

## 7. N. Pringsheim: Ueber die chemischen Theorien der Chlorophyllfunktion und die neueren Versuche die Kohlensäure ausserhalb der Pflanze durch den Chlorophyllfarbstoff zu zerlegen.

Eingegangen am 18. October 1886.<sup>1)</sup>

Ueberblickt man die neueren Arbeiten über die physiologische Bedeutung des Chlorophylls, so wird man finden, dass die chemische Antheilnahme des Farbstoffes an dem Assimilationsakte des Kohlenstoffes in der grünen Pflanze noch in hervorragender Weise den Mittelpunkt fast jeder Betrachtung des Gegenstandes einnimmt. Ich habe zwar mehrfach nachgewiesen, dass die biologischen Erfahrungen keine Berechtigung zu einer solchen Annahme geben, und dass dieselbe ursprünglich nur aus einer einseitigen und nicht erschöpfenden Beurtheilung der ältesten, auf diesem Gebiete gemachten, Beobachtung hervorgegangen ist; allein nichtsdestoweniger beherrscht sie noch immer in gleicher Weise die Vorstellungen der Botaniker, und zwar nicht bloss als mögliche Hypothese, sondern gleichsam als eine ganz unbestreitbare Voraussetzung. Die Einen scheinen anzunehmen, dass ein exacter, wissenschaftlicher Beweis für dieselbe gar nicht nöthig ist, die Anderen, dass er sich noch finden wird.

Nun ist in allerneuester Zeit in der That von Regnard der Versuch gemacht worden, diesen Beweis zu führen, allein dieser beruht, wie in der vorliegenden Mittheilung gezeigt werden soll, auf einem Irrthum, oder vielmehr auf einem Missverständniss der beobachteten Erscheinung von Seiten Regnard's<sup>2)</sup>. Bevor ich jedoch hierauf näher eingehe und hierbei auch die verwandten Beobachtungen und Angaben beleuchte, die Timiriazeff<sup>3)</sup> neuerdings im Anschluss an den Versuch von Regnard gemacht und veröffentlicht hat, will ich bei dieser Gelegenheit zunächst hier nochmals die wichtigsten Thatsachen zusammenstellen, die mich selbst veranlasst haben, mich mit Entschiedenheit gegen die chemischen Theorien der Chlorophyllfunktion auszusprechen, und einige der Gesichtspunkte andeuten, die ich schon in früheren Auf-

1) Dieser Aufsatz ist eine erweiterte Behandlung meines Vortrages in der Generalversammlung der Deutschen Botanischen Gesellschaft, mit Bezugnahme auf die von mir in den Sitzungsberichten der Berl. Acad. d. Wiss. vom 22. Juli 1886 veröffentlichte Abhandlung.

2) Compt. rend. vom 14. Dec. 1885.

3) Compt. rend. vom 22. März 1886.

sätzen <sup>1)</sup> gegen dieselben geltend gemacht habe. Es wird dies vielleicht zur richtigen Beurtheilung und Würdigung hier einschlagender, ähnlicher Angaben und Versuche über die chemische Beziehung des Chlorophyllfarbstoffes zur Kohlensäure-Zersetzung in der Pflanze beitragen.

Die chemischen Theorien der Chlorophyllfunktion erblicken bekanntlich in dem Chlorophyllfarbstoff den Träger der Kohlenstoff-Assimilation und die nothwendige Voraussetzung für die sogenannte Kohlensäure-Zersetzung in der grünen Pflanze. Bei allen sonstigen Divergenzen der Anschauung über den eigentlichen chemischen Vorgang der Kohlenstoff-Assimilation stimmen diese so verbreiteten Theorien doch in dem Satze überein: „Ohne Chlorophyllfarbstoff keine Kohlenstoff-Assimilation und keine Kohlensäure-Zersetzung in der Pflanze.“

