteilt habe, sämtlich misslungen. Vor einer strengen Prüfung bestehen aber auch die Gründe nicht, die man für dieselbe indirekter Weise aus den Erfahrungen über den Gaswechsel grüner Organe im Lichte hergenommen hat.

Die Tatsachen, auf die man sich hier berief, sind folgende:

Man hat allgemein und ohne Ausnahme gefunden, dass nur grüne

Organe im hellen Tageslichte Sauerstoff entwickeln, nicht grüne aber nicht. Hieraus schließt man, dass es der Farbstoff ist, der die Kohlensäure zersetzt und dass das im Farbstoff vorhandene Licht die Kraftquelle für die Zersetzung der Kohlensäure liefert.

Ferner hat man gefunden, dass assimilationsfähige aber noch farblose oder etiolirte Organe, wenn sie ans Licht gebracht werden, erst ergrünen und dann Sauerstoff entwickeln, d. h. dass sie erst Sauerstoff entwickeln, nachdem sie grün geworden sind. Hierin sah man eine weitere Bestätigung der Ansicht, dass der Farbstoff zur Zersetzung der Kohlensäure nöthig sei.

Endlich hat man noch gefunden: Wenn grüne Theile bei allmählich wachsender Helligkeit ans Licht gebracht oder verschiedenen Graden der Helligkeit ausgesetzt werden, so findet die Sauerstoffabgabe der Organe erst bei höheren Lichtintensitäten statt. Hieraus schloss man, dass selbst die grünen Organe erst bei höheren Lichtintensitäten die Kohlensäure zu zersetzen vermögen, bei niedrigeren noch nicht.

Allein diese Schlüsse, die bisher unangefochten als richtig galten, wären doch nur zulässig, wenn die Gewebe ohne zu atmen assimiliren würden. Gibt man aber, wie es meine directen Versuche verlangen, zu, dass die Atmung der grünen Gewebe im Lichte sogar eine Steigerung erfährt, und dass, wie bereits hervorgehoben, die Gasabgabe derselben nur die Differenz zwischen Atmung und Assimilation ausdrückt, so kann man keineswegs, wie dies bei allen diesen Folgerungen ohne Weiteres geschehen ist, Sauerstoffabgabe und Kohlensäurezersetzung als gleichbedeutend betrachten. Kohlensäurezersetzung kann auch ohne Sauerstoffabgabe geschehen, denn die letztere wird erst bemerkbar, wenn die Assimilation größer wird, als die Atmung.

Die Tatsache, dass nur grüne Teile im Lichte Sauerstoff abgeben, verlangt daher, wenn man die Atmungsgröße der grünen Gewebe und ihre Aenderung im Lichte berücksichtigt, durchaus nicht den Schluss, dass die grüne Farbe der Träger der Assimilation ist, sondern nur den, dass in den grünen Teilen, wie es meiner Theorie der Chlorophyllfunktion entspricht, die Atmung kleiner ist, als die Assimilation. Ebenso können, wie man schließen darf, etiolirte Organe erst Sauerstoff abgeben, nachdem sie grün geworden sind, weil erst dann die Assimilation die Atmung überwiegt. Und wenn grüne Gewebe bei niederen Lichtintensitäten nicht Sauerstoff abgeben, so geschieht dies unbedingt nicht deshalb, weil sie, wie man behauptet, bei niederen Lichtintensitäten keine Kohlensäure zerlegen, sondern weil erst bei höheren Lichtintensitäten die Entbindung von Sauerstoff in ihnen grösser wird, als ihr Sauerstoffbedarf.

Die Folgerungen aus dem Gaswechsel, die, soweit sie die Wirkung der Farbe betreffen, schon als gesicherte Lehrsätze der vege-

tabilischen Stoffbildungslehre galten, bedürfen daher augenscheinlich einer wesentlichen Korrektur.

Frägt man weiter nach der Kraftquelle für die Assimilation, so lehren wieder meine directen Beobachtungen im intensiven Licht, dass die Lichtwirkungen in der Pflanze ausserhalb des Farbstoffs zu suchen sind und durch die unzweifelhaften Absorptionen verursacht werden, die im Zellinhalte, in dem Gerüste der Chlorophyllkörper und im Protoplasma erfolgen. Denn auch in den sogenannten farblosen Bestandtheilen des Zellinhalts findet eine beträchtliche — und wie es scheint, mit alleiniger Ausnahme des äussersten Roth, ziemlich gleichmässige — Absorption der leuchtenden Strahlen im Spektrum statt.

