**V. Die Wirkung der Spectralfarben auf die
Kohlensäurezersetzung in Pflanzen;
von Dr. W. Pfeffer,**

Privatdocent in Marburg.

(Vorläufige Mittheilung in d. Sitzungsberich. d. Gesellsch. z. Beförderung
d. gesamm. Naturwiss. zu Marburg.)

Bei meinen Untersuchungen über „die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen“¹⁾ hatte ich in erster Reihe die Entscheidung einer bis dahin noch nicht angeregten, übrigens in physiologischer Hinsicht wichtigen Frage vor Augen, ob nämlich die Leistungsfähigkeit der einzelnen Spectralfarben bei der Kohlensäurezersetzung in Pflanzen dieselbe sey, gleichviel ob jene isolirt oder combinirt zur Einwirkung kommen. Das völlig beweisende Resultat fiel bejahend für diese Frage aus. Die aus den gewonnenen Zahlenwerthen construirte Curve war der Helligkeitscurve im Sonnenspectrum ähnlich und diente somit zur Bestätigung des schon von Draper²⁾ gelieferten Nachweises, daß die relativen Assimilationswerthe³⁾ für die einzelnen Spectralfarben in einem wesentlich gleichen Verhältniß zu einander stehen, wie die Helligkeitsempfindung unseres Auges für die gleichen Farben. Es war diese Bestätigung nicht ganz gleichgültig, weil kurz zuvor Timirjaseff ein Zusammenfallen der Curve für Kohlensäurezersetzung in Pflanzen und der Wärmecurve des Sonnenspectrums behauptet hatte, freilich dabei auf unrichtigen Prämissen basirte, wie ich in der Kritik dieser Arbeit zeigte⁴⁾.

1) Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg 1871, Heft I. — Zu vergl. auch Botan. Zeitung 1871, No. 20.

2) Bezüglich der einschlägigen Literatur verweise ich auf die ausführliche Kritik in meinen oben citirten Arbeiten.

3) Den Ausdruck „Assimilation“ gebrauche ich in dem engeren und bestimmten Sinne wie Sachs, Experimentalphysiol. S. 18 und Lehrbuch d. Botanik 2. Aufl. S. 591, §. 6.

4) Pfeffer, Arbeiten des botan. Inst. etc. S. 9.

Gegen das bezüglich der Assimilationscurve gewonnene Resultat sind nun in jüngster Zeit von Lommel und von N. J. C. Müller Einwände erhoben. Ersterer ¹⁾ glaubt theoretisch schlussfolgern zu können, daß diejenigen Strahlen die bei der Kohlensäurezersetzung in Pflanzen wirksamsten seyen, welche im Chlorophyll am stärksten absorbiert werden und zugleich eine hohe mechanische Intensität (Wärmewirkung) besitzen. Hiernach käme dann der höchste Assimilationswerth den rothen Strahlen zwischen *B* und *C* zu, denen der dunkelste und schärfst begränzte Absorptionsstreifen entspricht, welchen Chlorophylllösungen in der minder brechbaren Hälfte des Sonnenspectrums aufzuweisen haben. N. J. C. Müller ²⁾ bringt nun Zahlen bei, welche zu Lommel's Ansicht passen; allein ich werde zeigen, daß letztere theoretisch keineswegs folgerichtig aus den Thatsachen abgeleitet werden kann, und ferner durch ein *experimentum crucis* nachweisen, daß der Verlauf der Assimilationscurve dennoch zweifellos ein solcher ist, wie Draper und ich feststellten. Ueber die von Müller angewandte Methode sey hier nur bemerkt, daß ein Sonnenspectrum projicirt und in verschiedenen Zonen dieses die in Röhren eingeschlossenen Blattstreifen exponirt wurden. Der gasometrische Theil der Ausführung geschah nach der von Boussingault und mir angewandten Methode.