Thatsächlich beruht nun, wenn man ihren Quellen nachgeht, diese Vorstellung auf keinem anderen Fundament, als auf der an sich rein negativen Erfahrung, dass es bisher noch nicht gelungen ist, Abgabe von Sauerstoff an nicht grünen Pflanzentheilen wahrzunehmen. Diese Erfahrung lässt aber offenbar verschiedene Deutungen zu und kann deshalb für sich allein unmöglich als wissenschaftlich exacte Begründung der Folgerung gelten, die man aus ihr gezogen hat. Das Ungenügende in derselben kann keinem einsichtigen Urtheile entgehen. Schon in früher Zeit hat die Erscheinung, um die es sich hier handelt, eine abweichende, von vornherein aber eben so berechtigte Auslegung gefunden. Es konnte ja der Farbstoff, wie dies schon Senebier und De Candolle annahmen, nicht die Ursache, sondern das Produkt der Kohlensäure-Zersetzung sein. Der auffallende Zusammenhang zwischen der grünen Farbe und der Kohlensäure-Zersetzung würde auch unter dieser Voraussetzung eine ausreichende und befriedigende Erklärung finden. Schon aus diesem Grunde durfte die Kohlensäure-Zersetzung der grünen Pflanzengewebe nicht schlechthin und ohne weitere Begründung als unzweifelhafte Wirkung des Farbstoffes bezeichnet werden.

Ich selbst bin zu einer noch anderen Auffassung des Zusammenhanges in dieser Erscheinung gelangt.

Meine Untersuchungen über die primären Wirkungen des Lichtes auf die Pflanzenzelle, die ich vor einigen Jahren veröffentlichte, hatten ergeben, dass das Licht eine bemerkenswerthe oxydirende Wirkung auf die Träger der biologischen Vorgänge in der grünen Zelle ausübt, zumal auf das Protoplasma und dessen Bewegungserscheinungen, auf die Hautschicht, das Stroma der Chlorophyllkörper, den Cytoblasten, zum Theil auch auf die Produkte der Assimilation u. s. w.

---

1) Zur Kritik der bish. Grundlagen d. Assimilationstheorie. Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. Februar 1881. Ferner: Ueber die primären Wirkungen des Lichts auf die Vegetation. Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. Juni 1881. Dann: Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunktion. Leipzig 1881 und Jahrb. f. wiss. Bot. Band XII und XIII.



Hierdurch ist ein Verständniss für die Lichtabsorptionen im Chlorophyllfarbstoff und für dessen Function in der Zelle gewonnen worden, welches ausserhalb der Kohlensäure-Zersetzung liegt.

Die Oxydationswirkungen des Lichtes auf die Zellenbestandtheile stehen nothwendig ebenso, wie die Reduktionsvorgänge in der Zelle, unter dem Einflusse der Absorptionen, welche das Licht im Chlorophyll erleidet; sie werden aber durch dieselben nachweislich in einer für die Ansammlung des Kohlenstoffes in der Pflanze offenbar nützlichen Weise beschränkt. Jede genaue Beobachtung einer grünen Zelle im intensiven Licht lässt in der That augenscheinlich den Schutz erkennen, den das Chlorophyll bis zu einem gewissen Grade den Körpern bietet, die sich in der Zelle in seinem Schatten befinden, und durch welchen dasselbe zum Regulator des Sauerstoff-Verbrauches in der grünen Zelle wird.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkte aus die Erscheinung, dass grüne Pflanzentheile Sauerstoff abgeben, so fällt die Nothwendigkeit, einen chemischen Zusammenhang zwischen dem Farbstoff und der Kohlensäure-Zersetzung, anzunehmen, überhaupt weg; die Erscheinung erklärt sich schon durch den Einfluss des Farbstoffes auf den Verbrauch des entwickelten Sauerstoffes in der Zelle in ausreichender und befriedigender Weise und führt so zu dem rein physikalischen Standpunkte in der Chlorophyllfrage, den ich vertrete, nach welchem die Bedeutung des Chlorophyllfarbstoffes im Gaswechsel der Pflanze sich auf den Einfluss beschränkt, den die electiven Lichtabsorptionen, die im Spectrum des Farbstoffes sich ausdrücken, auf die Oxydations- und Reduktionsvorgänge in der Zelle gewinnen.

Man könnte nun die Vermuthung aussprechen, dass neben dieser physikalischen Beziehung des Farbstoffes auch noch eine chemische Hineinziehung desselben in den Vorgang der Assimilation stattfinden möchte. Für eine solche Hypothese fehlt aber jede Andeutung in den bekannten Erscheinungen. Die Vorgänge, die bei der Belichtung in der Zelle zur Beobachtung gelangen, sprechen dagegen, und die bisherigen sicheren Erfahrungen, die wir über das chemische Verhalten des Chlorophyllfarbstoffes zu den Gasen der Atmosphäre besitzen, führen gradezu in positiver Weise zu der Ueberzeugung, dass ein direkter chemischer Zusammenhang zwischen dem Farbstoff und der Kohlensäure-Zersetzung in der Pflanze nicht besteht. Dies will ich hier noch kurz ausführen.