Von welcher Seite man daher auch die Frage betrachten will, sofern man nur die Steigerung der Atmung im Lichte zugiebt, dann erscheint die Hypothese einer Beteiligung des Farbstoffs an der Kohlensäurezersetzung nicht mehr geboten. Die Tatsachen aber, welche sie zu fordern schienen, finden durch die Theorie der Chlorophyllfunction, die ich vertrete, eine ausreichende und befriedigende Erklärung, während bei ihrer bisherigen Beurteilung offenbar Momente übersehen wurden, welche doch für ihr Zustandekommen unentbehrlich sind und das Resultat wesentlich beeinflussen.

2) Existirt ein Optimum der Lichtintensität für Kohlensäurezersetzung?

Derselbe Fehler macht sich ferner auch noch bei einigen anderen Fragen im Gebiete der Assimilationslehre geltend.

So hat man in neuerer Zeit die Frage aufgeworfen, ob es ein Optimum der Lichtintensität für die Kohlensäure-Zersetzung giebt, und man hat geglaubt, diese Frage durch die bloße Bestimmung der Sauerstoffabgabe bei verschiedenen Helligkeitsgraden entscheiden zu können. Allein so lange Atmung und Assimilation im Versuche nicht getrennt werden, kann eben die Grösse der Sauerstoffabgabe allein nichts Sicheres über das Anwachsen oder Sinken der Assimilation bei veränderlicher Lichtintensität aussagen. Die Grösse der Sauerstoffabgabe kann auch in diesem Falle höchstens als das approximative Mass des Verhältnisses beider Functionen in den verschiedenen Helligkeiten gelten, da beide in verschiedener Weise von der Intensität des Lichts beeinflusst werden.

Die beobachtete Verringerung der Sauerstoffabgabe im direkten Sonnenlicht lässt sich, wie bereits oben angeführt, auf vermehrte Sauerstoffaufnahme zurückführen. Es erscheint daher äusserst zweifelhaft, ob es schon innerhalb der Intensitäten des Tageslichts ein Optimum für Kohlensäure-Zersetzung giebt. Jedenfalls ist es an sich einleuchtend, dass es schon wegen des verschiedenen Gehalts der Pflanzen an Chlorophyll überhaupt gar kein bestimmtes, für alle

Pflanzen gleich und allgemein gültiges Lichtoptimum der Assimilation geben kann.

3) *Ueber die relative Energie der Farben im Reduktionsprocesse.*

Eine zweite Frage im Gebiete der Assimilationslehre, die eine besonders sorgsame Behandlung erfahren und ein vorwiegendes Interesse erregt hat, die Frage nach der relativen Energie der Farben im Reduktionsprocesse, kann gleichfalls nicht, wie bisher ausschließlich geschah, durch die bloße Bestimmung der Größe der Gasabgabe in verschiedenen Farben erledigt werden.

Zu den störenden Complicationen, welche die gleichzeitige Atmung verursacht, tritt hier im Versuche noch die übersehene Wirkung des Farbstoffs im Sinne meiner Schirmtheorie des Chlorophylls hinzu.

Aeltere und neuere Experimentatoren haben mit verschiedenen Methoden, die allerdings nicht völlig vorwurfsfrei sind, sowol im objektiven Spektrum als hinter farbigen Schirmen wiederholt und im Ganzen übereinstimmend gefunden, dass die größte Energie in der Sauerstoffexhalation der grünen Gewebe den Strahlen mittlerer Brechung im Spektrum zukommt. Nur über die Stelle, wo das Maximum liegt, ob etwas weiter nach Rot, ob etwas weiter im Gelb, gingen die Angaben auseinander. Ganz allgemein aber und in voller Uebereinstimmung fand man bei allen Versuchen, dass die Sauerstoffexhalation im blauen Lichte nur gering sei, dass sie hier verhältnissmäßig am kleinsten werde oder ganz aufhöre. Jedenfalls kann darüber kein Zweifel sein, dass die Maximalwirkung im Spektrum nicht mit den Absorptionsbändern des Chlorophyllfarbstoffs zusammenfällt, sondern in den Regionen liegt, welche den Stellen zwischen den Absorptionsbändern im Chlorophyllspektrum entsprechen.

Diese Tatsachen haben zu vielfachen Controversen geführt, von denen ich hier nur einige berühren will.