Es bedarf hier keiner Auseinandersetzungen über das Spectrum von Chlorophylllösungen, welches in jüngster Zeit Gegenstand mehrfacher Untersuchungen war. Wir sehen aber die Absorptionsstreifen in Lösungen, welche niemals Kohlensäure bei Beleuchtung zu zerlegen vermögen, vielmehr bis zu einem gewissen Grade Sauerstoff aufnehmen ³⁾. Daraus folgt nun, daß die Vermuthung, die in einer Chlorophylllösung ausgelöschten Strahlen seyen die wirksamsten, ungerechtfertigt ist. *Denn auf eine Function*

1) Lommel, Pogg. Annal. 1871. Bd. 144, S. 581 ff.

2) Botanische Untersuchungen, 1872, Heft I, 19 Seiten.

3) Vergl. Gerland in Pogg. Annal. 1871, Bd. 143, S. 593 ff.

des lebenden grünen Blattes soll aus einer Eigenschaft des allerdings bei der Assimilation wesentlich beteiligten Chlorophylls geschlossen werden, welche Eigenschaft diesem auch dann zukommt, wenn Kohlensäure nicht zersetzt wird.

Dafs bei Anhäufung chemischer Spannkraft, wie es beim Assimilationsprozeß geschieht, Kraft verbraucht wird, basirt auf einem elementaren Satze der Physik¹⁾; auch sind bei Sachs bereits die Facta zusammengestellt, welche schlagend zeigen, dafs eben nur das Licht die nöthige Arbeit zu leisten vermag. Sollte nun die Frage, welche der verschieden brechbaren Lichtstrahlen dieses vorzüglich thun, spectroscopisch entschieden werden, so könnte die einzige logisch richtige Methode nur darin bestehen, dafs eine vergleichende Untersuchung von assimilirenden und nicht assimilirenden Blättern angestellt würde. Allein bei richtiger Ueberlegung überzeugt man sich leicht, dafs diese Methode zu keinem Resultat führen kann; ich will dieses jetzt an einem concreten Falle erläutern. Bei einem meiner Versuche²⁾ zersetzte ein Oleanderblatt von 20 Quadratcentimeter Fläche bei intensivem Sonnenschein in 2 Stunden 5,7 Cubikcentimeter Kohlensäure, eine Menge, die nur unter den günstigsten Bedingungen erreicht wird. Hieraus berechnet sich aber, dafs ein Quadratcentimeter Blattfläche in 1 Secunde 0,0000000535 Gramm Stärke produciren würde. Die bei der Production dieser geringen Stärkemenge angehäuften chemische Spannkraft repräsentirt aber eine so geringe Arbeitsgröfse, dafs auch dann, wenn z. B. die gelben Strahlen allein die ganze Kohlensäurezerersetzung leisteten, doch eine merkliche Schwächung derselben nicht nachzuweisen seyn würde, um so weniger, als ja den Strahlen von der Wellenlänge der gelben schon eine hohe mechanische Intensität (Wärmewirkung zukommt. Dem eben für producirt Stärke gewonnenen Werthe ist noch ein geringes Flächenmaaß und der Zeitraum von 1 Secunde zu Grunde gelegt; die Kohlensäurezerersetzung

1) Vergl. auch Sachs, Experimentalphysiol. 1865. z. B. S. 287.

2) Arbeiten des bot. Instituts etc. S. 41.

ist aber auf einzelne Chlorophyllkörner, resp. deren Molecüle zu vertheilen und der Zersetzungsprozess wird ein continuirlicher seyn. Daraus können wir aber leicht entnehmen, daß die für jedes Blattelement in jedem Augenblicke nöthige Arbeitsgröße eine viel zu geringe ist, um selbst unter den günstigsten Verhältnissen durch Auslöschung oder Schwächung von Strahlen des Sonnenspectrums bemerkbar zu werden. Unter diesen Umständen giebt es nur eine ausführbare Methode, nämlich die Zersetzungs-kraft von Strahlen oder Strahlengruppen bestimmter Brechbarkeit empirisch festzustellen.