Die chemischen Theorien der Chlorophyllfunktion, soweit sie es überhaupt versuchen eine bestimmte Vorstellung von der Art und Weise der chemischen Betheiligung des Farbstoffes am Assimilationsakte zu gewinnen, setzen die Zerstörung, oder doch die chemische Veränderung des Farbstoffes im Assimilationsakte durch den kombinirten Einfluss von Licht und Kohlensäure voraus. Sie nehmen nothwendiger



Weise zugleich an, dass mit der Zerstörung eine Regeneration desselben Hand in Hand geht. Von Alledem ist in der belichteten Zelle nichts wahrzunehmen.

Die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes durch Licht unter den natürlichen Verhältnissen der Assimilation im Inneren der Zelle ist eine willkürliche Hypothese die durch die Thatsachen widerlegt wird. Niemals ist bei den geringen Lichtintensitäten des zerstreuten Tageslichtes, oder auch des direkten Sonnenlichtes, bei welchen die Assimilation regelmässig und normal stattfindet, eine photochemische Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes in der Zelle zu beobachten. Ich habe hierüber eigens eine grosse Reihe von Versuchen angestellt bei ununterbrochener, sechzehnständiger, direkter Sonnenwirkung. Sie haben, wie ich bereits früher<sup>1)</sup> berichtet habe, stets übereinstimmend negative Resultate gegeben. Selbstverständlich bleiben hierbei Zerstörungen der Farbe in den Zellen ausser Betracht, die etwa von gleichzeitigen Temperatur- und Stoffwechsel-Wirkungen herrühren. Die Tiefe der grünen Farbe in der Zelle besteht während der Assimilation unverändert fort, und es wäre ein wunderbares Zusammentreffen, wenn Zerstörung und Bildung des Farbstoffes im Lichte sich in jedem Augenblicke die Wage hielten. Ebenso weisen auch die Versuche mit assimilirenden Zellen im Spektrum auch nicht die geringsten Spuren einer Veränderung des Absorptionsspektrums der Zelle während der Assimilation nach, wie dies doch unbedingt erwartet werden müsste, wenn der Farbstoff im Assimilationsakte zerstört würde, oder irgend eine bemerkenswerthe Veränderung erführe.

Ferner, und dies ist für die vorliegende Betrachtung besonders beachtungswerth, haben alle Versuche mit künstlichen Chlorophylllösungen ausserhalb der Pflanze, sowie mit dem aus diesen Lösungen niedergeschlagenen Farbstoff gezeigt, dass der Chlorophyllfarbstoff von Sauerstoff, aber nicht von Kohlensäure zerstört wird. Er nimmt bekanntlich unter Entfärbung oder Zerstörung seiner Substanz im Lichte nicht Kohlensäure, sondern Sauerstoff auf, und giebt nicht Sauerstoff, sondern Kohlensäure ab. Mit anderen Worten es hat sich mit Sicherheit aus zahlreichen übereinstimmenden Untersuchungen herausgestellt, dass der Chlorophyllfarbstoff sich zwar im Lichte leicht oxydirt, dass er dagegen gar keine Reduktionsfähigkeit der Kohlensäure besitzt. Dies ist eine bekannte, unbestrittene Thatsache.

Nun könnte man vielleicht einwenden, dass dies nur für den künstlich gewonnenen Farbstoff ausserhalb der Pflanze, aber nicht für den natürlichen im Inneren der Pflanzenzelle richtig ist. Ich habe aber schon vor mehreren Jahren experimentell nachgewiesen, dass der Chlorophyllfarbstoff auch in der lebenden Pflanze sich gegen

1) Zur Kritik der bisherigen Grundlagen der Assimilationstheorie der Pflanzen. Monatsber. d. Berl. Acad. d. Wiss. 1881. p. 125 (p. 11 d. Separata).