Die Angaben stießen zunächst auf theoretisch-physikalischen Widerspruch. Man meinte, die Hauptwirkung müsse in den Absorptionsstreifen des Farbstoffs liegen, und zwar im Streifen im Rot, weil die blauen Absorptionen wegen ihrer geringen mechanischen Intensität nicht wirken könnten. Man suchte deshalb die Tatsachen zu corrigiren, allein da diese sich nicht fügen wollten und die theoretischen Voraussetzungen mit den Erfahrungen in einem unvereinbaren Widerspruche blieben, so lag es doch eigentlich näher zu untersuchen, ob denn, wovon man freilich ganz allgemein ausging, der Farbstoff der Sitz der Wirkung sei. Die Physiologen, welche sich dagegen streng an die Erfahrung hielten und gleichwohl die Absorptionen im Farbstoff für die Ursache der Zersetzung ansahen, schlossen wieder aus diesen Versuchen, dass gelbe und grüne Strahlen die Kohlensäure-Zersetzung kräftiger anregen, als blaue und rote.

Dies schien allerdings der unmittelbare Ausdruck der Erscheinung. Allein dann blieb die Aufgabe bestehen, die physiologische Funktion der so auffallenden Absorptionsstreifen des Farbstoffs für die Pflanze zu erklären. Was konnte es in der That für einen Sinn haben, die Lichtwirkung in den Farbstoff zu verlegen, wenn dessen Lichtabsorptionen nicht nachweisbar wirksam sind und derselbe chemisch beim Akte der Kohlensäure-Zersetzung nicht beteiligt ist?

Anderseits aber ließ sich doch unmöglich verkennen, dass die grüne Farbe der Gewächse eine allgemeine und eminente nützliche Bedeutung für die Vegetation haben müsse.

Alle diese Schwierigkeiten heben sich, und die Tatsachen werden in der einfachsten Weise verständlich, wenn man die Wirkung des Farbstoffs in meinem Sinne in Rechnung zieht. Denn unter diesem Gesichtspunkte gestatten dann die Versuche in der Weise, wie sie bisher ausgeführt wurden, überhaupt noch keinen unmittelbaren Schluss auf die relative Wirksamkeit der Farben im Reduktionsproceße. Man musste in den Versuchen mit grünen Geweben grüne und gelbe Strahlen natürlich wirksamer finden, als blaue, weil die letzteren vom Chlorophyllfarbstoff fast vollständig verschluckt, nicht zur vollen Wirksamkeit gelangten. Es ist gerade so, als ob ein Photograph die Wirkung verschiedenfarbigen Lichts auf seine empfindliche Platte in einem Apparate prüfen wollte, in welehem hinter der Linse sich ein grüner Glassehirm befände. Er würde gleichfalls finden, dass Silbersalze gegen blaues Licht weniger empfindlich sind, als gegen gemischtes grünes und gelbes.

Trotz der Richtigkeit der analytischen Resultate in den Versuchen mit farbigem Licht von Daubeny und Draper an bis auf Sachs und Pfeffer halte ich daher die Abhängigkeit der Kohlensäure-Zersetzung der Pflanze von der Wellenlänge des Lichts noch für unbekannt. Die Frage kann kaum anders entschieden werden, als in der Weise, wie in meinen direkten Versuchen bei Anwendung von sehr intensivem Licht und unter Berücksichtigung der Wirkung der Farbe auf die Atmung. Dann aber darf man wiederum auch hier nicht vergessen, dass das Maximum der Wirkung im Spektrum auch für die Assimilation für verschiedene Pflanzen und Helligkeiten nicht an derselben Stelle liegen kann. Es muss abhängig sein von der Tiefe der Farbe der Pflanze und von der Gesamtintensität der Bestrahlung im Versuche, und hieraus erklären sich in ausreichender Weise die abweichenden Resultate, welche verschiedene Experimentatoren über die Lage des Maximums und den speciellen Verlauf der Assimilationcurve erhalten haben.

4) *Die Constanz des Gasvolumens bei Assimilationsversuchen und das primäre Reduktionsprodukt.*

An diese Betrachtungen schließe ich endlich noch einige Be-

merkungen an über das Grössenverhältniss zwischen der von grünen Geweben im Tageslicht aufgenommenen Kohlensäure und dem von ihnen ausgeatmeten Sauerstoff.