Die einfachen und eben deshalb um so entscheidenderen Versuche, welche ich jetzt mittheilen will, wurden unter Anwendung eines möglichst lichtstarken prismatischen Spectrums, mit Hülfe der Methode des Gasblasenzählens, ausgeführt. Es wurden zwei Sammellinsen, eine von größerer und eine von kürzerer Brennweite so combinirt, daß die vom Spiegel des Heliostaten reflectirten Sonnenstrahlen aus der zweiten Linse ziemlich parallel austraten und ein Sonnenbildchen von 40 Millimeter Durchmesser entwarfen. Dieses würde die neunfache Helligkeit des von dem Spiegel des Heliostaten reflectirten Lichtes gehabt haben, wenn durch Absorption und Reflexion in den Linsen keine Lichtschwächung veranlaßt wäre. Das fragliche Sonnenbildchen fiel mit seinem größten Durchmesser auf einen, meist 3 Millimeter breiten Spalt, worauf der hindurchtretende Lichtstreif durch ein großes Prisma zerlegt wurde, hinter dem dann noch eine achromatische Sammellinse von größerer Brennweite aufgestellt war. Das so auf eine Entfernung von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Meter entworfene Spectrum maß bei den meisten Versuchen 230 Mm. Länge bei einer Höhe von etwas über 50 Mm. Bei Begrenzung der Farben nach meiner subjectiven Empfindung, ergiebt sich für Roth eine Länge von 33 Mm., für Orange 20 Mm., für Gelb 25 Mm., für Grün 36 Mm. und für die stärker gebrochnen Strahlen von 116 Mm.; Maafse, die selbstverständlich nur einen annähernden Werth haben.

Von der Lichtschwächung durch Absorption und Reflexion abgesehen, würde die Schwächung jeder Lichtfarbe im Spectrum nahezu $\frac{1}{12}$ gegenüber der Helligkeit derselben Farbe im Heliostatenlicht ausmachen, ein Werth, der freilich keine Vorstellung von der wirklichen Helligkeit giebt, auf deren Bestimmung es mir auch nicht ankommen konnte. Es genügt das Factum, daß in dem leistungsfähigeren Theile des Spectrums noch eine genügend starke Kohlensäurezersetzung stattfindet. Das Hineinsehen in den gelben Spectralbezirk vermochten übrigens meine Augen keinen Augenblick auszuhalten.

Das zu meiner Untersuchung verwandte Spectrum war freilich bei der Breite des Spaltes kein ganz reines, jedoch erschienen mir die einzelnen Bezirke in demselben Farbentone wie in einem reinen prismatischen Spectrum. Dies genügt aber vollkommen, um zu entscheiden, ob eine Spectralfarbe einen stärkeren oder schwächeren Zersetzungswerth für Kohlensäure besitzt, denn dabei kommt es selbstverständlich nicht darauf an, daß einem Spectralbezirk eine kleine Quantität von Strahlen anderer Schwingungsdauer beigemischt ist, am wenigsten dann, wenn es sich um so sehr große Differenzen handelt, wie wir sie hier kennen lernen werden.

Die Methode des Gasblasenzählens war für unsere Frage der gasometrischen Messung der zersetzten Kohlensäure entschieden vorzuziehen, welche bei der Entscheidung der in meiner früheren Arbeit mir vorliegenden Hauptfrage die einzig zulässige war. Die gasometrische Methode hat den Nachtheil, daß man mit verschiedenen Blättern experimentirt, welche einen individuellen Unterschied in der Zersetzungskraft für Kohlensäure geltend machen; auch können bei der nothwendigen längeren Expositionsdauer sich leicht zufällige kleinere Fehler einschleichen, was namentlich beim Exponiren im Spectrum leicht möglich ist. Ferner liegen kleine Fehlerquellen in dem Entfernen des Blattes aus der Röhre, welche ich bei anderer Gelegenheit sorgfältig auseinandersetzte. Bei geringen zer-