Sauerstoff und Kohlensäure im Lichte genau so verhält, wie ausserhalb der Pflanze. Auch im Inneren der lebenden Zelle nimmt er unter dem Einflusse des Lichtes nicht Kohlensäure, sondern Sauerstoff auf und oxydirt sich mit demselben ganz so, wie ausserhalb der Pflanze. Hierüber lassen die Versuche nicht den geringsten Zweifel. Es ist nichts leichter als mit Hülfe von intensivem Licht sich in wenigen Minuten zu überzeugen, dass es so ist, und dass es in jedem Versuche konstant so ist. Kohlensäure und Chlorophyll reagiren auch in der lebenden Zelle und unter dem Einflusse des Lichtes nachweislich nicht aufeinander. Selbst wenn man die grüne Zelle in einen Atmosphäre von reiner Kohlensäure, oder in jedem beliebigen Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff, aber bei Ausschluss von Sauerstoff, der intensiven Lichtwirkung in Focus einer grösseren Linse längere Zeit aussetzt, bleibt der Chlorophyllfarbstoff unverändert bestehen, während unter den gleichen Verhältnissen und derselben intensiven Beleuchtung schon eine Spur von Sauerstoff genügt, um ihn in wenigen Minuten noch im Inneren der lebenden Zelle völlig zu zerstören.

Dies gleichartige Verhalten des Farbstoffes zu Sauerstoff und Kohlensäure in- und ausserhalb der Zelle spricht gewiss nicht für die Ansicht, dass er die chemische Ursache der Kohlensäure-Zersetzung in der Pflanze ist, unterstützt vielmehr meine Anschauung, dass sein Auftreten nur eine der Bedingungen bildet, die auf die Grösse der Sauerstoffabgabe von Einfluss werden.

Zu diesen Beweisen gegen die chemischen Theorien der Chlorophyllfunktion kommt der ebenfalls bezeichnende Umstand hinzu, dass eine Proportionalität zwischen der Grösse der Sauerstoffabgabe der assimilirenden Zelle und der in ihrem Farbstoff verschwindenden Lichtabsorption im Spectrum nicht zu Tage tritt. Wäre der Farbstoff direkt und in positiver Weise bei der Kohlensäure-Zersetzung betheiligt, so sollte man erwarten, dass das relative Verhältniss seiner electiven Absorptionen diese Beziehung zur Anschauung bringen müsste. Dies ist auch behauptet worden, allein, wie jede richtige Versuchsanstellung und jede erlaubte Deutung der Versuche lehrt, fallen Maxima und Minima von Absorption im Farbstoff und Sauerstoffabgabe der Zelle im Spectrum nicht zusammen.<sup>1)</sup>

Endlich will ich zum Schlusse dieser Betrachtungen wenigstens andeutungsweise nicht unerwähnt lassen, dass meines Erachtens nach auch die berechtigten Vorstellungen, die wir uns über die phylogenetische Ausbildung der Kohlenstoffassimilation und die allmählig günstigere Anpassung der Organismen an dieselbe machen dürfen, dahin führen, den chemischen Vorgang der Assimilation ausserhalb des Chlorophyllfarbstoffes zu verlegen. Für die aprioristische Beurtheilung der

1) Siehe hierüber auch den folgenden Aufsatz.



bestehenden Hypothesen über die Chlorophyllfunction wird man auch dieser genetischen Betrachtungsweise des Vorganges immerhin ihren Werth nicht absprechen können.

Es ist wohl kaum anzunehmen, dass die Kohlenstoff-Assimilation der Organismen eine Eigenschaft ihrer Substanz ist, die vor dem Auftreten entschiedener, grüner vegetabilischer Organismen nicht bestanden hat. Auch sind wir offenbar berechtigt, wie für andere organische Functionen, so auch für die Kohlenstoff-Assimilation der Organismen eine stufenweise Entwicklung vorauszusetzen. In der vollendeten Form und Ausbildung, wie sie in der grünen Pflanzenzelle erscheint, kann sie doch nur als ein vorgeschrittener Entwicklungszustand früherer Anfänge und Einrichtungen gedeutet werden, die für die Ansammlung organischer Substanz noch ungünstiger angepasst waren.