Es ist bekant, dass man aus der nahen Uebereinstimmung der Volumina dieser beiden Gasarten den Schluss gezogen hat, dass das primäre kohlenstoffhaltige Assimilationsprodukt, welches von den Pflanzen im Lichte und bei der Zersetzung der Kohlensäure gebildet wird, ein Kohlenhydrat sein müsse. Wenn in der Tat, worauf alle Erfahrungen hinweisen, die stickstoffhaltigen Bestandteile der Zelle beim Assimilationsvorgange des Kohlenstoffs unbeteiligt sind, so lässt das gasometrische Endresultat der Assimilationsversuche allerdings einen Rückschluss auf das entstandene Produkt zu. Da nun so viel Sauerstoff frei wird, als in der aufgenommenen Kohlensäure enthalten war, so schloss man bekanntlich, dass der zurückgehaltene Kohlenstoff mit dem aufgenommenen Wasser zusammentritt und die Bildung von Kohlenhydraten in der Pflanze unter der Wirkung des Lichts erschien als das notwendige Postulat der Vorgänge im Gaswechsel.

Eine willkommene Bestätigung dieser Auffassung, ja noch mehr einen Beweis für die Richtigkeit derselben, sah man in den anatomischen Entdeckungen über die Verbreitung von Kohlenhydraten in den Chlorophyllkörpern und namentlich in dem gelungenen Nachweise, dass in ihnen Stärke unter dem Einflusse des Lichts gebildet wird. Allein auch hier erscheinen die gasanalytischen und die histologischen Tatsachen, auf die man sich stützt, in einem veränderten Lichte, wenn man den complicirten physiologischen Akt, der sich in den grünen Geweben im Tageslichte abspielt, in seine beiden Componenten, in Atmung und Assimilation, zerlegt.

Die Atmung der grünen Gewebe und der Sauerstoffbedarf der Chlorophyllkörper während der Assimilation darf auch bei der Deutung der Produkte in den Chlorophyllkörpern und bei der relativen Zusammensetzung der ausgeschiedenen Gasvolumina nicht außer Betracht bleiben. Man könnte hier einwenden wollen — und dies ist in der Tat geschehen —, dass für das Endresultat des Gaswechsels die Atmung ohne Belang sei, da es sich hierbei ja nur um das Verhältniss zwischen verschwundener Kohlensäure und frei gewordenem Sauerstoff handelt, für den in der Atmung aufgenommenen Sauerstoff aber wieder Kohlensäure gebildet und dadurch das Verhältniss nicht weiter alterirt wird. Allein dieser Einwand ist unrichtig, weil die beiden Volumina der Gasarten, auf die es bei der Atmung ankommt, sich nicht decken.

Die Keimung stärkehaltiger Samen, an die man hierbei denken könnte, und bei welcher für den aufgenommenen Sauerstoff gleiche Volumina Kohlensäure abgegeben werden, ist für die Atmung grüner Organe nicht maßgebend, weil in diesen die Stärke und ihre Um-

wandlungsprodukte nicht das Material der Atmung bilden. Bei der Keimung ölhaltiger Samen tritt schon der Fall ein, dass mehr Sauerstoff aufgenommen, als Kohlensäure abgegeben wird, und dies Verhältniss steigert sich augenscheinlich in den grünen Organen im Lichte, wenn man die Beschaffenheit der Körper in's Auge fasst, die nach meinen Versuchen hier zur Verbrennung gelangen. Es darf daher nicht übersehen werden, dass die Atmung der grünen Organe im Lichte für sich allein betrachtet immer eine Verringerung des Gasvolumens im Versuchsraume durch Bindung von Sauerstoff in der Pflanze zur Folge haben muss. Wenn daher, wie es bei gleichzeitig assimilirenden und atmenden Organen häufig der Fall ist, das Gasvolumen des umgebenden Raumes gleich bleibt, so folgt daraus, dass in dem eigentlichen Reduktionsakte der Pflanze kein Kohlenhydrat, sondern eine Substanz gebildet wird, die ärmer an Sauerstoff ist, als die Kohlenhydrate, und zwar um so viel ärmer, als der in der gleichzeitigen Atmung gebundene Sauerstoff beträgt. Dieser Schluss ist geradezu unvermeidlich, wenn man die kohlenstoffhaltige organische Substanz unmittelbar aus Kohlensäure und Wasser entstanden denkt und die Atmung grüner Organe während der Assimilation nicht läugnen will.

Für die Deutung der anatomischen Befunde in den Chlorophyllkörpern wird hierdurch aber gleichfalls ein veränderter Standpunkt gewonnen, und es entsteht die Aufgabe, unter diesen die Substanz nachzuweisen, welche den obigen Anforderungen an das primäre Reduktionsprodukt Genüge leistet.