setzten Kohlensäuremengen werden aber solche Fehlerquellen erheblicher in's Gewicht fallen und das war auch einer der Gründe, die mich bei meinen früheren Untersuchungen die farbigen Medien vorziehen ließen. Die Methode des Gasblasenzählens liefert zwar, wie ich nachwies, keine ganz genauen relativen Werthe für die wirklich zersetzten Kohlensäuremengen, indem die für Gasblasen gefundenen relativen Werthe zu hoch ausfallen, und zwar im Allgemeinen um so mehr, je verhältnißmäßig langsamer der Blasenstrom wird ¹⁾. Der Grund hierfür ist, wie ich a. a. O. auseinandersetzte, in der Gasdiffusion innerhalb der Pflanze zu suchen; eine bestimmte Gesetzmäßigkeit für das Verhältniß der wirklichen Zersetzungswerthe und der Gasblasenwerthe ist übrigens nicht zu erwarten. Allein unter allen Umständen kommen *mehr Blasen, wenn die Kohlensäurezersetzung eine energischere wird und umgekehrt*, und das reicht für unsere Zwecke aus.

Im übrigen besitzt die Methode des Gasblasenzählens bei richtiger Handhabung eine ungemeine Exaktheit und beim wiederholten Hin- und Herzählen in zwei ungleich hellen, aber constanten Lichtquellen, erhält man ganz überraschend genau untereinander stimmende Werthe. Bei der einen Blasenstrom entwickelnden Pflanze macht sich aber die leiseste Beschattung fast momentan geltend und in weniger als einer Minute ist dann fast immer schon der Blasenstrom für die neue Beleuchtungsintensität constant geworden. Alle diese Vortheile bleiben auch dann, wenn man die Blasen verkleinert, ihre Zahl also vermehrt. Dadurch ist es aber möglich auch bei geminderter Helligkeit einen sehr raschen Blasenstrom, also größere Genauigkeit im Zählen innerhalb kurzer Zeitintervalle zu gewinnen. Die Art und Weise, wie ich bei meinem Versuchsobject, *Elodea canadensis* (Wasserpest), die Blasen auf sehr geringe Gröfse regulirte, unterlasse ich hier auseinander zu setzen.

Zur Ausführung der Versuche wurden völlig gerade

1) Pfeffer, l. c., S. 50.

Zweigenden von *Elodea* von 45 Mm. Länge an einem Glasstab befestigt und mit der Schnittwunde nach oben, in einem mit Wasser gefüllten parallelwandigen Gefäße vertical in fester Lage aufgestellt. Die Pflanze stand dicht hinter einer Glaswand (Vorderwand), der Glasstab von dieser abgekehrt. An dieser Vorderwand war ein übergreifender Pappdeckel befestigt, welcher einen verticalen Spalt von 13 Mm. Breite besaß. Genau hinter diesem wurde die Pflanze postirt, bei welcher der größte Durchmesser eines Kreises, dessen Radien die Blätter der Quirle sind, zwischen 10 bis 12 Mm. maß. Das Glasgefäß wurde dann so gegen die Strahlen des Spectrums aufgestellt, daß diese senkrecht gegen die Glaswand, resp. den Pappdeckel fielen. Um den freilich bei der großen Entfernung wahrscheinlich unmerklichen Fehler ganz zu umgehen, welcher daraus entspringt, daß beim geradlinigen Verschieben des Glasgefäßes die Strahlen nicht mehr genau senkrecht einfallen, wurde mit der Entfernung von Prisma und Aufstellungsort des Glasgefäßes als Radius, auf einer festen Pappscheibe ein Stück Kreisbogen beschrieben und dann das Glasgefäß beim Fortrücken immer so gestellt, daß dessen Hinterwand die Sehne des Kreisbogens bildete. Es wurde so auch immer genau dieselbe Partie der unverrückbar fixirten Pflanze beleuchtet, welche ihrer ganzen Höhe nach von der den Spalt passirenden Spectralfarbe gedeckt war.