Kohlenstoffhaltige Bildungen, die befähigt waren, die Grundlage der organischen Welt zu bilden, müssen doch einerseits schon vor den Organismen entstanden sein. Wollte man annehmen, dass überhaupt ohne Chlorophyllfarbstoff Ansammlung und Vermehrung von organischer Substanz aus unorganischem Material nicht möglich sei, so würde dies zu der ganz undenkbaren Vorstellung führen, dass der Chlorophyllfarbstoff vor und ausserhalb jedes organischen Wesens entstanden ist, und dass aus ihm sich die ganze Reihe der Organismen hervorgebildet hat. Zu einer anderen Schlussfolgerung könnte man kaum gelangen, wenn, wie es die chemischen Chlorophylltheorien erfordern, die Reduktion der atmosphärischen Kohlensäure zur Bildung von organischer Substanz ausser im Chlorophyll in der Natur keine Stätte haben sollte. Es dürften wohl wenige, auch unter den überzeugtesten Anhängern der chemischen Chlorophylltheorie einer solchen Vorstellung sich zuneigen. Alle Erfahrungen weisen übrigens darauf hin, dass der Chlorophyllfarbstoff sich erst innerhalb der Organismen schrittweise ausgebildet hat, und dass er ausserhalb derselben weder besteht, noch bestehen kann.

Oder, wenn wir den Satz: ohne Chlorophyllfarbstoff keine organische Kohlenstoffassimilation, auch nur auf die organischen Wesen seit ihrer ersten Entstehung beschränken; so würde derselbe doch zu der Schlussfolgerung nöthigen, dass die Bildung des Chlorophyllfarbstoffes mit der Entstehung der ersten organischen Form zusammengefallen ist; d. h. dass die erstgebildeten organischen Wesen schon grüne Organismen waren.

Eine so complizirte Urform des Organischen, wie sie die grüne Pflanzenzelle darstellt, in ihrer weitgehenden chemischen und morphologischen Differenzirung, aus Eiweisskörpern, Fetten, Kohlenhydraten, Farbstoffen u. s. w., widerstreitet, wie ich meine, jeder berechtigten Vorstellung von der morphologischen und chemischen Einfachheit, die wir



nothwendig für die ersten aus Urzeugung entstandenen organischen Formen festhalten müssen.

Nach Analogie der organischen Entwicklungsgesetze der lebenden Formen ist es offenbar folgerichtiger, sich die ersten organischen Gebilde als aus einer möglichst einfachen protoplasmatischen Substanz gebildet zu denken, deren organischer Character wesentlich in der gewonnenen Fähigkeit der Kohlenstoff-Assimilation bestand. Schon als unbedingte Voraussetzung des Bestehens, eines jeden Wachstums und jeder Vermehrung organischer Substanz bezeichnet die Kohlenstoffassimilation nothwendig den ersten Anfang alles Organischen. Die Vorstellung erscheint aber natürlich, dass sie ursprünglich, auf der ersten Stufe organischer Bildung, nur dem unmittelbaren Bedürfnisse des Bestehens der protoplasmatischen Urwesen genügt hat, und dass ihre Vervollkommnung, welche die Ansammlung eines reicheren kohlenstoffhaltigen Bildungsmaterials und damit die Beständigkeit, Verbreitung und vielgestaltige Ausbildung der organischen Welt gesichert hat, erst einer späteren Stufe in der Entwicklung der Organismen angehört, und erst die erworbene Eigenschaft nachfolgender Generationen geworden ist. Die physikalische Beziehung der Farbstoffe zum Assimilationsacte, wie ich diesselbe auffasse, macht es aber verständlich, wie die Entstehung und die allmähliche Ausbildung geeigneter Farbstoffe in den Organismen durch ihren Einfluss auf die Oxydations- und Reductionsvorgänge in denselben, die Assimilationsfähigkeit der organischen Wesen bis zu dem Verhältnisse, in welchem sie in der grünen Pflanzenzelle auftritt, zu steigern vermocht hat.

Es ist in der That, wie ich meine, weder denkbar, dass die grüne Pflanzenzelle den Ausgangspunkt alles Organischen gebildet hat, noch dass die Organismen vor dem Ergrünen nicht schon die Fähigkeit der Kohlenstoffassimilation besessen haben. Mit gutem Grund darf man annehmen, dass die vorhandenen Lichtabsorptionen im Protoplasma die nöthige Energie zur Hervorrufung photochemischer Wirkung herzugeben vermochten, und ich sehe keine Veranlassung zu der Vermuthung, dass die nicht grüne organisirte Materie die Fähigkeit der Assimilation später verloren und ausschliesslich auf den Chlorophyllfarbstoff übertragen haben soll. Mir scheint daher auch der empirische Nachweis, dass nicht grüne Pflanzentheile oder Organismen Kohlenstoff assimiliren, nur eine Frage der Zeit und der richtigen Versuchsanstellung. Auf Grund der mitgetheilten Thatsachen und von dem entwickelten Gesichtspunkte aus erscheinen somit die Bemühungen zu Gunsten der chemischen Chlorophylltheorie von vornherein erfolglos. Dies ist wenigstens der Standpunkt, den ich ihnen gegenüber einnehme, und von dem aus ich die am Eingange erwähnten Versuche von Regnard und Timiriaseff, die chemische Theorie der Chlorophyllfunktion experimentell zu begründen, von vornherein beurtheilt habe.