5) *Der Wert der Einschlüsse in den Chlorophyllkörpern.*

Ueberträgt man nun die Resultate des Gaswechsels der grünen Gewebe, wie sie aus obiger Darstellung folgen, auf die Produkte der physiologischen Thätigkeit der Chlorophyllkörper, so können die in ihnen abgelagerten Kohlenhydrate, wie z. B. die Stärkeeinschlüsse nicht mehr als die Reduktionsprodukte der Kohlensäure gelten. Sie erscheinen bereits als weitere Umwandlungsprodukte, welche erst secundär aus der primären Substanz, die in der Assimilation gebildet wird, durch die Atmung der Chlorophyllkörper entstehen. Als jenes ursprüngliche Assimilationsprodukt lässt sich dagegen schon jetzt mit großer Wahrscheinlichkeit das Hypochlorin bezeichnen, jener Körper, dessen allgemein verbreitete Existenz in den assimilirenden Chlorophyllkörpern ich nachgewiesen habe und dessen Bildung in ihnen unverkennbar unter dem Einflusse Lichtes steht.

Ausser Hypochlorin und Stärke finden sich aber in den Chlorophyllkörpern noch andere Substanzen abgelagert, und diese sind augenscheinlich gleichfalls Erzeugnisse ihrer physiologischen Funktion. Man kennt als solche jetzt schon mehr oder weniger sicher Oele, Fette, Zucker, Gerbsäure.

Die gegenwärtige Vorstellung von der Bildung der Kohlenhydrate bei der Reduktion der Kohlensäure giebt nun über die Entstehung so verschiedenartiger Produkte in den Chlorophyllkörpern unter dem Einflusse des Lichts gar keinen Aufschluss. Sie hatte immer nur Stärke oder Zucker im Auge, und doch muss auch die Bildung der andern Produkte auf die Funktion der Chlorophyllkörper zurückgeführt werden.

Die Einführung der Atmung der Chlorophyllkörper in die Betrachtung ihrer Produkte füllt auch diese Lücke aus. Die doppelte Funktion der Chlorophyllkörper, als assimilirende und atmende Organe, vermag wenigstens in entsprechender und naheliegender Weise die chemische Verschiedenheit der in ihnen entstehenden Bildungsprodukte zu erklären, da diese ja vom physiologischen Gesichtspunkte sich wesentlich nur durch ihren Sauerstoffgehalt, d. h. durch ihre Beziehung zur Atmung, von einander unterscheiden.

Man darf annehmen, dass je nach der wechselnden Atmungsgrösse der Gewebe, die wieder von der Tiefe ihrer Farbe und von der Intensität der Beleuchtung abhängt, die letzten Ablagerungsprodukte der Chlorophyllkörper notwendig bald reicher bald ärmer an Sauerstoff werden, und so scheint die Tiefe der Farbe zugleich, indem sie die Grösse der Atmung regelt, auch die Natur der Einschlüsse in den Chlorophyllkörpern zu bestimmen.

A. Gruber, Der Teilungsvorgang bei *Euglypha alveolata*.

Zeitschrift f. wiss. Zoologie, Bd. 35, S. 431.

Gruber hat einen in mehr als einer Hinsicht interessanten Teilungsvorgang bei einer Thalamophore des süßen Wassers, *Euglypha alveolata*, beobachtet. Die Schale dieses zierlichen Tierchens ist aus kreisrunden concav-convexen Scheibchen zusammengesetzt, welche die oberflächliche Schicht des Weichkörpers bedecken. Aehnliche Scheibchen liegen auch im Innern des Körpers, in der Umgebung des Kerns. Wenn nun der Weichkörper über das Maß der Schale hinauszuwachsen beginnt, so drängt sich ein Teil seines Inhalts aus der Oeffnung hervor und in diesen allmählich größer und größer werden den Teil rücken die im Innern gelegenen Scheibchen nach und nach sämtlich hinauf und gruppieren sich zu einem tannenzapfenähnlichen Gebilde, das die Oberfläche des Protoplasmafortsatzes bekleidet. Durch fortgesetztes Wachstum des Letzteren werden dann die Scheibchen noch weiter auseinander geschoben, bis dieser Teil genau die Gestalt des ursprünglichen Tieres erhält, deren jetzt also zwei, mit ihren Schalenöffnungen einander zugekehrt, zusammenhängen. Erst

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1881-1882

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Reess Maximilian [Max]

Artikel/Article: [I. N. Pringsheim , Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunktion in der Pflanze 65-79](#)