Die Zählungen in den verschiedenen Spectralbezirken wurden in den meisten Fällen von dem für unser Auge hellsten Gelb aus nach einem Ende des Spectrums hin vorgenommen. Nach einer jedesmaligen Verrückung wurde ein wenig gewartet und dann durch eine nochmalige, durch kurzen Zeitintervall getrennte Zählung die Constanz des Blasenstromes festgestellt, endlich am Schluß zur Controlle am Ausgangspunkt eine nochmalige Zählung vorgenommen. So ergab sich für die besonders in Betracht gezogene schwächer brechbare, aber ebenso auch für die stärker brechbare Hälfte, bei den zahlreichen Versuchen

ganz ohne jede Ausnahme ein constantes Sinken der Blasen-
zahl beim Entfernen vom Gelb des Spectrums, nie kam
auch nur die geringste Hebung, auch nicht bei sehr lang-
sam fortschreitender Verrückung, zu Stande.

Aus der größern Zahl in der Bot. Zeitung mitgetheil-
ten Reihen, welche unter sich äußerst zufriedenstellend
übereinstimmen, führe ich hier je eine für die beiden Häl-
ften des Spectrums auf.

Im Gelb in $\frac{1}{4}$ Min.	22	Blasen
„ Orange gegen Gelb in $\frac{1}{4}$ Min.	19	„
„ Orange Mitte „ „ „	15	„
„ Orange nach Roth „ „ „	14	„
„ Roth gegen Orange „ „ „	7	„
„ Roth etwas weiter „ „ „	4	„
„ Roth „ „ „ „ „	3	„
„ Roth „ „ „ „ „	2	„
„ Roth, äußerstes „ „ „	1	„
Zurück in Gelb „ „ „	22	„

Im Gelb in $\frac{1}{4}$ Min.	25	Blasen
In Mitte von Grün in $\frac{1}{4}$ Min.	9	„
„ „ „ Blau „ „ „	6	„
„ „ „ Indigo „ „ „	4	„
„ „ „ Violett „ „ „	2	„
Zurück in Gelb „ „ „	24	„

Hierzu habe ich zu bemerken, daß dann, wenn die
Aufeinanderfolge der Gasblasen eine sehr langsame war,
innerhab $\frac{1}{4}$ bis 1 Minute gezählt und darnach reducirt
wurde ¹⁾).

Ich suchte aber auch den Chlorophyllabsorptionsstreifen
zwischen *B* und *C* direct auf, indem ich eine Chlorophyll-
lösung vor dem Spalt aufstellte. Nachdem dann die Pflanze

1) Zuweilen entwickelt sich auch im Dunkeln ein während längerer Zeit
constanter, aber äußerst langsamer Blasenstrom, bezüglich dessen ich
auf meine Arbeit in der Bot. Ztg. 1872, No. 23 ff. verweise.

genau auf diesen Streifen eingestellt war, welcher bei einer Breite von reichlich 10 Mm. dieselbe so gut wie vollkommen bedeckte, wurde die Blasen Zahl in diesem Spectralbezirk gegenüber dem hellsten Gelb ermittelt. Die Blasen Zahl im Gelb = 100 gesetzt, stellte sich als Mittelwerth für die angegebene Spectralzone 29,1 Proc. heraus, dabei stimmen die einzelnen Werthe sehr gut untereinander, sie oscilliren zwischen 25,0 und 31,6 Proc.

Aus den angegebenen Zahlenwerthen sehen wir aber, daß, wie es auch theoretisch zu erwarten war, ein Zusammenhang zwischen der Absorption von Lichtstrahlen in einer Chlorophylllösung und dem Assimilationswerth jener nicht besteht. Es ergiebt sich vielmehr, wie ich schon früher übereinstimmend mit Draper fand, daß die in einer Chlorophylllösung nur schwieriger absorhirt werdenden gelben Strahlen die bei der Kohlensäurezersetzung am meisten leistungsfähigen sind. Ich kann jetzt noch weiter hinzufügen, daß das Hauptmaximum mit dem für unser Auge hellsten Gelb zusammenfällt, also nahe bei *D* nach *E* zu liegt. Stellt man die Pflanze auf diese Zone ein und verschiebt nur sehr wenig nach rechts oder links, ohne indess das Gelb zu verlassen, so vermindert sich auch die Blasen Zahl jedesmal ein klein wenig. So erhielt ich z. B. innerhalb $\frac{1}{2}$ Minute folgende Gasblasenzahlen:

Im hellsten Gelb	42	Blasen
Ein klein wenig nach Grün zu verschoben	40	„
Zurück auf den Ausgangspunkt	42	„

Im hellsten Gelb	43	Blasen
Ein wenig gegen Orange gerückt	40	„
Zurück auf den Ausgangspunkt	42	„

Müller's Zahlen, welche den Absorptionsstreifen Maximalwerthe und zwar dem Streifen zwischen *B* und *C* das Hauptmaximum zuwiesen, sind also jedenfalls unrichtig ¹⁾. Leider führt Müller nur relative Volumina der Gasmenge

1) Müller, Botan. Untersuchungen 1872, S. 13 ff.

an, nirgends sind die absoluten Mengen angegeben und ebenso auch nicht die Gröfsen der Blattflächen, welche insolirt wurden. Die Differenz der Kohlensäuremenge vor und nach dem Versuch war aber jedenfalls bei Müller's Versuchen eine nur geringe, weil einmal die beleuchteten Blattflächen nicht grofs seyn konnten und die Spectralfarben in denen insolirt wurde an Helligkeit, gegenüber dieser im Sonnenlichte verloren hatten. Weiter können wir auf die geringen in Frage kommenden Kohlensäuremengen daraus schliessen, dafs diese in vielen Fällen während der Exposition sich vermehrten und dann aus dem Verhältnifs der in vollkommener Dunkelheit und der bei Insolation in einer Spectralzone gebildeten Kohlensäure auf die Wirksamkeit der fraglichen Strahlen geschlossen wurde. In der gasometrischen Methode liegen aber einige unvermeidliche Fehlerquellen — z. B. in der Entfernung des Blattes aus der Röhre und in individuellen Eigenthümlichkeiten der Blätter derselben Pflanze — welche schwer in's Gewicht fallen, wenn die Menge der Kohlensäure vor und nach dem Versuch nur um ein Geringes differirt. Einer eingehenderen Kritik in dieser Richtung ist Müller's Arbeit aus den angeführten Gründen nicht zugänglich.

Aus einer gröfseren Anzahl von Zahlenreihen, welche in der Bot. Zeitung mitgetheilt sind, ergeben sich folgende Mittelwerthe für die einzelnen Spectralfarben, wenn wir die im Gelb gefundenen Blasen gleich 100 setzen.

Roth . .	= 25,4
Orange . .	= 63,0
Gelb . .	= 100,0
Grün . .	= 37,2
Blau . .	= 22,1
Indigo . .	= 13,5
Violett . .	= 7,1.

Ueber die Begränzung dieser Spectralfarben ist in der Bot. Zeitung näheres mitgetheilt, ich bemerke hier aber, dafs ich mit der Unterscheidung von Blau und Indigo

nur gesagt haben will, daß ich den Bezirk von der Gränze des Grün, etwas vor *F*, bis zum Violett bei *G* in zwei gleiche Hälften getrennt untersuchte. Bezüglich der Ausdehnung der anderen Spectralfarben habe ich auch schon vorhin berichtet. Bei der Construction einer Curve müssen die obigen Werthe als Ordinaten auf die Mitte der in angegebener Weise abgegränzten Farben eingestellt werden, mit alleiniger Ausnahme der im Gelb zu errichtenden Ordinate. Diese muß, der Art ihrer Gewinnung nach, auf der hellsten Zone im Gelb errichtet werden, welche nach Vierordt zwischen *D* bis *D 8 E* liegt, wobei die Entfernung zwischen *D* und *E* in 100 Theile getheilt angenommen ist. Bei dem vergleichenden Blasen zählen wurde nämlich die Pflanze stets auf das hellste Gelb eingestellt und dann zuerst immer gleich so weit verschoben, daß sie aus dem Gelb herausgerückt war. Die für die relativen Gasblasenzahlen erhaltene Curve stimmt aber mit der nach Vierordt's Messungen ¹⁾ für die Helligkeit im Sonnenspectrum construirten Curve sehr zufriedenstellend überein. Beide gehen vom Culminationspunkt im Gelb bis zur Mitte von Orange und Grün sehr wenig auseinander und zwar so, daß die Gasblasencurve die außerhalb verlaufende ist. Dann weichen die beiden Curven in demselben Sinne nach beiden Seiten im Allgemeinen um so mehr auseinander, je weiter die Ordinaten von Gelb ab-

1) Vierordt, die Anwendung des Spectralapparates 1871, S. 49, Tab. XII.