Regnard glaubte durch seine Versuche den empirischen Beweis beizubringen, dass der Chlorophyllfarbstoff nicht nur in der Pflanze die Ursache der Kohlensäure-Zersetzung ist, sondern dass auch der künstlich aus den Chlorophylllösungen gewonnene Farbstoff noch ausserhalb der Pflanze im Stande ist, die Kohlensäure zu zerlegen.

Diese Behauptung widerspricht, wie wir im Vorhergehenden sahen, allen früheren Erfahrungen über das Verhalten des Farbstoffes und seiner Lösungen. Aber abgesehen hiervon sind auch Thatsachen genug bekannt, welche darauf hinweisen, dass der Chlorophyllfarbstoff unmöglich die einzige Bedingung der Kohlensäure-Zersetzung in der grünen Zelle ist. Selbst wenn man sich berechtigt glauben wollte, anzunehmen, dass der Farbstoff in der Pflanze an der Kohlensäure-Zersetzung beteiligt ist, wäre es doch nach dem Standpunkte unserer Kenntnisse ganz unstatthaft zu behaupten, oder nur vorauszusetzen, dass derselbe für sich allein ausserhalb der Pflanze zur Kohlensäure-Zersetzung genügen könne. So musste die Angabe von Regnard jedem mit dem Gegenstande vertrauten Physiologen von vornherein unglaublich klingen. Dennoch war es nöthig dieselbe noch direct zu widerlegen, denn, wie ich bereits erwähnte, sahen die Anhänger der chemischen Chlorophylltheorien, die sonst jede beglaubigte Thatsache gegen dieselben ungeprüft verwerfen, oder ignoriren, in jener Angabe von Regnard ohne jede weitere Prüfung eine willkommene Stütze ihrer Anschauung, und Timiriazeff hat sogar sich beeilt diese Angaben weiter zu führen und auszubilden.

Dass ältere ähnliche Versuche die Kohlensäure in den Lösungen des Chlorophyllfarbstoffes zu zerlegen, stets ein der Voraussetzung entgegengesetztes Resultat erbracht haben, ist bereits oben erwähnt. Regnard ging nun bei seinen Versuchen von der Ansicht aus, dass die älteren derartigen Versuche nur deshalb misslungen sind, weil die angewandten Mittel zum Nachweis des Sauerstoffs nicht empfindlich genug waren. Er meint, dass bei diesen Versuchen der Sauerstoff allerdings nicht in Blasen entweiche, wie dies der Fall ist, wenn man assimilirende Pflanzen unter Wasser den Sonnenstrahlen aussetzt, dass man aber in anderer Weise sich von der Existenz des frei werdenden Sauerstoffs überzeugen könne, wenn man genügend empfindliche Reagentien auf Sauerstoff anwendet. Er benutzte nun bei seinen Versuchen das sogenannte Schützenberger'sche Reagens auf Sauerstoff, welches bereits vielfach von Schützenberger selbst, und von Anderen in physiologischen Versuchen als empfindlicher Sauerstoff-Indicator Verwendung gefunden hat.

Dies Reagens besteht bekanntlich aus einem in Wasser löslichen blauen Farbstoff, dem sogenannten Bleu Coupier oder Azodiphenylblau, der vorher durch hydroschweflige Säure oder Natriumhydrosulfit entfärbt wird. In diesem Zustande ist die Flüssigkeit gelb, hat aber die Eigen-



schaft, sich mit geringen Spuren von Sauerstoff rasch wieder zu bläuen. Regnard zeigte nun zuerst, dass das so entfärbte Bleu Coupier in der Sonne schon in einigen Minuten wieder blau wird, wenn man grüne Pflanzenblätter in die Flüssigkeit eintaucht.