Aus dieser Tabelle habe ich, wie gerechtfertigt, nur diejenigen Werthe zur Construction einer Curve gewählt, deren Ordinaten an derselben Stelle mit den oben angeführten Gasblasenwerthen errichtet werden müssen. Wird das hellste Gelb gleich 100 gesetzt, so berechnen sich folgende Zahlen für die Helligkeit:

$$a \ 50 \ B - B = 2,2.$$

$$C \ 52 \ D - C \ 55 \ D = 33,7.$$

$$D - D \ 8 \ E = 100.$$

$$E - E \ 17 \ F = 36,2 \text{ und } E \ 17 \ F - 37 \ F = 25,7; \text{ Mittel} = 30,9.$$

$$F \ 12 \ G - F \ 22 \ G = 5,5.$$

$$F \ 73 \ G - F \ 75 \ G = 0,9.$$

$$G \ 33 \ H - G \ 54 \ H = 0,2.$$

Weiteres vgl. Bot. Zeitung 1872, No. 23 ff.

stehen. Man kann hier natürlich nur bis zu den letzten Ordinaten beiderseits gehen, da die Nullpunkte für Helligkeitscurve und Glasblasencurve zusammenfallen, denn nur die für unser Auge sichtbaren Strahlen vermögen Kohlensäurezersetzung in den Pflanzen zu bewirken.

Aus dem angegebenen Verlaufe der durch Gasblasenzählen erhaltenen Curve folgt aber, daß die wahre Assimilationscurve mit der Helligkeitscurve noch weit vollständiger übereinstimmen muß. Denn, wie ich schon in dieser Mittheilung bemerkte, habe ich früher gezeigt, daß die durch vergleichendes Blasen zählen erhaltenen Werthe zu hoch ausfallen, und zwar im Allgemeinen um so höher, je weniger Kohlensäure unter den gegebenen Umständen zersetzt wird. Diesem erwiesenen Satze entspricht aber, wie man sieht, der Verlauf der Curve und auch die nicht völlige Reinheit der einzelnen Spectralbezirke muß, wenn sie wirklich einen Einfluß geltend macht, in gleichem Sinne auf den Gang der Gasblasencurve influiren. Das Verhältniß zwischen den Gasblasenwerthen und der wahren zersetzten Kohlensäuremenge wird, individueller Eigenthümlichkeiten und anderer Ursachen halber, ein constantes nicht seyn und müßte für jeden Fall empirisch festgestellt werden. Wenn man indeß versuchsweise die früher von mir gefundenen relativen Zahlen von Gasblasen und wirklich zersetzter Kohlensäure einer Reduction der durch Blasen zählen im Spectrum gewonnenen Werthe zu Grunde legt, so wird der Verlauf dieser so erhaltenen Curve ein der Helligkeitscurve im Spectrum noch weit ähnlicherer, als er es ohnehin schon ist.

Jedenfalls ist die Uebereinstimmung der Gasblasencurve und der Helligkeitscurve im Spectrum eine hinreichend große, um den schon früher von Draper und mir für Kohlensäurezersetzung in Pflanzen gezogenen Schluß von Neuem fest zu begründen, daß nämlich *die verhältnismäßige Zersetzungskraft der verschieden brechbaren Strahlen im Allgemeinen der Helligkeit entspricht, mit welcher uns die entsprechenden Bezirke des Spectrums erscheinen*

Es ist aber wohl festzuhalten, daß die Helligkeitsempfindung unseres Auges für die Spectralfarben ein durchaus subjectives Maafs ist. Die gelben Strahlen z. B. leisten nicht deshalb am meisten bei der Kohlensäurezersetzung, weil sie die hellsten sind, nicht vermöge ihrer Helligkeit wirken sie, sondern es sind eben nur die Strahlen derselben Schwingungsdauer, welche auf unserer Netzhaut die stärkste Lichtempfindung hervorrufen und in der Pflanze die Zersetzung der Kohlensäure am energischsten anzuregen vermögen. Wie Prillieux und Baranetzky gegen diese einfachen Sätze fehlten, ist von mir¹⁾ und von Sachs²⁾ zur Genüge gezeigt worden.