Ich gehe auf diesen Versuch nicht weiter ein, da ja Niemand bezweifelt, dass grüne Blätter in der Sonne unter Wasser Sauerstoff abgeben, obgleich freilich, wie sich bald herausstellen wird, diese längst bekannte Thatsache durch den Versuch von Regnard keineswegs erwiesen sein würde. Ebenso übergehe ich den zweiten Versuch von Regnard mit ausgedrückten Chlorophyllkörnern, von welchem sich etwa das Gleiche sagen lässt, wende mich vielmehr sofort zu dem Fundamental-Versuch desselben, durch welchen endlich und endgültig erwiesen werden soll, dass der Chlorophyllfarbstoff sogar ausserhalb der Pflanze die Kohlensäure zerlegt.

Regnard stellte sich zu diesem Zwecke Lamellen von Cellulose her, die er mit einem Niederschlag von Chlorophyll imprägnirte, indem er sie mit alkoholischen oder ätherischen Chlorophyll-Lösungen durchtränkte, und dann rasch unter der Luftpumpe trocknete. So stellte er, wie er sich ausdrückt, wahre künstliche Blätter ohne Zellen und ohne Protoplasma her, die er nun in der Schützenberger'schen Lösung in mit Glashahn wohlverschlossenen Röhren und unter Quecksilber dem Lichte aussetzte.

Regnard behauptet nun, dass die dem Lichte ausgesetzte Flüssigkeit in den Röhren, welche die chlorophyllirten Cellulose-Streifen enthielten, in zwei bis drei Stunden wieder blau wird, während in gleich behandelten Controll-Versuchen im Finstern die Flüssigkeit sich nicht wieder bläut. Die Wiederbläuerung sieht er als einen Beweis der Oxydation des entfärbten Farbstoffes durch Sauerstoff an, von dem er annimmt, dass er von dem Chlorophyllfarbstoff der Cellulose-Lamellen mit Hülfe des Lichtes aus der in der wässrigen Flüssigkeit gelösten Kohlensäure entwickelt sein soll.

Würde dieser Versuch unter beliebiger passender Abänderung stets das erwähnte Resultat geben, so wäre allerdings die von Regnard gezogene Schlussfolgerung kaum abzuweisen.

Ich habe die Versuche wiederholt und gefunden, dass das Schützenberger'sche Reagens in der That, wie Regnard angiebt, mit den chlorophyllirten Papierstreifen<sup>1)</sup> unter Umständen im Lichte rasch wieder blau wird; allein ich fand bei verschiedener Abänderung der Versuchsanstellung sehr bald, dass die Wiederbläuerung ebenso gut und rasch erfolgt, wenn man — anstatt der mit Chlorophyll imprägnirten — einfache, ganz ungefärbte, trockene Papierstreifen in die Flüssigkeit einbringt.

1) Ich habe bei meinen Versuchen später der Bequemlichkeit wegen anstatt Cellulose-Lamellen, Streifen von schwedischem Filtrirpapier, die dasselbe leisten, genommen.



In vielen Fällen war es möglich nachzuweisen, dass die Wiederbläuung höchst wahrscheinlich von microscopischen Spuren von Sauerstoff herührt, die beim Einbringen der Papierstreifen mitgerissen und übersehen werden. Endlich aber zeigte es sich ausserdem noch, dass das directe Sonnenlicht einen photochemischen Einfluss auf das entfärbte Schützenberger'sche Reagens ausübt, wodurch dasselbe auch ohne Einbringen von gefärbten oder ungefärbten Papierstreifen schon von selbst im Lichte wieder blau wird. Ein weiteres Eingehen auf den hier stattfindenden chemischen Vorgang bei der Belichtung hat daher für die vorliegende physiologische Frage keine Bedeutung mehr; ich verweise hierüber auf meinen im Eingange citirten Aufsatz in den Sitzungsberichten der Berliner Academie und auf die gleichen Resultate, welche Jodin<sup>1)</sup> bei der Wiederholung der Versuche von Regnard erhalten hat. Hier genügt der Nachweis, dass die beobachtete Wiederbläuung der Schützenberger'schen Flüssigkeit mit dem Chlorophyll der eingebrachten Papierstreifen absolut nichts zu schaffen hat, und der Regnard'sche Versuch für die Frage nach der Chlorophyllfunktion daher ohne jede Bedeutung ist.