Mufste ich es bei meiner früheren Arbeit dahin gestellt seyn lassen, ob die Zersetzungscurve untergeordnete Maxima und Minima aufweise³⁾, so kann ich jetzt mit positiver Gewifsheit behaupten, daß *secundäre Maxima von irgend welcher Erheblichkeit bestimmt nicht existiren*. Denn meine Zählungen ergaben ohne jede Ausnahme bei der Verschiebung nach dem rothen oder blauen Ende des Spectrums eine Abnahme der Gasblasenzahl, auch bei einer geringen Verschiebung blieb die Zahl der Blasen niemals dieselbe als zuvor, stets sank sie, wenn auch nur um einen geringen Werth. Aeufserst geringe Hebungen und Senkungen vermag freilich unsere Methode so wenig, als eine andere bekannte nachzuweisen; ob solche existiren werden, darüber läfst sich jetzt nichts entscheiden, doch hat diese Frage auch nur einen sehr geringen physiologischen Werth.

In wie weit die durch Blasen zählen erhaltenen Werthe mit meinen früheren, mit farbigen Medien erhaltenen Assimilationswerthen vergleichbar sind, habe ich in der Botan. Zeitung auseinandergesetzt. Hier habe ich auch angedeutet, wie es mit Hülfe einer Chlorophylllösung bei genügender Umsicht möglich seyn würde, die Frage zu entschei-

1) Pfeffer, Bot. Ztg. 1871 No. 20.

2) Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg 1872, Heft 2, S. 278. — Zu vergl. auch Helmholtz, physiol. Optik 1867, S. 318, 327 u. a.

3) Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg 1871, S. 50.

den, ob die den Absorptionsstreifen entsprechenden Strahlen bei der Kohlensäurezersetzung in ganz hervorragender Weise theilhaft seyn. Auch durch vergleichende Untersuchung im Natrium- und Lithionlicht würde eine Entscheidung zu erzielen seyn, wenn es gelänge, diese Lichter mit constanter und genügender Helligkeit herzustellen.

Lömmel's¹⁾ Wachstumsversuche mit Pflanzen, zu denen nur die äusseren rothen oder mittleren rothen Strahlen des Spectrums Zutritt hatten, zeigen, wie es zu erwarten war, daß bei jenen für die Assimilation so wenig leistungsfähigen Strahlen die Pflanze nicht fortkam, während unter dem Einfluß der mittleren rothen Strahlen ein gewisses Wachstum stattfand. Es berühren diese Resultate unsere Frage aber nicht, denn zu dem Ende hätte gezeigt werden müssen, daß unter dem Einfluß der mittleren rothen Strahlen ein energischeres Wachstum als etwa durch die gelben Strahlen veranlaßt wird, was nach unseren Erfahrungen²⁾ bestimmt nicht der Fall seyn wird.

Eine angenehme Pflicht ist es mir Hrn. Prof. Melde für die Zuvorkommenheit zu danken, mit der er mir die Apparate des physikalischen Kabinetts zur Verfügung stellte.

VI. Ueber die Rolle des Chlorophylls bei der Assimilationsthätigkeit der Pflanzen und das Spectrum der Blätter; von E. Gerland.

Eine Reihe früher von mir ausgeführter Versuche, deren Resultate im 143. Band dieser Annalen dargelegt wurden, ließen es als wahrscheinlich ansehen, daß das Chlorophyll der Pflanzen eher das Product, als der Träger des Assimilationsprocesses seyn möchte. Dieselben hatten ergeben,

1) Pogg. Annal. 1872, Heft 3.

2) Pfeffer, Arbeiten d. bot. Instituts etc. S. 55 ff.