In naher Beziehung zu dem eben besprochenen Versuche von Regnard steht nun ein anderer gleichfalls vor Kurzem von Timiriazeff veröffentlichter Versuch. In den Comptes rendus vom 22. März 1886 hat nämlich Timiriazeff im Anschluss an den Regnard'schen Versuch, den er als einen vollgültigen Beweis für den chemischen Antheil des Chlorophyllfarbstoffes an der Kohlensäure-Zerlegung ansieht, einen eigenen Versuch beschrieben, in welchem er gleichfalls die Zersetzung der Kohlensäure ausserhalb der Pflanze durch einen aus dem Chlorophyll entstehenden, künstlich erzeugbaren Körper erwiesen haben will.

Zu diesem Versuche möchte ich mir hier folgende kurze Bemerkungen gestatten.

Schon in einer früheren, weit zurückliegenden Zeit hat Berzelius bei seinen bekannten Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des Chlorophyllfarbstoffes einen Versuch erwähnt, nach welchem das mit Zink und Schwefelsäure — d. h. durch Wasserstoff in statu nascenti — reducirte und gelb gewordene Chlorophyll unter Umständen an der Luft wieder grün werden kann. Eine Bestätigung dieser Angabe und eine genauere Untersuchung der Umstände, unter welchen dies geschehen kann, fehlt meines Wissens bisher.

Timiriazeff beschreibt nun einen ähnlichen Versuch, in welchem gleichfalls das durch Wasserstoff in statu nascenti (hier durch Zink und Essigsäure) reducirte und gelb gewordene Chlorophyll bei Anwesenheit von Kohlensäure und im Lichte wieder grün werden soll. Der durch Reduction aus dem Chlorophyll entstandene gelbe Körper unterscheidet

1) Compt. rend. 29. März 1886.



sich nach seiner Angabe wesentlich durch das Fehlen des Absorptionsstreifens zwischen B und C im Roth vom grünen Chlorophyll. Timiriaseff setzt nun voraus, dass dieser aus dem Chlorophyll entstandene gelbe Körper in seinem Versuche wieder grün wird, indem er die Kohlensäure im Lichte zerlegt und sich hierbei wieder zu Chlorophyll oxydirt. Er scheint ferner geneigt anzunehmen, dass der gleiche Vorgang auch im Assimilationsacte der Pflanze sich abspielt.

Da eine genauere Beschreibung des Versuches, die seine Controle ermöglichen würde, noch aussteht, so lässt sich ein abschliessendes Urtheil über diese Angaben noch nicht gewinnen; allein darauf kann schon jetzt zur Klärung der Sachlage hingewiesen werden, dass, wenn die angegebenen Thatsachen und ihre Deutung richtig wären, in ihnen ein voller Beweis gegen alle bisher von Timiriaseff mit so grosser Entschiedenheit ausgesprochenen Ansichten liegen würde. Es wäre nämlich gerade hierdurch wieder einmal erwiesen, dass es nicht der Chlorophyllfarbstoff ist, welcher die Kohlensäure zersetzt, sondern vielmehr ein Körper, der erst bei der Reduction der Kohlensäure zu Chlorophyll wird. Es würde dies an die älteren Vorstellungen erinnern, dass das Chlorophyll als Nebenproduct bei der Kohlensäure-Zersetzung entsteht. Endlich läge in dem Versuche von Timiriaseff, immer unter der Annahme, dass die Thatsache und ihre Deutung richtig sei, ebenfalls ein entschiedener Beweis dafür, dass der Absorptionsstreifen des Chlorophylls im Roth zwischen B. und C. keine wesentliche Beziehung zur Kohlensäure-Zersetzung hat, da ja der Körper, welcher die Kohlensäure in dem Versuche von Timiriaseff zersetzen soll, diesen Streifen gar nicht besitzt, sondern ihn erst in Folge der Kohlensäure-Zersetzung erhält.

Es würde daher dieser Versuch von Timiriaseff seine früheren Versuche und Angaben über die Coincidenz des Maximums der Sauerstoffabgabe mit dem Absorptionsstreifen im Roth direct widerlegen und nur zur Stütze meiner eigenen Angaben über die Bedeutung der Absorptionsstreifen im Chlorophyll beitragen, die Timiriaseff bisher ohne eingehende Prüfung und Berücksichtigung meiner Darlegungen so eifrig bekämpft hat.

---



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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1886

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Pringsheim Nathanael [Nathan]

Artikel/Article: [Ueber die chemischen Theorien der Chlorophyllfunction und die neueren Versuche die Kohlensäure ausserhalb der Pflanze durch den Chlorophyllfarbstoff zu zerlegen. LXXIX-LXXXIX](#)